



**TAB**

Monitoring  
“Exportchancen für Techniken zur  
Nutzung regenerativer Energien”

Sachstandsbericht



**TAB**

Arbeitsbericht Nr. 42



**TAB**

Büro für Technikfolgen-Abschätzung  
beim Deutschen Bundestag



# Inhalt

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Vorwort</b> .....   | <b>5</b>  |
| <b>Zusammenfassung</b> .....   | <b>7</b>  |
| <b>I. Aufgabenstellung und Zielsetzung des Sachstandsberichtes</b> .....   | <b>15</b> |
| Definition und Rolle erneuerbarer Energiequellen .....   | 15        |
| Potentiale erneuerbarer Energieträger .....  | 16        |
| Produktion und Export ausgewählter Güter zur Nutzung erneuerbarer Energien .....   | 18        |
| Ziele des vorliegenden Sachstandsberichtes .....   | 19        |
| <b>II. Zur heutigen Situation des Außenhandels und der inländischen Produktion von Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen</b> ..... | <b>21</b> |
| 1. Export und Import.....  | 22        |
| 2. Inländische Produktion .....  | 24        |
| 3. Kritische Anmerkungen zur Datenlage und den verwendeten Außenhandels- und Produktionsdaten .....  | 26        |
| 4. Technikspezifische Anmerkungen .....  | 28        |
| <b>III. Exportpotentiale</b> .....   | <b>31</b> |
| 1. Inländische Anwendung.....  | 32        |
| 2. Globale und Regionale Projektionen zur künftigen Nutzung erneuerbarer Energiequellen .....  | 35        |
| 2.1 Globale Projektionen des World Energy Council.....   | 36        |
| 2.2 Regionale Projektionen.....  | 40        |
| 3. Heterogenität der Märkte .....  | 43        |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| <b>IV.</b> | <b>Einschätzung des künftigen Exportpotentials der deutschen Hersteller .....</b>                                     | <b>59</b>  |
| 1.         | Technikspezifische Betrachtungen .....  | 60         |
| 1.1        | Wasserturbinen .....  | 60         |
| 1.2        | Windkraftanlagen .....  | 64         |
| 1.3        | Photovoltaik-Anlagen .....  | 77         |
| 1.4        | Thermische Solaranlagen .....   | 92         |
| 1.5        | Solarthermische Kraftwerke .....  | 95         |
| 1.6        | Wärmepumpen .....   | 99         |
| 1.7        | Biomasse .....  | 102        |
| 1.8        | Geothermie .....  | 111        |
| 1.9        | Märkte für Systemlösungen .....   | 120        |
| 2.         | Internationale Forschung und Entwicklung zu erneuerbaren Energieträgern .....   | 122        |
| 3.         | Fazit .....   | 128        |
| <b>V.</b>  | <b>Exportförderung .....</b>  | <b>135</b> |
| 1.         | Traditionelle Exportfinanzierung und -absicherung .....   | 135        |
| 2.         | Exportförderung im Zusammenhang mit Maßnahmen der Entwicklungshilfe - Die Entwicklungszusammenarbeit des Bundes ..... | 141        |
|            | Finanzielle Zusammenarbeit .....  | 142        |
|            | Technische Zusammenarbeit .....   | 143        |
| 3.         | Exportförderung für Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger in anderen Staaten - Zwei Beispiele .....        | 146        |
| 4.         | Die Kritik der deutschen Anbieter an den Maßnahmen zur Exportunterstützung und Wünsche zu ihrer Verbesserung .....    | 150        |
| <b>VI.</b> | <b>Optionen zur Steigerung der Exporte von Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen .....</b>                | <b>153</b> |
| 1.         | Technikübergreifende Maßnahmen .....  | 154        |
| 1.1        | Nachfrageorientierte Maßnahmen .....  | 154        |
| 1.2        | Vermittelnde Maßnahmen .....  | 157        |
| 1.3        | Angebotsorientierte Maßnahmen .....   | 159        |

|   |            |
|---|------------|
| 2. Technikspezifische Maßnahmen .....   | 160        |
| 3. Maßnahmen im Zusammenhang mit der Globalisierung der<br>Produktionsstandorte ..... | 164        |
| 4. Maßnahmen auf der analytischen Ebene .....   | 165        |
| <b>Literatur</b> .....  | <b>167</b> |
| Weiterführende Literatur .....  | 174        |
| <b>Anhang</b> .....   | <b>179</b> |
| Glossar und Abkürzungsverzeichnis .....   | 179        |
| Mitarbeit an diesem Sachstandsbericht .....   | 182        |



## Vorwort

Im Rahmen des Arbeitsprogramms des TAB kommt dem Bereich **Monitoring** besondere Bedeutung zu. Seine Zielsetzung besteht in

- der Beobachtung wichtiger wissenschaftlich-technischer Trends und damit zusammenhängender gesellschaftlicher Entwicklungen und
- der Verfolgung und Auswertung wichtiger TA-Projekte innerhalb und außerhalb der Bundesrepublik Deutschland.

Angestrebt wird u.a. die frühzeitige Unterrichtung des Ausschusses für Bildung, Wissenschaft, Forschung, Technologie und Technikfolgenabschätzung über potentiell bedeutsame TA-Themen und ihre parlamentarische Relevanz. Im Zeitraum 1996/97 werden im Arbeitsbereich Monitoring vor allem vertiefende Untersuchungen zu einzelnen Technikfeldern und Analysen zu gesellschaftlichen Problemfeldern mit technologiepolitischen Implikationen durchgeführt. Dazu gehören Themen wie Technikakzeptanz und Kontroversen über Technik, Nachwachsende Rohstoffe, Stand und Perspektiven der Katalysatoren- und Enzymtechnologie und Gentherapie.

Das Monitoring-Vorhaben "Exportchancen für Techniken zur Nutzung regenerativer Energien" wurde auf Beschluß der Berichterstatter zu Technikfolgenabschätzung des Ausschusses für Bildung, Wissenschaft, Forschung, Technologie und Technikfolgenabschätzung im November 1995 begonnen. Der hiermit vorgelegte Sachstandsbericht versucht, die Perspektiven und Potentiale deutscher Exporteure auszuleuchten und stellt Möglichkeiten zur Unterstützung und Forschung zur Diskussion.

Teile des Berichtes basieren auf einer Studie, die Mitarbeiter des **Fraunhofer-Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung Karlsruhe**, des **Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme Freiburg** sowie des **Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse des Forschungszentrums Karlsruhe** im Auftrag des TAB erarbeitet haben. Ihnen sowie allen, die durch Informationen und Kritik zu diesem Bericht beigetragen haben, sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

TAB

## Zusammenfassung

Die erneuerbaren Energien (Wasserkraft, Wind- und Sonnenenergie sowie Nutzung von Biomasse und Geothermie) werden in einigen Jahrzehnten weltweit eine wichtige Säule der Energieversorgung sein. Sie sind – angesichts des heutigen geringen Ausgangsniveaus – ein Wachstums- und Zukunftsmarkt par excellence. Während diese langfristige Einschätzung große Zustimmung unter Experten aus Forschung, Energieversorgung, Wirtschaft und Politik findet, ist derzeit noch umstritten, ob der **Export** von Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen auch schon auf mittlere Sicht (Zeithorizont: 5 bis 15 Jahre) einen nennenswerten Umfang erreichen und den Export traditioneller Energieanlagen zunehmend ergänzen wird.

Im Rahmen der internationalen Entwicklungspolitik und angesichts wachsender Umweltbelastungen durch Nutzung fossiler Energieträger sowie anstehender internationaler klimapolitischer Vereinbarungen sind die erneuerbaren Energiequellen zunehmend wichtige Hoffnungsträger. Die Anbieter marktreifer Techniken sind unter den heutigen Bedingungen auf dem Weltmarkt oft dann begünstigt, wenn flankierend eine konsequente Technologie-, Industrie- und Exportpolitik realisiert wird. Dies gilt insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen. Ein Gegensatz zwischen Entwicklungspolitik und Exportförderung ist dabei nicht zwangsläufig die Folge. Eng verknüpft sind damit auch Standortfragen sowie Fragen im Zusammenhang mit der Globalisierung der Produktion.

**Hauptziele** des vorliegenden Sachstandsberichtes sind die Auslotung der weltweiten Export-Teilmärkte und die Einschätzung der Exportchancen für die deutschen Hersteller im Bereich der Nutzung von erneuerbaren Energien sowie die Spezifizierung wesentlicher landes- und technologiespezifischer Determinanten des Außenhandels. Daraus werden abschließend Optionen abgeleitet, wie die sich abzeichnenden Exportpotentiale besser genutzt werden könnten.

Einleitend wird die heutige Situation des deutschen **Exports** und der inländischen **Produktion** von ausgewählten Gütern zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen skizziert. Soweit aus der amtlichen Statistik (die viele Unschärfen mit sich bringt: Geheimhaltungspflicht, Klassifikationsproblematik, technologie-spezifische Datenprobleme) ablesbar, nahm die **Produktion** einiger ausgewählter Güter zur Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland zwischen 1976 und 1993 preisbereinigt von rund 170 Mio. DM auf **630 Mio. DM** (in Preisen von 1991) zu; dies entspricht einem Wachstum um 8% pro Jahr. Im gleichen Zeit-

raum hat sich für die gleichen Güter der **Exportwert**, gemessen in Preisen von 1985, von rund 18 Mio. DM auf **rund 300 Mio. DM** erhöht (18% pro Jahr). Diese Zuwächse bei Produktion und Export sind weit höher als der durchschnittliche Produktions- und Exportzuwachs der deutschen Industrie und signalisieren möglicherweise eine große Bedeutung dieses Marktsegments energie-wandelnder Anlagen in der Zukunft.

Dabei läßt sich der Exportwert von Komponenten, z.B. Generatoren, Leittechnik, Regelungstechnik, Wärmetauscher, die in Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger eingesetzt werden, aus den Statistiken nicht separieren. In den Bereichen Maschinenbau und Elektrotechnik ist die deutsche Wirtschaft erfahrungsgemäß sehr stark, so daß der Exportwert dieser "Vorprodukte" eine nicht zu unterschätzende Größenordnung erreichen dürfte. Auffallend ist ferner, daß die Exportströme stark von den natürlichen Gegebenheiten und von den jeweils geltenden Rahmenbedingungen für erneuerbare Energiequellen (z.B. Energie- und Umweltpolitik, Fördermaßnahmen) in den Abnehmerländern abhängen und (nationale sowie internationale) Entwicklungsprogramme einen erheblichen Einfluß haben. Leider fehlen im Bereich erneuerbarer Energien viele Daten in den amtlichen Statistiken, so daß nur ein unvollständiges Bild zu gewinnen war.

Die Exportpotentialanalyse wurde anhand globaler Energiebedarfsprojektionen des "World Energy Council (WEC)" (Weltenergierat 1994) durchgeführt. Diese prognostizieren einen Anstieg der Nutzung erneuerbarer Energiequellen von 65.000 PJ (2.200 Mio. t SKE) im Jahre 1990 auf 96.000 PJ (3.300 Mio. t SKE) im Jahre 2010 (+50%).

Bei einem geschätzten gesamten weltweiten Volumen von durchschnittlich rund 165 Mrd. DM pro Jahr ist danach der Markt der **großen Wasserkraftwerke** auf mittlere Sicht weiterhin der bei weitem größte Einzelmarkt der Techniken zur Nutzung erneuerbaren Energiequellen, gefolgt von anderen Teilmärkten mit einem um eine Größenordnung kleineren Volumen (um die 10 Mrd. DM/a): die "moderne Biomasse", die kleinen Wasserkraftwerke, die solarthermischen Anlagen und die Windkraft (vgl. Tab. 1).

Der Export von Gütern zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen aus Deutschland wuchs in den letzten 17 Jahren preisbereinigt um ca. 18% pro Jahr. Unterstellt man einen Rückgang dieses Wachstums auf durchschnittlich ca. 10% pro Jahr, dann würden sich die Exporte der ausgewählten Techniken bis **2005** auf etwa **1 Mrd. DM** erhöhen. Wie erwähnt, sind in dieser Summe bestimmte Komponenten, die in der Statistik nicht separat ausgewiesen und nicht ausdrücklich der Nutzung erneuerbarer Energiequellen zugeordnet werden können, wie z.B.

**Generatoren, andere elektrotechnische Komponenten sowie Wärmetauscher**, noch nicht enthalten. Diese machen jedoch wegen ihres hohen "Know-how"-Gehalts einen großen Anteil des deutschen Exports im Bereich der Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen aus. Schon heute belaufen sie sich auf mindestens 3,5 Mrd. DM, wie aus Angaben einzelner Hersteller zu erschließen ist. Unterstellt man hier etwas niedrigere Wachstumsraten von 4%, weil die Lieferungen sich bereits auf sehr hohem Niveau bewegen und stark mit dem nicht ganz so dynamisch wachsenden Bereich der Großwasserkraftanlagen verknüpft sind, so lassen sich die Exporte der Elektrotechnikteile und Wärmetauscher im Zusammenhang mit der Nutzung erneuerbarer Energiequellen im Jahr 2005 auf mindestens **zusätzlich 5 Mrd. DM** schätzen.

Tab. 1: Abschätzung der weltweiten jährlichen Investitionsvolumina für Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen auf mittlere Sicht

| <i>Erneuerbare Energiequelle</i> | <i>Mrd. DM/a</i> |
|----------------------------------|------------------|
| Solarthermie                     | 12,8             |
| Photovoltaik                     | 1,0              |
| Windkraft                        | 6,0              |
| Geothermie                       | 2,6              |
| "Moderne Biomasse"               | 10,5             |
| Kleine Wasserkraft               | 11,6             |
| Große Wasserkraft                | 117,0            |
| Meeresenergie                    | 3,5              |
| <b>Summe (gerundet)</b>          | <b>165</b>       |

Quelle: FhG-ISI 1996

Insgesamt führt diese Berechnungsmethode zu einem Exportpotential von mindestens **6 Mrd. DM** für 2005. Gemessen an heutigen Exporten in Höhe von 4 Mrd. DM entspricht dies einem Anteil von fast **4% des durchschnittlichen jährlichen Zuwachses weltweit** von 165 Mrd. DM.

Nimmt man dagegen das Exportwachstum der direkt in der Statistik erfaßten Komponenten mit durchschnittlich 15% an, d.h. eine Verfünfachung der Exporte binnen 12 Jahren, so läge ihr Exportwert im Jahre 2005 bei ca. 1,6 Mrd. DM (in Preisen von 1991). Unterstellt man gleichzeitig ein Wachstum von 5% bei son-

stigen (u.a. elektrotechnischen) Komponenten, ergibt sich ein Gesamtexportpotential von ca. 7,5 Mrd. DM oder ein Anteil von ca. 5% am durchschnittlichen jährlichen Anlagenzubau.

Zu den genannten deutschen Exportvolumina sind außerdem neben den reinen Güterexporten auch der **Export von Ingenieur- und Finanzdienstleistungen**, v. a. im Bereich der Planung und Projektierung aber auch bei Wartung und Betrieb hinzuzurechnen. Diese lassen sich nur sehr grob abschätzen. Eine Größenordnung von derzeit mehr als 100 Mio. DM scheint jedoch durchaus plausibel. Dieser Teilmarkt dürfte mit Sicherheit mindestens so schnell wie die Güterexporte zunehmen (d.h. zwischen 5 und 7% jährlich), weil die Potentiale in den Schwellenländern nur mit erhöhtem Dienstleistungsanteil der Industrieländer, insbesondere Planungs-, Finanzierungs- und Betriebsführungsdienstleistungen, realisiert werden können.

Die Einschätzung der Exportaussichten der deutschen Hersteller ergibt für die einzelnen Techniken folgendes Fazit:

**Zukünftige Exportpotentiale** für Techniken zur Nutzung regenerativer Energiequellen liegen für deutsche Hersteller in besonderem Maße im Bereich von

- Komponenten und Vorprodukten, deren Herstellung ein hohes Maß an technologischem und Fertigungswissen erfordert (und bei denen deutsche Firmen einen Technologievorsprung besitzen)
- sowie bei
- komplexen Systemen, die ein optimales Zusammenspiel der Komponenten erfordern.

**Entsprechend sind zukünftig gute Exportchancen in den folgenden Bereichen zu erwarten:**

- **Wasserkraftanlagen**, insbesondere Großanlagen, die traditionell große Exportvolumina haben und für die weltweit beträchtliche Zubaupotentiale erwartet werden,
- gut abgestimmte **Windkraftanlagen**, aerodynamisch und sicherheitstechnisch optimierte **Rotorblätter** sowie Regelsysteme und Fernüberwachungskomponenten,
- **biogasbetriebene KWK- bzw. BHKW-Anlagen** (Gesamtsysteme bzw. Motoren),
- **Silizium-Wafer** für Photovoltaik-Module sowie PV-Anwendungssysteme und

- Komponenten (konzentrierende Kollektoren) und komplette Anlagen für thermische Solarkraftwerke sowie Systemkomponenten für geothermische Anwendungen.

Ferner sind aufgrund von zum Teil schon weit vorangeschrittenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich neuer Technologien zukünftig gute Exportchancen zu erwarten. Hierzu zählen beispielsweise neue **Batteriesysteme** (u.a. inkl. Batteriemangement), **transluzente Wärmedämmung**, **Stirling-Receiver-Generatoren**, Brennstoffzellen (z.B. in Kombination mit Biomassevergärung), Pflanzenöl-Motoren sowie holographisch-optische Tageslichtsysteme.

**Geringe Exportchancen** für deutsche Hersteller und zunehmende Importe bzw. Importüberschüsse werden u.a. in den Bereichen thermischer Solaranlagen zur Warmwasserbereitung und Feuerungsanlagen für Biomasse (z.B. Holzhackschnitzel, Stroh; Ausnahme: Standardkomponenten) erwartet.

Ein Verbleiben der **Fertigung** vorwiegend **im Inland** wird auf mittlere Sicht bei Wasserkraftanlagen und Windkraftanlagen (wachsender Exportanteil trotz zunehmender lokaler Fertigung in den Abnehmerländern im Rahmen von "Joint Ventures") erwartet. Auch Komponenten für solarthermische Kraftwerke (Spiegel), biogasnutzende Blockheizkraftwerke, Biovergaser und die Photovoltaik (hochwertige Vorprodukte und Anwendungssysteme) dürften weiterhin vornehmlich im Inland gefertigt werden ("Know-how-Vorsprung"), ebenso wie andere Systemkomponenten (z.B. Generatoren, Meß- und Regelsysteme, Fernüberwach- und Fernwirkssysteme). Zunehmend **im Ausland** produziert werden dürften thermische Solarkollektoren (z.B. Tochterunternehmen) und kleine Wärmepumpenanlagen. Im Falle der Photovoltaik ist eine abschließende Einschätzung momentan nicht möglich. Zwar gab es eine Abwanderung eines Teiles der PV-Zellen-Produktion, zugleich sind aber Ansätze zur Aufrechterhaltung des Produktionsstandortes Deutschland bei Silizium-Rohmaterial und PV-Systemen zu erkennen.

Die **Exportpotentiale** und **Wettbewerbsvorteile** könnten ausgebaut werden, wenn die deutschen Hersteller nicht nur ihre Anlagen am Weltmarkt anbieten, sondern **zugleich Dienstleistungen** mit Planung, Projektierung, Finanzierung, Betrieb und Ausbildung der Betreiber bereitstellen oder vermitteln. Zweifelsohne ist eine teilweise **Verlagerung der Produktion von Low-Tech-Komponenten ins Ausland** zu beachten und **nicht zu vermeiden**. Dies könnte jedoch Chancen für Exporte im Vorleistungsbereich, beispielsweise im Anlagen- und Maschinenbau (z.B. Gießerei- und Fertigungsanlagen) eröffnen und durch die Generierung zusätzlichen Einkommens in den Niedriglohnländern die dor-

tige Kaufkraft und die Einfuhrmöglichkeiten insgesamt vergrößern. Desweiteren könnten sich die deutschen Hersteller mit **innovativen Anwendungslösungen und kompletten Dienstleistungspaketen** neue Chancen erarbeiten, so bei der solaren oder windbetriebenen Meerwasserentsalzung, Biomasse-Treibstoffen mit entsprechenden Motorkonzepten, "Electrofarming" (Stromerzeugung mit allotherm vergaster Biomasse).

Bei einigen Anwendungen der "neuen" regenerativen Energiequellen hat der **Demonstrationsmarkt im Inland** eine große Bedeutung. Dabei müssen sie in Deutschland ein merkliches natürliches Nutzungspotential haben. Wichtiger noch: Sie müssen in der Phase der Markteinführung stehen. Bei bereits ausgereiften und weit verbreiteten Techniken/Anwendungen wie z.B. Wasserkraftanlagen haben inländische "Demonstrationsmärkte" eine vergleichsweise geringe Bedeutung.

Andererseits wird die Bedeutung von **Demonstrationsprojekten im Ausland** unterschätzt. Hierbei geht es sowohl um die Erprobung unter den speziellen Bedingungen vor Ort als auch um den direkten Kontakt zu den Abnehmern, Kunden oder Nutzern. In Fällen, bei denen der Einsatz einer Technik zur Nutzung erneuerbarer Energieträger in Deutschland nicht relevant oder wegen der natürlichen Bedingungen nicht effektiv ist (z.B. thermische Wasserentsalzung, solarthermische Kraftwerke), sind ausländische Demonstrationsprojekte eine wichtige Voraussetzung für eine mögliche Marktöffnung für deutsche Unternehmen.

## Optionen

Die technikübergreifenden Optionen zur Förderung der Exporte von Technologien zur Nutzung der erneuerbaren Energiequellen sind in nachfrageorientierte, vermittelnde und angebotsorientierte Maßnahmen unterschieden. Ein Schwergewicht liegt auf den nachfrageorientierten Optionen, weil einerseits die zu exportierenden Güter und Dienstleistungen sich an dem Bedarf der Importländer und deren Gegebenheiten möglichst gut orientieren sollten und andererseits die Rahmenbedingungen in diesen Ländern auch durch die Bundesregierung (bilateral oder über internationale Gremien) mitbeeinflusst werden können. Von großer Bedeutung sind auch die vermittelnden Maßnahmen, die von Regierungen mancher Wettbewerbsländer (z.B. USA und Japan) intensiv für die Exportförderung genutzt werden.

Die technikspezifischen Maßnahmen betreffen im einzelnen bei

- Windkraftanlagen die spezifische Anwendungsentwicklung mit Hilfe öffentlicher FuE-Zuschüsse,
- Photovoltaik eine stärkere Orientierung der öffentlichen FuE auf spezifische (Anwendungs-)Märkte in kaufkraftstarken Ländern und Zielgruppen unter Beteiligung der Hersteller,
- Thermischen Solarkollektorsystemen Verbesserungen an Komponenten (Wärmemeßgeräte, Regelgeräte, Umwälzpumpen),
- Solarthermischen Kraftwerken die Beteiligung deutscher Hersteller an der ersten kommerziell betriebenen Anlage,
- Wärmepumpen ein Systemangebot als Wärmepumpen und Kälteerzeuger,
- Geothermie die Verbesserung der inländischen energie- und förderpolitischen Rahmenbedingungen und eine Beteiligung Deutschlands am "IEA-Implementing Agreement on Geothermal Energy".

Die Optionen beziehen auch die **Globalisierung der Produktionsstandorte** ein, um den speziellen Wettbewerbsvorteilen deutscher Hersteller Rechnung zu tragen. Dies heißt u.a.:

- Die deutschen Hersteller sollten sich mittelfristig auf die Produktion von High-Tech-Komponenten konzentrieren und sich durch internationale Kooperationen den Marktzugang sichern. Insbesondere Defizite bei begleitenden Dienstleistungen, z.B. anspruchsvollen Wartungsarbeiten, lassen sich gut über Auslandskooperationen kompensieren.
- Wenn die Verlagerung arbeitsintensiver Fertigung zu einer Verbilligung des Produkts führt, kann dies die Marktdiffusion der betreffenden Technik wegen günstiger Preise beschleunigen und zwar nicht nur in dem betroffenen Niedriglohnland, sondern auch in anderen von dort aus belieferten Ländern, was aus klimapolitischen Gründen zu begrüßen ist. Deutsche Hersteller benötigter "know-how"-intensiver Systemkomponenten würden von dieser Entwicklung ebenfalls profitieren.

Da die Kenntnisse und Daten zu den Exportmärkten der erneuerbaren Energiequellen nicht immer zum besten stehen, werden auch hierzu einige Anregungen gegeben:

- Für eine tieferegreifende Analyse der Exportpotentiale für Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen sollte man detaillierte Befragungen bei deutschen Herstellern und ausländischen energiewirtschaftlichen Insti-

tuten durchführen. Diese Befragungen sollten technik- und länderspezifisch sein.

- Erfolgreich gestaltete Rahmenbedingungen zur Diffusion der Anwendung erneuerbarer Energiequellen sollten anhand vergangener Erfahrungen in einzelnen Ländern und für einzelne Technologien recherchiert und dokumentiert werden (z.B. thermische Solarkollektoren in Israel, Biomassenutzung in Österreich, Windenergienutzung in Dänemark, Windenergienutzung und Kleinwasserkraft sowie Deponie- und Klärgasnutzung in Deutschland, Photovoltaiknutzung in Japan).
- Für einzelne Regionen und Techniken sollte ein jeweils angepaßtes Konzept zwischen Regierung (BMWi, BMBF, BMZ und Auswärtiges Amt) und den betroffenen Wirtschaftsverbänden bzw. Unternehmen entwickelt werden, das jene Empfehlungen fallweise aufgreift, die im BMWi-Gesprächszirkel von 1994 genannt wurden (z.B. Einbezug in bilaterale Wirtschaftsgespräche, Unterstützungen von Ausstellungen, Förderung von Demonstrationsanlagen, Personalausbildung).
- Eine möglichst schnelle Anpassung der Außenhandelsstatistik an die Erfordernisse der Exporteure, der Politik und der Wissenschaft könnte sich als sehr nützlich erweisen.

# I. Aufgabenstellung und Zielsetzung des Sachstandsberichtes

## Definition und Rolle erneuerbarer Energiequellen

Der Begriff "**Erneuerbare Energiequellen**" wird in der Fachdiskussion nicht einheitlich verwendet. So werden Müll und andere nicht-biogene Reststoffe von einigen Autoren den erneuerbaren Energiequellen zugerechnet. Zudem wird oft unterschieden zwischen den "konventionellen" Erneuerbaren - traditionelle Biomassenutzung (Brennholz, Pflanzenrückstände, Dung) und Großwasserkraft - sowie den "neuen" Erneuerbaren. Zu letztgenannten zählen Solarenergie, Windenergie, Geothermie, neue Biomasse sowie Meeres- und Kleinwasserkraftwerke. Andere begrenzen die erneuerbaren Energiequellen auf die zweite Gruppe.

Nach unserer Auffassung - die auch den Abgrenzungen in dieser Arbeit zugrundeliegt - ist allen erneuerbaren Energieträgern gemeinsam, daß sie nach menschlichen Maßstäben unerschöpflich und - wenn auch in unterschiedlichem Umfang - überall auf der Erde verfügbar sind. Aus diesem Grunde schließen wir in unsere Betrachtungen sowohl die konventionellen als auch die neuen Erneuerbaren ein. Müll und andere nicht-biogene Reststoffe sind nach diesem Verständnis keine erneuerbaren Energieträger und werden darum in dieser Arbeit auch nicht weiter betrachtet.

Erneuerbare Energieträger haben mehrere Quellen: die Sonnenenergie, die Wärme des Erdinneren sowie die Bewegung der Himmelskörper in Verbindung mit der Massenanziehung (Gezeitenenergie). Einige erneuerbare Energieträger werden bereits seit Jahrtausenden eingesetzt. Die Nutzung von Holz als Brennstoff geht bis in die Anfänge der Menschheit zurück. Wasserkraft für mechanische Antriebe wendet man seit mehr als 2000 Jahren an, erste Windenergiekonverter lassen sich bis um ca. 1000 v. Chr. zurückverfolgen. Die Römer nutzten Erdwärme für die Beheizung von Wohngebäuden und in Thermalbädern. Die Gewinnung von elektrischer Energie aus Wasserkraft, die seit mehr als hundert Jahren praktiziert wird und mit der umfangreiche Betriebserfahrungen vorliegen, ist die heute am weitesten entwickelte Technik zur Nutzung erneuerbarer Energieträger.

Erst in den letzten zwanzig Jahren - seit den beiden Ölkrisen - wird in den Industrieländern mit beträchtlichem Aufwand an der Erforschung der Möglich-

keiten und Grenzen der Nutzung der einzelnen erneuerbaren Energiequellen gearbeitet. Allein in Deutschland wurden seit 1974 dafür mehr als 3 Mrd. DM ausgegeben, davon rund ein Drittel für die Photovoltaik (BMBF 1995). Man erzielte hier beträchtliche Fortschritte. Eine große Zahl von Techniken ist entwickelt worden, um die Energien von Wind, Sonnenlicht, Erdwärme, Wasser und organischer Biomasse einzufangen, umwandeln und nutzen zu können. Bekannte, kommerziell eingeführte Systeme sind verbessert worden, ihre Leistungsfähigkeit hat sich erhöht und ihre Kosten sind gesunken. Neue Techniken wurden entwickelt und erste Prototypen realisiert. Weitere Ideen harren ihrer Umsetzung. Erneuerbare Energieträger werden zur Raumheizung oder -kühlung sowie zur Warmwasserbereitung eingesetzt, aus ihnen kann Elektrizität oder Prozesswärme gewonnen werden, auch die Umwandlung in Treibstoffe oder Vorprodukte der chemischen Industrie ist machbar.

## **Potentiale erneuerbarer Energieträger**

Für die Beschreibung von Potentialen erneuerbarer Energiequellen haben sich die folgenden Definitionen bewährt:

- Das theoretische Potential umfaßt das physikalische Angebot der erneuerbaren Energiequellen.
- Das technische Potential ergibt sich aus dem theoretischen Potential unter Berücksichtigung des Einsatzes heute bekannter Techniken (vor allem von deren Wirkungsgraden, aber auch anderer technischer Randbedingungen)
- Das wirtschaftliche Potential ist der Anteil am technischen Potential, der im Vergleich mit konkurrierenden existierenden Systemen wirtschaftlich betrieben werden kann.
- Das Erwartungspotential trägt den Unsicherheiten in der Entwicklung der zukünftigen Kosten und Preise von Energietechniken und Energieträgern Rechnung und gibt an, welcher Anteil am technischen Potential (unter Berücksichtigung von Markteinführungsgeschwindigkeiten und weiteren Einflußfaktoren) zu einem zukünftigen Zeitpunkt wirtschaftlich wettbewerbsfähig sein wird.

Unter Experten unstrittig ist das enorme theoretische Potential der erneuerbaren Energien, wenngleich es bei dessen Schätzung deutliche Differenzen gibt. Der Dissens tritt beim Zurückrechnen der theoretischen Potentiale auf die techni-

schen und insbesondere auf die wirtschaftlichen Potentiale auf. Dieses ist durch mehrere Faktoren bedingt. Bestimmend dabei sind Unsicherheiten bei der Prognose der technischen und wirtschaftlichen Entwicklung, die sich vor allem in verschiedenen Annahmen über die zukünftigen Wirkungsgrade der Wandlungstechniken, aber auch in unterschiedlichen Erwartungen über die Energienachfrage und die Brennstoffpreise manifestieren. Desweiteren ist die Nutzung erneuerbarer Energieträger - unter den gegenwärtigen Bedingungen niedriger Brennstoffpreise - stark abhängig von den nationalen Energie-, Umwelt- und Entwicklungspolitiken. Auch deren nicht selten sprunghafte Änderungen haben massiven Einfluß auf die Nachfrage nach derartigen Techniken. So ist beispielsweise die jeweilige Gesetzeslage ein maßgeblicher Faktor für den Windenergieboom in Dänemark (Energieabgaben, ab 1992 z.T. ersetzt durch eine CO<sub>2</sub>-Abgabe; Zuschußregelungen für Strom aus erneuerbaren Energien; Regierungsvereinbarungen über Anschluß- und Abrechnungsbedingungen für Windkraftanlagen u.a.) und der Bundesrepublik Deutschland (Stromeinspeisungsgesetz). Aber auch für die Stagnation des Windkraftausbaus in Kalifornien und den Konkurs der bisher einzigen Herstellerfirma solarthermischer Kraftwerke (LUZ International hat in der Mojave-Wüste neun Kraftwerke vom Typ SEGS mit zusammen 354 MW elektrischer Leistung errichtet) haben - neben den gesunkenen Erdgaspreisen - Veränderungen bei der Steuergesetzgebung sowie bei Entscheidungen der Regulierungsbehörden eine wesentliche Rolle gespielt.

Diese Problematik wird beim Versuch einer Abschätzung der weltweiten wirtschaftlichen Potentiale, die ja Voraussetzung für eine Untersuchung der Exportpotentiale ist, noch verschärft. So ist gerade die Nutzung erneuerbarer Energieträger durch eine hohe Abhängigkeit von regionalen oder lokalen Rahmenbedingungen geprägt. Dazu zählen nicht nur die erforderlichen geografischen und klimatischen Bedingungen (z.B. Wasserläufe, geothermisch aktive Gebiete, geeignete Sonneneinstrahlung bzw. Windgeschwindigkeiten), sondern auch wirtschaftliche (Verfügbarkeit und Preise anderer Energieträger, Möglichkeiten zum Anschluß an eine zentrale Stromversorgung), politische (nationale Prioritäten in der Energieversorgung, Rolle der Umwelt- und Klimapolitik) und soziale (Armutsbekämpfung, Sicherung einer Grundversorgung mit Wasser und Energie, Akzeptanz von Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger) Fragen.

## Produktion und Export ausgewählter Güter zur Nutzung erneuerbarer Energien

Die Zuwächse bei Produktion und Export von Gütern zur Nutzung erneuerbarer Energien sind - wie nachfolgend gezeigt wird - weit höher als der durchschnittliche Produktions- und Exportzuwachs der deutschen Industrie und signalisieren möglicherweise eine große Bedeutung dieses Marktsegments energiewandelnder Anlagen in der Zukunft. Im Gegensatz dazu wird die Bedeutung der erneuerbaren Energiequellen seitens der inländischen Energieversorgungswirtschaft wegen der relativ ungünstigen natürlichen Bedingungen in Deutschland oft als gering eingeschätzt. Sie wurden deshalb in der Vergangenheit häufig als "additive" Energiequellen bezeichnet. Auch die Kritik an Fördermaßnahmen der öffentlichen Hand und derzeit von Energieversorgungsunternehmen am Strom-einspeisungsgesetz erfolgt aus dieser inländischen energiewirtschaftlichen mittelfristigen Perspektive, nicht aber aus dem industriepolitischen oder entwicklungspolitischen Blickwinkel.

Anbieter dieser Techniken sind für die meisten Produktbereiche mittelständische Unternehmen mit im allgemeinen bescheidenen FuE-Aktivitäten (Ausnahmen: Wasserturbinen und Photovoltaik-Module). Das Selbstverständnis einiger großer Hersteller als 'global player' und die Möglichkeit der Produktion in den Abnehmerländern bei den einfachen Produktsegmenten der erneuerbaren Energiequellen machen eine Unterscheidung in "**Güterexport**" und "**Technologieexport**" erforderlich.

Eine Entwicklung dahingehend, daß deutsche Unternehmen auch als Energiedienstleister (in Form von Betreibergesellschaften, Contracting und Joint Ventures in den Exportländern) auftreten, steht noch ganz am Anfang, aber der **Dienstleistungsexport** auch auf diesem Feld in den kommenden zehn Jahren ist absehbar.

Die Erfolge der beiden letztgenannten unternehmerischen Aktivitäten schlagen sich nicht in der Außenhandelsstatistik, sondern in der Leistungsbilanz in Form von Lizenz- und Gewinntransfers nieder und sind hier nicht weiter erfaßt. Eine Umorientierung der Weltbank und anderer Institutionen der Entwicklungshilfe, die sich in der Vergangenheit sehr auf Großprojekte konzentrierten, könnte bei mehr Aufmerksamkeit auf kleinere Projekte auch den deutschen mittelständischen Anbietern mehr Möglichkeiten zum Export eröffnen.

## Ziele des vorliegenden Sachstandsberichtes

Ziel der vorliegenden Arbeit war,

- die **Exportchancen für deutsche Produzenten** im Bereich der Energietechniken zur Nutzung erneuerbarer Energien einschließlich wesentlicher Auswirkungen für die Volkswirtschaft zu ermitteln,
- die **wesentlichen landes- und technologiespezifischen Determinanten zu spezifizieren**, die auf den Außenhandel der Güter zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen Einfluß haben,
- anhand dieser Informationen Optionen für eine bessere Nutzung der sich abzeichnenden Exportpotentiale vorzustellen und Empfehlungen für weitere Analysen zur Verfolgung der genannten Untersuchungsziele zu geben

Der Rahmen für die zu untersuchenden Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen kann grundsätzlich nach zwei Gesichtspunkten abgesteckt werden: In einem enger gewählten Konzept werden lediglich Technologien zur Umwandlung der erneuerbaren Primärenergieträger in die Sekundärenergien Wärme (z.B. Prozeßwärme auf hohem Temperaturniveau oder Niedertemperatur-Wärme für Heizzwecke), Brennstoffe (z.B. Treibstoffe auf der Basis Erneuerbarer) und Elektrizität untersucht. Alternativ dazu kann man die "System-sicht" in den Mittelpunkt stellen. Dann wäre zum einen eine Betrachtungsweise unter Berücksichtigung von Anwendungsaspekten, also die "Nutzenergieperspektive" - d.h. nicht die Betonung auf die erzeugte Sekundärenergie, sondern auf die Energieformen, die der Nutzer tatsächlich nachfragt (Wärme, Kälte, Licht, mechanische Arbeit usw.) - zu wählen. Zudem wären Techniken einzuschließen, die für die Systemintegration von Erneuerbaren bzw. für die Funktionsfähigkeit von auf Erneuerbaren basierenden Energieversorgungssystemen notwendig werden könnten.

Die Bearbeiter des Themas haben sich an der erstgenannten Vorgehensweise orientiert. Entscheidend dafür waren methodische Probleme: Die statistische Basis ist bei technischen Innovationen in ihrer Anfangsphase stets sehr schwach, zudem lassen sich die wesentlichen Informationen nicht immer in hinreichender Qualität den amtlichen Statistiken entnehmen. Gilt dies schon für die Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen im engeren Sinne, so verschärft sich die Problematik für die weit weniger anwendungsspezifischen Systemtechniken (z.B. Komponenten für Steuerungen und Regelungen oder Speichertechniken) noch.

TAB

## II. Zur heutigen Situation des Außenhandels und der inländischen Produktion von Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen

Da die Nutzung der erneuerbaren Energien in vielen anderen Ländern zum Teil günstigeren natürlichen Bedingungen als in Deutschland unterliegt, eröffnet sie für die **deutschen Hersteller im Grundsatz erhebliche Exportmöglichkeiten** (vgl. BMWi 1993). Die Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des 12. Deutschen Bundestages (1995) betont, daß die vermehrte Nutzung erneuerbarer Energien **auch Aufgabe konsequenter Technologie-, Industrie- und Exportpolitik** ist. Der traditionelle Export von Energieanlagen könne seine konsequente Ergänzung in ökologisch sauberen Energiewandlern erneuerbarer Energien finden. Im Falle internationaler klimapolitischer Vereinbarungen dürften hierbei transnationale Kooperationen und Joint Implementation im kommenden Jahrzehnt eine besondere Bedeutung erhalten. Somit stellt sich die Frage, ob der Export von Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen bereits mittelfristig (Zeithorizont: 5 bis 15 Jahre) eine beachtenswerte Bedeutung mit hohen Wachstumsraten erlangen könnte. Zudem stellt sich die Frage nach der zukünftigen Rolle des Standortes Deutschland auch bei diesen Techniken.

Vorliegende Untersuchung widmet sich erstmals dem Thema des Exports von Produkten zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen. Sie konnte nicht auf frühere vergleichbare Analysen mit dem Ziel der Aktualisierung zurückgreifen. Sie basiert auf einer vom TAB in Auftrag gegebenen ausführlichen Analyse (ISI 1995) von amtlichen und Verbandsdaten. Die vorgefundene Datensituation macht einige einleitende Anmerkungen erforderlich, die eine bessere Einordnung der auf ihrer Basis getroffenen Aussagen ermöglichen sollen.

Die inländische Produktion von Gütern zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen sowie die Außenhandelswerte wurden zumeist den **amtlichen Statistiken des Statistischen Bundesamtes** entnommen (Ausnahme: Windkraftanlagen). Dort lagen Daten nur bis 1993 vor. Aufgrund der Erfassungssystematik mußte eine Vielzahl von Unschärfen in Kauf genommen werden. Infolge unterschiedlicher Klassifikationen (Meldenummern für die Produktionsstatistik und Warennummern für die Außenhandelsstatistik) ergeben sich weitere Probleme. Hinzu kommt die Gefahr einer systematischen Unter- oder Überschätzung einzelner Daten sowie die Möglichkeit von Fehlinterpretationen (z.B. im

Falle eines Exports von zuvor importierten, dann weiterverarbeiteten und re-exportierten Produkten wie Wärmepumpen).

Eine Unterschätzung der tatsächlichen Exporte liegt insbesondere im Bereich von Komponenten der Nutzungssysteme der erneuerbaren Energiequellen vor, so z.B. Generatoren, Leittechnik, Regelungstechnik, die in der amtlichen Statistik allgemein als elektrotechnische Produkte ausgewiesen werden und sich nachträglich nicht mehr ihrer Verwendung entsprechend isolieren lassen.

## 1. Export und Import

Die deutsche Wirtschaft ist stark exportorientiert. Im Jahr 1994, dem letzten zum Zeitpunkt der Erarbeitung dieses Berichtes vollständig statistisch nachgewiesenen Jahr, wurden **Güter im Wert von mehr als 690 Mrd. DM exportiert**. Dem standen Importe im Wert von ca. 617 Mrd. DM gegenüber (Walter 1996). Dabei wird die Ausfuhr fast ausschließlich von Unternehmen aus den alten Bundesländern bestritten, der Anteil der neuen Bundesländer an der gesamten Ausfuhr lag 1994 unter 2 Prozent.

Traditionell ist das Ausfuhrsortiment geprägt durch die Fertigwaren, die mehr als vier Fünftel des gesamten Exportwertes ausmachen. Innerhalb der Fertigerzeugnisse dominieren die Investitionsgüter mit einem Anteil am Exportwert von über 55%. Die hauptsächlich zur Exportbilanz beitragenden Waren sind Straßenfahrzeuge (rund 17%), Maschinenbauerzeugnisse (ca. 15%) sowie elektrotechnische Erzeugnisse und Erzeugnisse der chemischen Industrie mit jeweils etwa 13% Anteil am Export.

Die **Exporte von ausgewählten Gütern** zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen (Wasserturbinen, Windkraftanlagen, Solarzellen und -kollektoren, Wärmepumpen zur Nutzung von Niedertemperaturwärme) nahmen zwischen 1986 und 1993 um rund 230 Mio. DM auf **knapp 300 Mio. DM zu (in Preisen von 1985)** (vgl. Tab. 2). Ihr Anteil am gesamten Exportgeschehen ist derzeit also marginal, er **liegt unter 0,05%**. Im gleichen Zeitraum haben sich auch die Importe von ausgewählten Gütern zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen deutlich erhöht.

Gemessen in absoluten Werten dominieren in den **Exportstatistiken** Wasserturbinen und Wärmepumpen (1993). Eine weitaus geringere Rolle spielen Solarzellen und Windkraftanlagen. Bei den durchschnittlichen jährlichen Zuwachsraten des Exports sind die Windkraftanlagen Spitzenreiter, gefolgt von Wärmepumpen und den Solarkollektoren. Auch der Zuwachs des Exports von

Wasserkraftanlagen lag noch deutlich über dem Zuwachs der Ausfuhren der Gesamtindustrie (1976-1993) in Höhe von 5%/Jahr.

Tab. 2: Exporte und Importe von Gütern zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen (soweit erfaßt, in Mio. DM, Preise von 1985; nach Schmidt 1995)

|                                 | 1976         |              | 1980         |              | 1984         |              | 1986         |              |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                 | <i>Ex</i>    | <i>Im</i>    | <i>Ex</i>    | <i>Im</i>    | <i>Ex</i>    | <i>Im</i>    | <i>Ex</i>    | <i>Im</i>    |
| Wasserturbinen                  | 18,03        | 0,75         | 29,06        | 2,45         | 87,26        | 0,45         | 40,01        | 0,77         |
| Solarkollektoren, Solarabsorber |              |              |              |              |              |              |              |              |
| Solarzellen                     |              |              |              |              |              |              | 27,74        | 15,54        |
| Windkraftanlagen                |              |              |              |              | 9,47         |              | 0,23         | 0,29         |
| Wärmepumpen bis 15 kW           |              |              |              |              |              |              |              |              |
| Wärmepumpen über 15 kW          |              |              |              |              |              |              |              |              |
| <b>Summe</b>                    | <b>18,0</b>  | <b>0,75</b>  | <b>29,1</b>  | <b>2,45</b>  | <b>96,7</b>  | <b>0,45</b>  | <b>68,0</b>  | <b>16,6</b>  |
| <i>Gesamtdeutschland</i>        |              |              |              |              |              |              |              |              |
|                                 | 1988         |              | 1990         |              | 1992         |              | 1993         |              |
|                                 | <i>Ex</i>    | <i>Im</i>    | <i>Ex</i>    | <i>Im</i>    | <i>Ex</i>    | <i>Im</i>    | <i>Ex</i>    | <i>Im</i>    |
| Wasserturbinen                  | 83,97        | 12,84        | 58,75        | 16,88        | 63,23        | 25,64        | 61,97        | 26,66        |
| Solarkollektoren, Solarabsorber | 2,44         | 0,96         | 3,55         | 4,72         | 6,63         | 9,95         | 7,00         | 10,00        |
| Solarzellen                     | 66,24        | 40,82        | 20,80        | 25,96        | 19,83        | 39,12        | 51,07        | 42,32        |
| Windkraftanlagen                | 3,25         | 1,76         | 1,17         | 44,70        | 5,51         | 66,20        | 18,28        | 81,53        |
| Wärmepumpen bis 15 kW           | 47,45        | 70,93        | 62,03        | 92,37        | 71,20        | 92,44        | 79,00        | 90,00        |
| Wärmepumpen über 15 kW          | 41,66        | 36,00        | 48,48        | 51,20        | 90,80        | 53,93        | 80,00        | 55,00        |
| <b>Summe</b>                    | <b>245,0</b> | <b>163,3</b> | <b>194,8</b> | <b>235,8</b> | <b>257,2</b> | <b>287,3</b> | <b>297,3</b> | <b>305,5</b> |

Quelle: Statistisches Bundesamt, Fachserie 7, Reihe 2; Fachserie 17, Reihe 8; Eigene Berechnungen  
Windkraftanlagen: Klose 1994, Allnoch 1993; Berechnungen des FhG-ISI

Anmerkung: Für 1993 wurden die Daten für Solarkollektoren und Wärmepumpen geschätzt, da sie in diesem Jahr nicht mehr in der amtlichen Statistik verzeichnet waren.

Unter den **Bestimmungsländern deutscher Exporte** sind europäische Abnehmer genauso vertreten wie asiatische oder amerikanische. Aber hinsichtlich der einzelnen Produktgruppen variieren die Bestimmungsländer stark. Zudem gibt es eine starke zeitliche Variation bei den einzelnen Techniken aufgrund von abgewickelten Großaufträgen sowie von befristeten Förderprogrammen.

Das läßt darauf schließen, daß die Exportströme stark von den **jeweils geltenden Rahmenbedingungen** (z.B. natürliches Potential, Stromeinspeisebedingungen, Energiepreisniveau oder Förderprogramme) **für erneuerbare Energiequellen in den Bestimmungsländern** abhängen. Zudem haben deutsche und internationale **Programme im Rahmen der Entwicklungshilfe** einen nicht zu unterschätzenden Einfluß auf die Exportströme. Um Aussagen auf der Ebene der einzelnen Techniken statistisch fundieren zu können, wäre aber wesentlich detaillierteres Datenmaterial nötig.

## 2. Inländische Produktion

Von rund 165 Mio. DM im Jahr 1976 stieg die Produktion aller hier betrachteter Güter zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen (in Preisen von 1991) in den alten Bundesländern auf rund 470 Mio. DM im Jahr 1992 (Gesamtdeutschland 1993: 625 Mio. DM). Einbezogen wurden Wasserkraftmaschinen (ohne Generatoren), Solarzellen (inkl. optoelektronische Halbleiterbauelemente), Solarkollektoren, Windkraftanlagen und elektrische Wärmepumpen (vgl. Schmidt 1995).

Zwischen 1976 und 1992 wird der Anstieg der Produktion dieser Güter auf 7%/Jahr beziffert. Im Zeitraum 1982-1992 lag die **Wachstumsrate bei gut 6%/Jahr** und damit über dem Durchschnitt der Industrie von 3%, und zwischen 1991 und 1993 war sogar ein Wachstumsrate von 13%/Jahr zu verzeichnen (Industrie: -4%/Jahr). Durch die rasche Erhöhung des Produktionsumfangs hat dieser Sektor somit innerhalb der betroffenen Branchen der Investitionsgüter-Industrie an Bedeutung gewonnen.

Da im Bereich erneuerbarer Energien Daten in den amtlichen Statistiken fehlen, waren einige Schätzungen erforderlich, die erhebliche Unsicherheiten beinhalten können. Auch besteht bei den Daten des Statistischen Bundesamtes zum Teil erheblicher Interpretationsbedarf. Desweiteren ist für die hier interessierenden Jahre sehr oft die Geheimhaltungspflicht der amtlichen Statistik zu beachten (z.B. bei Wärmepumpen, Kollektoren, Solar-Absorbern).

Einerseits spiegeln die o. g. Schätzwerte ein unvollständiges Bild wider, da beispielsweise die Windkraftanlagen erst seit 1986 erfaßt wurden und die Wärmepumpen in der amtlichen Statistik seit 1992 nicht mehr ausgewiesen sind. Andererseits liegt im Falle der Solarzellen eine deutliche Überschätzung vor. In diesem Falle ist eine isolierte Betrachtung aufgrund der Aggregation mit sonstigen optoelektronischen Halbleiterbauelementen nicht möglich.

Der Verlauf der Summe der ermittelten **Produktionswerte** zeigt insgesamt einen **deutlichen Aufwärtstrend** (vgl. Tab. 3). Es fallen aber mehrere "Zwischentiefs" auf, die zum Teil auf fehlende Angaben zurückzuführen sind, aber auch auf einen Produktionsrückgang bei Wasserkraftmaschinen (Anfang der 80er Jahre). Ab Mitte der 80er Jahre war eine Stagnation bzw. ein Rückgang der Produktion zu beobachten (Energiepreiserückgang 1986/87, insbesondere Mineralöl und Erdgas). Hinzu kamen leicht sinkende Strompreise Ende der 80er Jahre und das Auslaufen der Förderprogramme der öffentlichen Hand.

Zu **Beginn der 90er Jahre** verdoppelte sich die Produktion; sie stieg auf deutlich mehr als eine halbe Milliarde DM an. Insbesondere bei Windkraftanlagen und Solarkollektoren konnte eine boomartige Entwicklung beobachtet werden. Die Gründe für diese Entwicklung liegen im wesentlichen in den Förderprogrammen von Bund, Ländern und Gemeinden, hauptsächlich aber in der Einführung des Stromeinspeisungsgesetzes (1991).

Tab. 3: Die Produktion von Gütern zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen, Übersicht (gerundet in Mio. DM, Preise von 1991); 1976-1992 nur Alte Bundesländer, 1993 Gesamtdeutschland

|                      | 1976         | 1980        | 1982         | 1984         | 1986         | 1988         | 1990         | 1991         | 1992         | 1993         |
|----------------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Wasserkraftmaschinen | 109,1        | 56,8        | 164,2        | 157,1        | 125,0        | 148,0        | 140,2        | 150,2        | 142,3        | 170,5        |
| Solarzellen          | 52,6         | -           | -            | 123,5        | 122,6        | 125,2        | 126,2        | 127,1        | 115,2        | 96,4         |
| Solarkollektoren     | 2,1          | 16,7        | 6,3          | 9,9          | 6,0          | 8,4          | 32,7         | 98,0         | 94,8         | 129,0        |
| Windkraftanlagen     |              |             |              |              | 0,1          | 6,2          | 45,6         | 88,5         | 117,0        | 229,8        |
| Wärmepumpen >15 kW   | -            | -           | 77,8         | 47,9         | 47,3         | 28,8         | 23,7         | 26,4         | +            |              |
| Wärmepumpen <15 kW   | -            | -           | 7,2          | 2,9          | +            | +            | 0,8          | +            | +            | +            |
| <b>Summe</b>         | <b>163,8</b> | <b>73,5</b> | <b>255,5</b> | <b>341,3</b> | <b>301,0</b> | <b>316,5</b> | <b>369,1</b> | <b>490,3</b> | <b>469,2</b> | <b>625,7</b> |

Quelle: Statistisches Bundesamt, Fachserie 3, Reihe 4.1, Fachserie 17, Reihe 8, versch. Jgge, DFS 1994, Klose 1994, Allnoch 1993, Berechnungen des FhG-ISI  
Anmerkungen: - Kein Wert angegeben; + Werte geheimzuhalten

### 3. Kritische Anmerkungen zur Datenlage und den verwendeten Außenhandels- und Produktionsdaten

Was die Belastbarkeit der Aussagen dieser Studie und die Analyse zu den Exportchancen begrenzt, ist zunächst die schwierige Datenlage. Im wesentlichen wurden für die Vergangenheitsanalyse Daten aus amtlichen Statistiken verwendet. Hierbei wurde deutlich, daß die Produktgruppen in der Außenhandelsstatistik und in der Produktionsstatistik unterschiedlich abgegrenzt sind, so daß die Vergleichbarkeit etwas eingeschränkt wird. Außerdem wurden manche **Warengruppen erst sehr spät in die Statistik aufgenommen**, da das Statistische Bundesamt nur in mehrjährigen Intervallen eine Überprüfung der Meldenummern/Warennummern vornimmt. Somit werden sehr dynamisch wachsende Produktgruppen vergleichsweise spät erfaßt; meist erst dann, wenn ihr Produktions- oder Außenhandelsumfang schon relativ groß geworden ist. Besonders kritikwürdig ist in diesem Zusammenhang, daß **Windkraftanlagen** trotz ihrer rasanten Entwicklung immer noch nicht getrennt erfaßt werden. Statt dessen mußte hier auf **Verbandsdaten** zurückgegriffen werden, die sich allerdings lediglich an der Größe und Anzahl der installierten Anlagen und nicht direkt an der wertmäßigen Produktion bzw. dem Außenhandel orientieren. Relativ aufwendige, aber dennoch grobe Schätzungen wurden deshalb notwendig, um eine aktuelle Information über gegenwärtige wirtschaftliche Trends zu ermöglichen.

Es wäre aus diesem Grunde wünschenswert, wenn Waren, die schnell über einen bestimmten Produktions- oder Außenhandelsumfang hinauswachsen, relativ flexibel in die amtliche Statistik aufgenommen würden.

Auffällig ist weiterhin, daß die Detaillierung der Erfassung einzelner Produktgruppen sehr stark divergiert. Einige Güter, deren Produktions- oder Außenhandelsumfang minimal ist, werden in der Statistik separat erfaßt, so z.B. verschiedene Güter, die der zivilen Luftfahrt dienen. Andere Produkte werden zu sehr großen Gruppen zusammengefaßt, wie z.B. die Regler. Es ist den Nutzern der Statistik unverständlich, weshalb Regler in der Außenhandelsstatistik seit 1988 nicht mehr separat aufgeführt werden, während sie bis dato einen Exportumfang von nahezu einer dreiviertel Milliarde DM erreicht hatten. Das **Herausfallen von Solarkollektoren und Wärmepumpen aus der Außenhandelsstatistik seit dem Jahr 1993** ist ebenso schwer verständlich, da beide Produktgruppen im Trend expandieren. In anderen Fällen sind die Daten nicht verfügbar, weil die Statistik nicht nach den Energieträgern differenziert, z.B. bei

Verbrennungsanlagen für Reststroh- und Abfallholznutzung oder BHKW für Klärgas- und Deponiegasnutzung.

Daneben fehlen meist auch Möglichkeiten zur Analyse des **Exports von Komponenten**, die der Nutzung erneuerbarer Energiequellen direkt zugeordnet werden müßten, beispielsweise Generatoren oder Meß- und Regeltechnik. Dies bedeutet, daß die **Außenhandelszahlen systematisch unterschätzt** wurden, weil einzelne Komponenten von Anwendungssystemen nicht erfaßt werden konnten.

Ein weiteres Datenproblem zeigte sich **bei der Preisbereinigung** der Außenhandels- und Produktionsangaben. Das Herausrechnen inflationsbedingter Steigerungen in den Export- und Importwerten ist prinzipiell notwendig. Dabei ergibt sich aber das Problem, daß die amtliche Statistik die Preisindizes bei weitem nicht so differenziert unterteilt, wie dies bei den Angaben der Produktions- und der Außenhandelsstatistik der Fall ist. Oftmals existieren nur für wenige Gütergruppen Preisindizes, so daß statt des Index für die gesuchte Warengruppe derjenige der übergeordneten Gütergruppe oder sogar der Branche als Näherungswert verwendet werden muß. In den Fällen, in denen die Preisentwicklung einer Warengruppe nicht sehr von der Preisentwicklung der übergeordneten Warengruppe abhängt, stellt dies keine gravierende Fehlerquelle dar. Wenn aber eine innovative Technik aufgrund der **Effekte der Lernkurve** und der **Mengenkostendegression** eine sogar nominell sinkende Preisentwicklung hat (z.B. bei Photovoltaik oder Windkonvertern), dann führt die inflationsausgleichende Preisbereinigung der übergeordneten Warengruppe oder Branche zu völlig falschen Aussagen bzgl. der betroffenen Erzeugnisse, bzw. zur Unterschätzung ihrer realen Produktionsentwicklung. In diesem Fall wäre die Verwendung der Zeitreihe mit den nominellen Wertangaben realistischer.

In einigen Fällen waren Importe und Exporte von vergleichbarer Größenordnung; dabei bleibt unklar, in welchen Fällen **importierte Erzeugnisse noch in kleinem Umfang weiterverarbeitet** werden, um **dann wieder re-exportiert zu werden**. In diesen Fällen ist die Aussagekraft von einigen Kenngrößen zur internationalen Wettbewerbsfähigkeit sehr eingeschränkt.

#### 4. Technikspezifische Anmerkungen

Die folgenden Anmerkungen beziehen sich jeweils nur auf eine Techniklinie.

Bei den Exporten der **Wasserkraft** ist zu erkennen, daß insbesondere bei Großanlagen noch hohe Außenhandelsüberschüsse erwirtschaftet werden. Das kann durchaus als Zeichen für eine relativ hohe Wettbewerbsfähigkeit deutscher Anbieter auf den internationalen Märkten für Wasserkraftanlagen gewertet werden. Zwar gibt es Veränderungen in der Praxis der internationalen Entwicklungshilfebanken bei der Förderung von Großprojekten im Bereich der Wasserkraftnutzung. Ob diese jedoch einen nennenswerten Einfluß auf das Marktvolumen für Wasserkraftanlagen haben werden, kann derzeit nicht mit Sicherheit festgestellt werden.

Bei den **Windkonvertern** stellt sich die Frage, warum die dänischen Hersteller in den 80er Jahren wesentlich erfolgreicher als die deutschen Hersteller waren. Bei der Beantwortung dieser Frage wird oftmals ein Zusammenhang zwischen der Entwicklung des GROWIAN und dem Zusammenbrechen des deutschen Windanlagenexports bzw. schlechten Exporterfolgen der deutschen Anlagenbauer im Vergleich zu ihren dänischen Kollegen hergestellt: Während anfangs der 80er Jahre die dänischen Anlagenbauer viel in die Entwicklung von kleinen und mittleren Anlagengrößen investierten - und dann auch entsprechende Anlagen im Leistungsbereich von 100 kW in großem Umfang in die USA liefern konnten -, wurde die Entwicklungsarbeit in Deutschland auf einen sehr großen Anlagentyp (GROWIAN) in der Leistungsklasse von 3.000 kW konzentriert. Diese Anlage absolvierte von 1983 bis Mitte 1987 einige Probeläufe und wurde dann abgebaut, da irreparable Schwingungsschäden auftraten. Hierdurch war die Kompetenz der deutschen "Windmüller" für eine gewisse Zeit international in Frage gestellt. Seit 1990 ist - trotz des noch vorhandenen, aber rückläufigen Außenhandelsdefizits im Sektor Wind - eine erhebliche Zunahme der Exporte festzustellen, die nicht allein auf die Förderung des Inlandsmarktes zurückgeführt werden kann.

Bei der Analyse der **Solarzellen** ist folgendes anzumerken:

- Die frühen Daten über Produktion und Außenhandel von Solarzellen beinhalten im wesentlichen nur monokristalline Zellen (insbesondere für die Raumfahrt), die sehr teuer waren und mit entsprechend hohen Produktionswerten in der Statistik erschienen.

- Die genauen Entwicklungsmöglichkeiten bei der PV-Technologie bzgl. der Wirkungsgrade, der Fertigungsverfahren usw. sind noch nicht klar absehbar. Die große Unsicherheit zeigt sich auch in den unterschiedlichen Unternehmenspolitiken, beispielsweise bei Siemens Solar mit der polykristallinen Siliziumzelle und von japanischen Herstellern (z.B. Canon) mit der amorphen Siliziumzelle.

Bei der Interpretation der Daten für **Sonnenkollektoren und Absorber** ist zu beachten, daß unter der Rubrik Sonnenkollektoren und Absorber nicht nur Fertigprodukte geführt werden: Jeder Kollektor beinhaltet - neben der Absorberfläche - auch andere Komponenten; andererseits kann aber auch ein Absorber bereits ein Fertigprodukt (z.B. zur solaren Schwimmbaderwärmung) darstellen.

Bei der Analyse der Daten zu **Wärmepumpen** überraschen die geringen Produktionsvolumina im Vergleich zu den relativ hohen Außenhandelswerten. Dies läßt vermuten, daß ein Teil der importierten Anlagen nach einer weiteren Verarbeitung (z.B. zu Systemen) wieder re-exportiert wird. Ferner konnten nur Daten über elektrische Wärmepumpen berücksichtigt und der gesamte Bereich gasmotorischer Anlagen nicht einbezogen werden.

TAB

### III. Exportpotentiale

Die zukünftigen Exportpotentiale von Systemen zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen lassen sich aufgrund der außerordentlich heterogenen Einflüsse und Exportmärkte meist nur mit erheblichem Aufwand quantitativ erfassen. So müssen die einzelnen Technologien zunächst einmal in marktreife und entwicklungsfähige Systeme kategorisiert werden (vgl. Enquete-Kommission 1995).

- In die erste Kategorie der **marktreifen Techniken** fallen z. Zt. die Wasserkraftwerke, Windenergieanlagen unter 1 MW, PV-Module für dezentrale Kleinstanwendungen sowie "Solar-Home-Systems", Kompressionswärmepumpen (elektrisch- oder brennstoffbetrieben), solare Schwimmbaderwärmung sowie kleine und mittlere solare Warmwassersysteme, Holz-, Hackschnittel- und Strohfeuerungen und BHKW zur Deponie- und Klärgasnutzung (ferner für Gebiete mit sehr hoher Sonneneinstrahlung: Rinnenkollektor-Kraftwerke mit Zusatzfeuerung).
- Für eine Reihe von **entwicklungsfähigen Technologien**, z.B. einzelbetriebliche Biogasanlagen, autotherme Vergasung von Biomasse und große Windenergieanlagen, besteht aus heutiger Sicht aber noch ein **großer Entwicklungsbedarf**, oder es wird ein Vorlauf mit Demonstrationsanlagen benötigt.

Eine Potentialuntersuchung mit mittelfristigem Zeithorizont hat somit zu berücksichtigen, daß ein Teil der an der Markteinführungsschwelle stehenden Technologien noch nicht die technische Marktreife erreicht haben könnte. Davon zu trennen ist ferner die Diskussion über die wirtschaftlich nutzbaren Marktpotentiale der erneuerbaren Energiequellen, die - je nach Anwendung - bestimmte Durchdringungszeiten in Abhängigkeit von Reinvestitionszyklen, Ausbildung von geeignetem Installations-, Betriebs- und Wartungspersonal sowie Genehmigungsprozessen, Akzeptanz und anderen Einflüssen benötigen. Die Ergebnisse der hierzu vorliegenden Studien klaffen - je nach den unterstellten Rahmenbedingungen einschließlich der Preisentwicklung konkurrierender Energieträger und Kostenreduktionsmöglichkeiten der Techniken der erneuerbaren Energiequellen - weit auseinander.

## 1. Inländische Anwendung

Für die Abschätzung der Exportpotentiale geht diese Studie davon aus, daß die **inländische Anwendung** der erneuerbaren Energietechniken in der Regel eine wichtige Voraussetzung für erfolgreiche Exporte sind (**Demonstrationsmarkt**). Allerdings gibt es hierbei Ausnahmen (z.B. Wasserkraftanlagen, Komponenten von solarthermischen Kraftwerken, solare Meereswasserentsalzung).

Tab. 4: Entwicklungsstand von Technologien zur Nutzung erneuerbaren Energien

|   | <i>Grundlagen-<br/>forschungs-<br/>bedarf</i> | <i>Anwendungs-<br/>und Entwick-<br/>lungsbedarf</i> | <i>Fehlende<br/>Anwendungs-<br/>erpobung<sup>2)</sup></i> | <i>Beginnende<br/>Marktdif-<br/>fusion<sup>1)</sup></i> | <i>Hoher Stand<br/>der Technik<br/>in BRD</i> | <i>Wichtige<br/>Hersteller-<br/>länder</i> |
|---|---|---|---|---|---|--|
| Sonneneenergie  |   |   |   |   |   |  |
| Solarabsorber   |   |   |   | X   | ja  | ISR, GR                                    |
| Solarkollektoren<br>(Niedertemp.)   |   |   |   | X   | ja  | "  |
| Solarkollektoren<br>(Prozeßwärme)   |   |   | X   | X   |   |  |
| Solarthermische<br>Stromerzeugung<br>(Rinnenkollektoren)  |   |   |   | X   | führend<br>(Spiegel)                          | D  |
| Solarthermische<br>Stromerzeugung (an-<br>dere Technologien)  |   | X   |   |   | ja  |  |
| passive Nutzung an<br>Gebäuden  |   | TWD <sup>4)</sup>                                   | X   | X   | Vergla-<br>sung: ja                           |  |
| Photovoltaische<br>Stromerzeugung (kri-<br>stallines Silizium)  |   |   | X   | X   | ja  | D, JP, US                                  |
| Photovoltaische<br>Stromerzeugung <sup>3)</sup><br>(amorphes Silizium)                                  | X   | X   | X   |   | ja  | JP, US                                     |
| andere photovolta-<br>ische Materialien<br>(z.B. Verbindungs-<br>halbleiter u.a. Tan-<br>demstrukturen) | X   | X   |   |   | ja  |  |

|  |   |   |                             |    |                          |
|--|---|---|-----------------------------|----|--------------------------|
| Windenergie  |   |   |                             |    | DK, US                   |
| Anlagen bis 600 kW   |   |   | X                           | ja | JP, NL                   |
| größere Anlagen  | X | X |                             | ja | UK, I, E                 |
| <hr/>  |   |   |                             |    |                          |
| Wasserenergie  |   |   |                             |    |                          |
| Großkraftwerke   |   |   |                             | ja | JP, CH, S,<br>US, CAN    |
| kleine Wasserkraft-<br>werke   |   |   | X<br>(fortge-<br>schritten) | ja | China, IND,<br>Brasilien |
| <hr/>  |   |   |                             |    |                          |
| Biomasse   |   |   |                             |    |                          |
| Verbrennung (feste,<br>pflanzl. Stoffe)                                    | X | X | X                           | ja | A, DK                    |
| Vergasung (feste,<br>pflanzl. Stoffe)                                      | X | X | (X)                         | ja |                          |
| Gülle, Klär- und De-<br>poniegas   |   |   | X                           | ja |                          |
| Biokraftstoffe   |   | X | X                           | ja |                          |
| <hr/>  |   |   |                             |    |                          |
| Umweltwärme  |   |   |                             |    | JAP                      |
| Kompressionswärme-<br>pumpen   |   |   | X                           | ja |                          |
| Absorptionswärme-<br>pumpe   |   | X | X                           | ja |                          |
| <hr/>  |   |   |                             |    |                          |
| Anwendungen und<br>Komponenten   |   |   |                             |    | D, UK,<br>US, JP         |
| Regelungstechnik   | X |   | X                           | ja |                          |
| <hr/>  |   |   |                             |    |                          |
| Wärmespeicher  | X |   | X                           | ja |                          |
| Batterien  | X | X | X                           | ja |                          |
| photovoltaische An-<br>wendungstechnik<br>(z.B. Wasserpumpen,<br>Leuchten) | X | X | X                           | ja |                          |

Quelle: Enquete-Kommission 1995, aktualisiert und ergänzt durch FhG-ISI 1996

<sup>1)</sup> evtl. mit Optimierungsbedarf; <sup>2)</sup> z.B. Lebensdauer;

<sup>3)</sup> technische Marktreife nur für Marktnischen <sup>4)</sup> transparente Wärmedämmung

Einen Anhaltspunkt für den möglichen Umfang der Nutzung erneuerbare Energien in den nächsten Jahrzehnten in Deutschland liefern die Energiebedarfschätzungen der PROGNO AG (1991 und 1995). Danach wird der Anteil der erneuerbaren Energien (in Primärenergieäquivalenten) am gesamten Primärenergieverbrauch in 2005 **3,0%** (432 PJ) und bis 2020 **3,6%** (514 PJ) betragen. Zum Vergleich: 1992 wurden rund **2,3%** des Primärenergieverbrauchs oder 318 PJ aus erneuerbaren Energieträgern gedeckt. Der EU-Durchschnitt liegt gegenwärtig bei etwa 5%, in Österreich beträgt der Anteil der erneuerbaren Energieträger - vor allem wegen der hohen Bedeutung der Wasserkraft - sogar mehr als ein Viertel. Unter der Prämisse, daß keine grundsätzlichen Veränderungen der Rahmenbedingungen eintreten werden, decken die erneuerbaren Energiequellen in Deutschland bis 2005 aber immerhin ca. 6,3% der gesamten Bruttostromerzeugung ab (1992: 4,5%). Zwar bleibt die Wasserkraft die dominierende erneuerbare Energiequelle (2005: 174 PJ), doch wird der stärkste Zuwachs für die Windenergie erwartet (2005: 49 PJ). Auch durch eine intensivere Reststoffnutzung (Müll, Holz, Stroh, Klär-, Biogas) wird laut PROGNO ebenfalls ein Zuwachs ermöglicht. Insgesamt kann man somit davon ausgehen, daß die Nutzung erneuerbarer Energiequellen im **Inland** auch unter den von PROGNO getroffenen (Status quo-) Annahmen (z.B. keine Preissteigerung bei Strom bzw. geringe Preissteigerungen bei fossilen Energieträgern) in fast allen Anwendungsbereichen zunimmt. Allerdings sind die Voraussetzungen für den Export und damit die internationale Wettbewerbssituation uneinheitlich. In Tabelle 4 wird eine grobe Einschätzung des Standes der Technik in Deutschland vorgenommen. Ferner sind für ausgewählte Technologien wichtige Konkurrenzländer auf dem Weltmarkt genannt. Die Schätzung der **Exportpotentiale** deutscher Hersteller erfolgt anhand von Energiebedarfsschätzungen im Ausland und von Anteilen der zuzubauenden Kapazitäten, die jeweils zu einem gewissen Anteil als Exportpotentiale für deutsche Hersteller betrachtet werden könnten. Diese Vorgehensweise ist ohne Zweifel relativ grob und spekulativ, sie ließe sich aber nur durch aufwendige empirische Erhebungen verfeinern.

## 2. Globale und Regionale Projektionen zur künftigen Nutzung erneuerbarer Energiequellen

Die vorliegenden Schätzungen der weltweiten Potentiale erneuerbarer Energien stimmen zumeist darin überein, daß diese auf lange Sicht den größten Teil des Energiebedarfs der Welt decken könnten; doch kurz- und mittelfristig wird der Beitrag der erneuerbaren Energiequellen - trotz der relativ hohen Zuwachsraten - eher als relativ gering eingeschätzt.

Bei Prognosen des Weltenergieverbrauchs finden sich erhebliche Differenzen in den angegebenen Anteilen der erneuerbaren Energieträger am Gesamtverbrauch. Dies ist vor allem dadurch begründet, daß sich der Verbrauch an nichtkommerziellen Energieträgern - zu denen vor allem traditionelle Biomasse wie Brennholz oder Dung gehören - statistisch nur schwer erfassen läßt und von den prognostizierenden Institutionen unterschiedlich behandelt wird. So erwartet der World Energy Outlook 1995 der IEA/OECD, der nur die kommerziellen Energieträger berücksichtigt, für die erneuerbaren Energiequellen (inkl. Wasserkraft) je nach Szenario einen Deckungsbeitrag zum Weltenergieverbrauch von rund 3,5% (402 Mtoe) bis 4,1% (441 Mtoe) im Jahre 2010 (davon Wasserkraft 2,7% bzw. 2,9%). Der International Energy Outlook 1996 der Energy Information Agency des amerikanischen Energieministeriums (EIA 1996b) rechnet - in Abhängigkeit von der wirtschaftlichen Entwicklung - mit einem Anteil aller Erneuerbaren am Weltenergieverbrauch zwischen 8,7 und 9% (1000 bis 1200 Mtoe) in 2010 und zwischen 9,1 und 9,4% (1120 bis 1430 Mtoe) in 2015. Eine Abschätzung des Weltenergieverbrauches (World Energy Council (WEC)) aus dem Jahre 1994, die auch die traditionelle Biomassenutzung einbezieht, gibt den Anteil der Erneuerbaren - wiederum je nach Szenario - mit 19,5% (2308 Mtoe) bzw. 22,7% (2427 Mtoe) in 2010 und mit 21,3% (2844 Mtoe) bzw. 29,6% (3279 Mtoe) in 2020 an.

Dieser Bericht stützt sich vor allem auf die letztgenannte Abschätzung des WEC, da diese Arbeit auch die traditionelle Biomassenutzung einbezieht und eine detaillierte regionale Betrachtung der Entwicklung der erneuerbaren Energiequellen erlaubt. Zudem ist sie die umfangreichste und aufwendigste in jüngster Zeit erschienene Studie zu diesem Themenkreis; die Daten wurden auf der Grundlage von Einschätzungen der fast 100 Mitgliedskomitees des WEC, die sich überwiegend aus Fachleuten aus Bereichen der traditionellen Energieversorgung zusammensetzen, ermittelt. Nach eigener Einschätzung verfügt allerdings auch der Weltenergieverbrauch über keine "prophetischen Gaben". Beispiels-

weise ist das relativ niedrig geschätzte Potential der erneuerbaren Energien in den GUS-Ländern und in Afrika unter Fachleuten nicht unumstritten.

## 2.1 Globale Projektionen des World Energy Council

Der Weltenergieerat hat in seiner Studie zwei Szenarien untersucht: ein "Current Policies"-Szenario sowie ein "Ecologically Driven"-Szenario. Letztgenanntes veranschaulicht eine unterschiedliche "Philosophie" sowie die Spannbreite und damit auch die Unwägbarkeiten, die vor allem bei der Entwicklung der wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen eine Rolle spielen. Im "ökologischen Szenario" nehmen die traditionellen Säulen der erneuerbaren Energieträger, die große Wasserkraft und die traditionelle Biomassenutzung, nur um 30% bis 2010 zu (statt um mehr als 40% wie im Referenz-Szenario), während sich die "neuen" erneuerbaren Energiequellen anstelle einer Verdopplung vervierfachen (d.h. um 7% pro Jahr steigen).

Als Ausgangspunkt dieser Studie wurde das "Current Policies"-Szenario gewählt, weil es für die Abschätzung der Investitionspotentiale die untere (sichere) Grenze andeutet. Anhand dieser Zahlen sowie einer Vielzahl anderer Prognosen wird eine **Einschätzung der Exportaussichten deutscher Hersteller** für ausgewählte Techniken zur Nutzung regenerativer Energiequellen vorgenommen. Neben dieser Globalschätzung der Exportpotentiale wurde untersucht, welche Länder und Regionen als Exportmärkte in Frage kommen. Dabei spielt die Heterogenität der Märkte (siehe Ländergruppen in Kap. III-2.3) eine große Rolle.

Folgt man den Angaben des World Energy Council, lag der **Anteil der "Erneuerbaren" am Primärenergiebereich** im Jahre 1990 bei 17,7% und dürfte bis **2010 bis auf etwa 20%** steigen. Während der Anteil der traditionellen Biomasse (z.B. Brennholz) zurückgehen dürfte (aber absolut weiter wächst, s.u.), ist bei den "Neuen Erneuerbaren" (Solar, Wind, Geothermie, "moderne Biomasse", Gezeiten und kleine Wasserkraft, d.h. Anlagen kleiner als 10 MW<sub>el</sub>) ein weiterer Anteilszuwachs wahrscheinlich (siehe Tab. 5).

Tab. 5: Prognose des Energieverbrauchs aus erneuerbaren Energien und ihrer Anteile am weltweiten Energiebedarf, Werte gerundet

|  | <i>"Current Policies"</i> |                          |                          | <i>"Ecologically driven"</i> |                          |
|--|---------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|
|  | 1990                      | 2000                     | 2010                     | 2000                         | 2010                     |
| Solar  | 12<br>(0,8%)              | 18<br>(0,9%)             | 42<br>(1,8%)             | 22<br>(1,1%)                 | 92<br>(3,8%)             |
| Wind   | 1<br>(0,1%)               | 6<br>(0,3%)              | 29<br>(1,3%)             | 7<br>(0,4%)                  | 48<br>(2,0%)             |
| Geothermisch   | 12<br>(0,8%)              | 18<br>(1,0%)             | 26<br>(1,1%)             | 26<br>(1,4%)                 | 49<br>(2,0%)             |
| Moderne Biomasse   | 121<br>(7,8%)             | 152<br>(8,0%)            | 198<br>(8,6%)            | 218<br>(11,3%)               | 372<br>(15,3%)           |
| Ozean (Gezeiten)   | 0<br>(0,0%)               | 0<br>(0,0%)              | 3<br>(0,1%)              | 1<br>(0,0%)                  | 18<br>(0,7%)             |
| kleine Wasserkraftwerke<br>( $<10 \text{ MW}_{el}$ )                                       | 18<br>(1,2%)              | 25<br>(1,3%)             | 34<br>(1,5%)             | 31<br>(1,6%)                 | 48<br>(2,0%)             |
| "neue" Erneuerbare   | 164<br>(10,5%)            | 219<br>(11,6%)           | 332<br>(14,4%)           | 304<br>(15,8%)               | 626<br>(25,8%)           |
| <i>nachrichtlich: Anteil der<br/>"neuen" Erneuerbaren am<br/>gesamten Energiebedarf</i>    | 1,9%                      | 2,2%                     | 2,8%                     | 3,1%                         | 5,9%                     |
| traditionelle Biomasse   | 930<br>(59,6%)            | 1080<br>(56,9%)          | 1208<br>(52,3%)          | 1026<br>(53,1%)              | 1062<br>(43,8%)          |
| große Wasserkraft  | 465<br>(29,8%)            | 600<br>(31,6%)           | 768<br>(33,3%)           | 602<br>(31,1%)               | 738<br>(30,4%)           |
| <b>Erneuerbare total<sup>1)</sup></b>  | <b>1559<br/>(100,0%)</b>  | <b>1899<br/>(100,0%)</b> | <b>2308<br/>(100,0%)</b> | <b>1932<br/>(100,0%)</b>     | <b>2427<br/>(100,0%)</b> |
| <i>nachrichtlich: Anteil aller<br/>erneuerbaren Energien am<br/>gesamten Energiebedarf</i> | (17,7%)                   | (18,7%)                  | (19,5%)                  | 19,9%                        | 22,7%                    |

Quelle: WEC 1994, Berechnungen des TAB

Tab. 6: Zuwächse des Energieverbrauchs aus erneuerbaren Energien bezogen auf 1990, Werte gerundet

|  | <i>"Current Policies"</i> |                      | <i>"Ecologically Driven"</i> |                      |
|--|---------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|
|  | 2000                      | 2010                 | 2000                         | 2010                 |
| Solar                                    | 6<br>(50%)                | 30<br>(250%)         | 10<br>(83%)                  | 80<br>(667%)         |
| Wind                                     | 5<br>(500%)               | 28<br>(2800%)        | 6<br>(600%)                  | 47<br>(4700%)        |
| Geothermisch                             | 6<br>(50%)                | 14<br>(117%)         | 14<br>(117%)                 | 37<br>(308%)         |
| Moderne Biomasse                         | 31<br>(26%)               | 77<br>(64%)          | 97<br>(80%)                  | 251<br>(207%)        |
| Ozean (Gezeiten)                         | 0<br>(0,0%)               | 3                    | 1                            | 18                   |
| kleine Wasserkraftwerke<br>( $<10$ MWel) | 7<br>(39%)                | 16<br>(89%)          | 13<br>(72%)                  | 30<br>(167%)         |
| "neue" Erneuerbare                       | 55<br>(34%)               | 168<br>(102%)        | 140<br>(85%)                 | 462<br>(282%)        |
| tradit. Biomasse                         | 150<br>(16%)              | 278<br>(30%)         | 96<br>(10%)                  | 132<br>(14%)         |
| große Wasserkraft                        | 135<br>(29%)              | 303<br>(65%)         | 137<br>(29%)                 | 273<br>(59%)         |
| <b>Erneuerbare total</b>                 | <b>340<br/>(22%)</b>      | <b>749<br/>(48%)</b> | <b>373<br/>(24%)</b>         | <b>868<br/>(56%)</b> |

Quelle: WEC 1994, Berechnungen des TAB

In Relation zum Ausgangsniveau sind die erwarteten Zuwächse beträchtlich (vgl. Tab. 6), insbesondere im Bereich der Windenergie (Faktor 29 zwischen 1990 und 2010), Solarenergie (Faktor 3,5) und kleine Wasserkraft (+ 90%). Dennoch dürfte der Anteil der "neuen erneuerbaren Energien" (d.h. Solar, Wind, "moderne Biomasse", Meeresenergie und kleine Wasserkraft) an den Erneuerbaren 2010 insgesamt erst bei gut 14% liegen (zum Vergleich: traditionelle Biomasse 52%, große Wasserkraft ca. 33%). Die größten absoluten Zuwächse haben allerdings weiterhin die traditionelle Biomasse (+280 Mtoe oder 11 700 PJ) und große Wasserkraft (+ 300 Mtoe oder 12 500 PJ).

Tab. 7: Zusätzliches Energieangebot 1990-2010 und Abschätzung der Anlageninvestitionsvolumina für erneuerbare Energiequellen (Zahlen gerundet)

| <i>Nutzung der erneuerbaren Energie</i> | <i>zusätzliches Energieangebot in 2010 in Mrd. kWh</i> | <i>durchschnittliche Jahresnutzungsstunden</i> | <i>zusätzlich installierte Kapazität in 2010</i> | <i>durchschnittliche Anlagenkosten <sup>2)</sup> DM/kW</i> | <i>Weltweites Investitionsvolumen</i> |   |
|---|--|--|--|--|---------------------------------------|---|
|   |  |  | <i>GW</i>  |  | <i>1990 - 2010 in Mrd. DM</i>         | <i>durchschnittl. pro Jahr in Mrd. DM</i> |
| Solarthermisch                          | 340  | 1900   | 850 <sup>3)</sup>                                | 300 <sup>3)</sup> ,-                                       | 250                                   | 12,75                                     |
| Photovoltaik                            | 5  | 2100   | 2,4  | 9000,-   | 21,6                                  | 1,08                                      |
| Windkraft                               | 320  | 4000   | 80   | 1500,-   | 120                                   | 6   |
| Geothermie                              | 165  | 8000   | 21   | 2500,-   | 52,5                                  | 2,6                                       |
| Moderne Biomasse                        | 900  | 6000   | 150  | 1400,-   | 210                                   | 10,5                                      |
| Kleine Wasserkraft                      | 190  | 6500   | 29   | 8000,-   | 232                                   | 11,6                                      |
| Große Wasserkraft                       | 3500   | 7500   | 470  | 5000,-   | 2350                                  | 117,5                                     |
| Meeresenergie                           | 30   | 8500   | 3,5  | 20000 <sup>4)</sup> ,-                                     | 70                                    | 3,5                                       |
| <b>Summe</b>                            | <b>5450</b>  | <i>./.</i>                                     | <b>700 elektr.</b>                               |  | <b>3306</b>                           | <b>165</b>                                |

1) bezogen auf 1990 gemäß Schätzungen der WEC 1994

2) ohne Bauleistungen, da diese vor Ort erbracht werden u. größtenteils nicht exportrelevant sind

3) Mio. m<sup>2</sup> bei Systemausbeute von 400 kWh/m<sup>2</sup> . a und Anlagenpreis von 300 DM/m<sup>2</sup>

4) grobe Schätzung angesichts der noch im Konzeptstadium befindlichen Technik

Quelle: Diekmann et al. 1995

Greift man auf die durchschnittlichen Jahresnutzungsstunden der einzelnen Techniken und grobe Durchschnittswerte für die jeweiligen spezifischen Investitionskosten (DM/kW) zurück, lassen sich die Schätzungen des WEC in marktrelevante, jährliche Investitionsvolumina überführen (vgl. Tab. 7). Mit mehr als

100 Mrd. DM. jährlich ist danach der Markt der **großen Wasserkraftwerke mit beinahe 120 Mrd. DM/a** weiterhin bei weitem der **größte Markt** der erneuerbaren Energiequellen, **gefolgt von den anderen Teilmärkten** mit einem um eine Größenordnung kleineren Volumen **um die 10 Mrd. DM/a**: die moderne Biomasse (mit großen Zukunftsaussichten), die kleinen Wasserkraftwerke, die solarthermischen Anlagen und die Windkraft, ebenfalls mit großen Wachstumsraten.

## 2.2 Regionale Projektionen

Bei **regionaler Betrachtung** der im zugrunde gelegten Szenario ("Current Policy") angenommenen Entwicklung zeigt sich, daß der **weltweite Zuwachs** bei den erneuerbaren Energien in Höhe von rund 750 Mio. t Rohöleinheiten (ca. 31 000 PJ) zwischen 1990 und 2010 auf folgende **Wirtschaftsräume** entfällt:

- 24% (7500 PJ) Lateinamerika,
- 21% (6600 PJ) Pazifik/China (diese Zahl dürfte, wenn man die jüngere Entwicklung betrachtet, eher unterschätzt sein),
- 17% (5300 PJ) Afrika südlich der Sahara,
- 14% (4400 PJ) Zentral- und Südasien,
- 11% (3400 PJ) Nordamerika,
- 7% (2200 PJ) Westeuropa,
- 3% (1000 PJ) GUS und Osteuropa (diese Zahl wird seitens russischer Fachleute allein für Rußland genannt) sowie
- 3% (1000 PJ) Mittlerer Osten und Nordafrika (wegen der zum Teil erheblichen Erdöl- und Erdgasreserven verständlich).

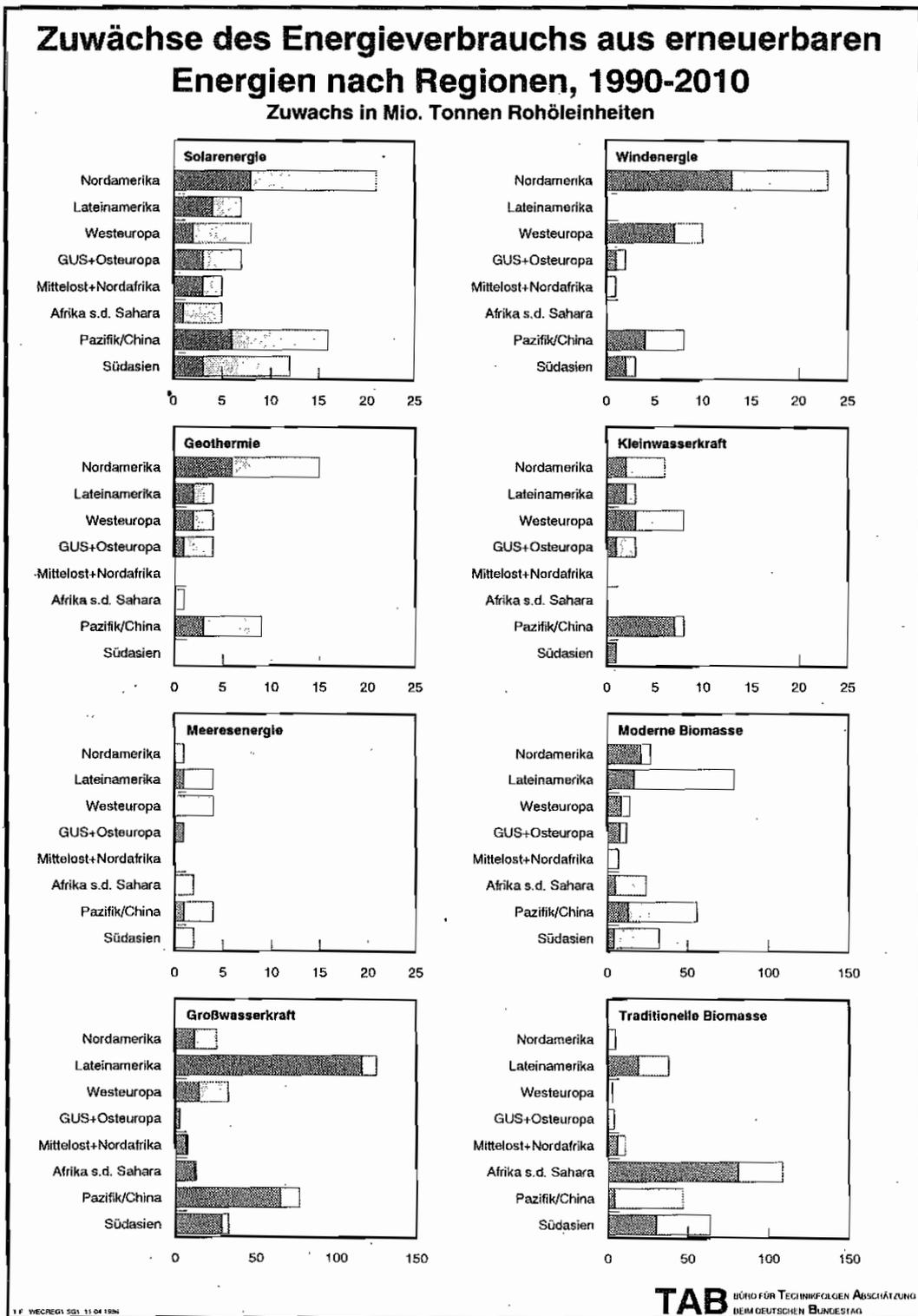
Allgemein hat man den Eindruck, daß die Zuwachszahlen, die der WEC zusammenstellte, dann etwas gering ausfallen, wenn die Ausgangsbasis der Nutzung der erneuerbaren Energiequellen klein ist und relativ wenig Informationen einzelner Länder vorliegen. Bei der Einschätzung der Zuwächse ist auch zu berücksichtigen, daß der Anteil der sich entwickelnden Länder an der Weltbevölkerung von 75% (1990) deutlich steigen wird (UNO-Bevölkerungsprognose, Schätzung WEC (1993) für 2020: 85%). Der Anteil dieser Regionen am Weltenergieverbrauch (1990: 33%) dürfte mindestens analog expandieren (Prognose für 2020: 55%), wengleich zu den absoluten Werten der Energiebedarfsschätzung unsererseits Fragen angebracht erscheinen, weil die ehemaligen Comecon-Länder und China sehr große Energieeffizienzpotentiale besitzen.

Für eine **technikspezifische Betrachtung** sind die absoluten Zuwächse in den einzelnen Regionen in der Abbildung xx-x dargestellt. Demzufolge sind für die einzelnen Techniken folgende **Wachstumsregionen** bei der Nutzung erneuerbarer Energien im Zeitraum 1990 bis 2010 besonders zu nennen:

- **Solarenergie:** Vor allem in Nordamerika und den asiatischen Regionen, aber auch die anderen Regionen sind hier von Bedeutung.
- **Windenergie:** Bedeutende Anstiege in Nordamerika und Westeuropa, in geringerem Umfang in Pazifik/China, andere Regionen tragen nur geringfügig zum Zuwachs bei.
- **Geothermie:** Hauptsächlich in Nordamerika und Pazifik/China, geringere Zuwächse in den anderen Regionen außer Mittelost/Nordafrika sowie Süd-asien.
- **Moderne Biomasse:** Neben Latein- und Nordamerika vor allem Pazifik/China, aber nicht unbeträchtliche Potentiale auch in allen anderen Regionen.
- **Meeresenergie:** Insgesamt nur geringe Zuwächse, primär in Lateinamerika, Pazifik/China sowie im europäischen Raum.
- **Kleine Wasserkraft:** Zuwächse in allen Regionen außer im afrikanischen Raum und im Mittleren Osten, wo Kleinwasserkraft auch in Zukunft keine Rolle spielen wird.
- **Traditionelle Biomasse:** Zuwächse vor allem in den Gebieten mit schon gegenwärtig starker Nutzung traditioneller Biomasse, d.h. vor allem in Afrika südlich der Sahara sowie im asiatischen Raum, kaum Zuwächse in den Industrieländern.
- **Große Wasserkraft:** Starke Zuwächse in Lateinamerika und in Asien, in geringerem Maße in Westeuropa und Nordamerika.

Die verwendeten **Prognosedaten** zum Energieangebot basieren häufig auf wenig detaillierten Untersuchungen. Sie sind - wegen der relativen Bedeutungslosigkeit der (neuen) erneuerbaren Energiequellen - meist **grobe Schätzungen**, die im Rahmen dieses Monitoring nicht eingehend geprüft werden konnten. Die Prognosezahlen zum Energiebedarf unterschätzen den Einfluß rationeller Energieanwendung und struktureller Veränderungen, der weltweite Energiebedarf dürfte eher in geringerem Umfang zunehmen. Damit könnten auch die Wachstumspotentiale der erneuerbaren Energiequellen geringer sein. Andererseits fällt auf, daß in denjenigen Weltregionen, in denen heute noch wenig erneuerbare Energiequellen genutzt werden, auch die Potentialschätzungen für die nächsten 20 Jahre erstaunlich gering ausfallen.

Abb. 1: Zuwächse des Energieverbrauchs aus erneuerbaren Energien nach Regionen, 1990-2010



Quelle: WEC 1994, Berechnungen des TAB

Nach Ansicht des World Energy Council (WEC 1993) sind die **Unsicherheiten** insgesamt **sehr groß**. Ein signifikant höherer Beitrag der erneuerbaren Energien zum Primärenergieaufkommen ist nach seiner Einschätzung nur bei massiver politischer Unterstützung durch ein wirksames, international abgestimmtes Programm möglich, da das Ausgangsniveau sehr niedrig, die Kapitalintensität sehr hoch und die Kapitalverfügbarkeit in den Wachstumsländern relativ gering ist. Wie hoch der Kapitalbedarf für die Finanzierung der Weltenergieversorgung in den nächsten Jahrzehnten sein wird, ist wegen des umstrittenen Energiebedarfszuwachses unsicher. Allerdings wird auf die sich momentan entwickelnden Staaten in Asien und Südamerika in jedem Fall ein stark wachsendes Investitionsvolumen für Energieanlagen entfallen.

### 3. Heterogenität der Märkte

Für die Beschreibung der Beziehungen zwischen Angebot und Nachfrage für Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger ist die Heterogenität der Märkte zu beachten. Zwar lassen sich Länder - beispielsweise anhand des Bruttoinlandsproduktes pro Kopf - klassifizieren und dann einzelne Staaten den jeweiligen Gruppen zuordnen. Aber innerhalb dieser Ländergruppen bleiben beträchtliche Unterschiede, unter anderem im sozio-ökonomischen Entwicklungsstand, in der Struktur des Energieangebotes und des Energieverbrauchs, in den Abhängigkeiten zwischen Energieverbrauch, Wirtschaftsentwicklung und Umweltqualität sowie in den politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen bestehen. Die hier vorgenommene Gliederung soll dazu dienen, einige **Spezifika der Märkte** in ausgewählten Ländergruppen zu verdeutlichen. Diese kann aus oben genannten Gründen nur orientierenden Charakter haben; für eine genaue Analyse der Märkte wäre jeweils eine länderspezifische Betrachtung vonnöten.

#### 3.1 Ökologisch motivierte Märkte (Industrielländer)

In den entwickelten Industrieländern sind viele Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger unter den derzeitigen Randbedingungen nur begrenzt wirtschaftlich einsetzbar. Aufgrund der technischen Reife traditioneller Energietechniken, derzeit vergleichsweise niedriger Preise konventioneller (fossiler)

Energieträger sowie der Dominanz der durch die traditionellen Energien geprägten energiewirtschaftlichen und energiepolitischen Strukturen und Institutionen sind viele Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger heute nur in Ausnahmefällen (Wasserkraft, an günstigen Standorten auch Windkraft) wirtschaftlich wettbewerbsfähig. Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger können sich unter diesen Bedingungen nur in bestimmten Marktnischen etablieren. Staatliche Institutionen, einige Energieversorgungsunternehmen und private Organisationen versuchen - primär aus ökologischen und FuE-Gründen, z.T. auch aus Gründen der Gewährleistung der Sicherheit der Energieversorgung sowie im Rahmen einer gewissen "Imagepflege", aber durchaus mit unterschiedlichem Engagement - durch Maßnahmen hauptsächlich finanzieller und organisatorischer Natur den Einsatz von Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger zu fördern bzw. zu unterstützen. Zu diesen Maßnahmen zählen z.B.:

- freiwillige Einspeisevergütungen für Strom aus Erneuerbaren, die einen kostendeckenden Betrieb von Erzeugungsanlagen ermöglichen,
- gesetzliche Maßnahmen, die EVU zur Abnahme von Strom aus Erneuerbaren und zu einer - z.T. nach Energieträger differenzierten - Mindestvergütung verpflichten,
- Änderung von Gesetzen bzw. Erlass von Ausnahmeregelungen, die die Errichtung und den Betrieb von Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger ermöglichen bzw. erleichtern,
- finanzielle Vergünstigungen wie Steuervorteile, veränderte Abschreibungsbedingungen und verbilligte Kredite,
- Unterstützung von Forschung, Entwicklung und Markteinführung.

Nicht zu unterschätzen sind auch Initiativen von Privatpersonen und Interessenvereinigungen, trotz höherer Kosten Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger für die Energieversorgung bspw. von privaten Haushalten, von Wohnhäusern und öffentlichen Einrichtungen zu nutzen. Solche Initiativen sind häufig ökologisch motiviert; sie nehmen nicht selten eine Vorreiterrolle bei der Diffusion von neuen Techniken in (Heim-) Märkte ein und ermöglichen deren Demonstration unter Alltagsbedingungen, das Sammeln von Betriebserfahrungen sowie eine Optimierung der Auslegungen.

Ein Beispiel für derartige Initiativen ist das sogenannte "Green Pricing". Hierbei zahlen Stromkunden freiwillig einen höheren Tarif - entweder als Fixum oder verbrauchsabhängig - an das jeweilige EVU. Dieses verwendet diese Einnahmen zweckgebunden für die Zahlung von Einspeisevergütungen von Strom

aus Erneuerbaren oder für die Entwicklung und den Bau von eigenen Solar-  
kraftwerken und Windparks. Solche "Green Pricing"-Programme werden seit  
einiger Zeit von amerikanischen EVU durchgeführt, um die durch den Wegfall  
von Steuervergünstigungen und die veränderte Genehmigungspraxis der Regu-  
lierungsbehörde FERC deutlich verschlechterten Bedingungen für Regenerative  
im Strommarkt der USA zum Teil kompensieren zu können.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß Erneuerbare aufgrund der niedri-  
gen Preise der fossilen Energieträger und der nicht gegebenen Berücksichtigung  
von Externalitäten in der Kostenrechnung heute oft nur in Nischenmärkten wirt-  
schaftlich sind. Eine verstärkte Nutzung ist derzeit nur durch massive öffentli-  
che Unterstützung, sei es durch politische und finanzielle Hilfe seitens des  
Staates oder freiwillige Initiativen von Verbrauchern und Energieversorgern,  
möglich. Die Entwicklung der kapitalkräftigen Märkte für Techniken zur Nut-  
zung erneuerbarer Energieträger in den Industrieländern ist durch dieses Um-  
feld geprägt - die Nachfrage nach derartigen Techniken steht in engem Zusam-  
menhang mit staatlichen Förderprogrammen sowie der wirtschaftlichen Lei-  
stungsfähigkeit und dem ökologischen Bewußtsein der Bevölkerung. Während  
letzteres als einigermaßen stabil angenommen werden kann, sind die beiden  
erstgenannten Faktoren deutlich konjunkturellen Einflüssen unterworfen.

### **3.2 Länder mit derzeit gravierenden Umstrukturierungen der Ener- gieversorgung (GUS-Staaten, Mittel- und osteuropäische Länder)**

Die Länder Mittel- und Osteuropas sowie der ehemaligen Sowjetunion verfügen  
in der Regel über eine vergleichsweise gut ausgebaute Infrastruktur der Ener-  
gieversorgung. Es existieren ausgedehnte Elektrizitätsversorgungsnetze, die Kraft-  
werkskapazitäten sind in der Regel ausreichend. Allerdings sind viele Anlagen  
- sowohl in der Energieträgergewinnung und Energieumwandlung als auch bei  
den Energieanwendungen - veraltet bzw. auf niedrigerem technischen Niveau,  
die Wirkungsgrade verglichen mit westlichen Standards gering. Gewinnung,  
Transport, Umwandlung und Verbrauch von Energieträgern tragen wesentlich  
zur Umweltverschmutzung, insbesondere zur Zerstörung von Landschaften und  
zur Emission von Schadstoffen bei, so daß zunächst auch in diesem Bereich er-  
heblicher Handlungsbedarf besteht (z.B. Einführung von Umweltschutztechni-  
ken wie Rauchgasentschwefelung und -entstickung sowie Staubabscheider).  
Viele Kernkraftwerke bedürfen einer Nachrüstung mit Sicherheitstechniken,  
auch sind Reaktorsicherheitsbehälter (Containments) oft nicht vorhanden.

Das derzeit größte Hemmnis für Erneuerungen in der Energieversorgung der Länder des ehemaligen Ostblocks ist finanzieller Natur. Die Verbraucherpreise für Energieträger liegen häufig unter den Kosten, Preiserhöhungen sind bei der geringen Kaufkraft der Bevölkerung nur in beschränktem Umfang durchsetzbar. Damit fehlt den - in der Regel unter staatlichem Einfluß stehenden - Energieversorgungsunternehmen das Kapital für notwendige Instandhaltungsmaßnahmen und vor allem für Investitionen. Diese finanziellen Hemmnisse werden kurz- und mittelfristig kaum abzubauen sein und auch die verstärkte Nutzung Regenerativer bremsen. Die knappen finanziellen Mittel werden eher in konventionelle Kapazitäten denn in den - riskanteren und in der Regel mit höheren spezifischen Investitionskosten verbundenen - Zubau von Erzeugungseinheiten auf der Basis erneuerbarer Energien fließen. Zudem existieren Hemmnisse auf der institutionellen und politischen Ebene:

- Trotz der vielerorts offensichtlichen Folgen des zerstörerischen Umgangs mit natürlichen Ressourcen in diesen Ländern fehlt der politische Konsens zu einer verstärkt auch an ökologischen Gesichtspunkten ausgerichteten Politik.
- Vor allem für Rußland bieten sich - aufgrund seiner umfangreichen einheimischen Vorkommen an fossilen Energieträgern - für eine Nutzung erneuerbarer Energien wenig Anreize. Allerdings befinden sich viele andere Staaten der Region in einer historisch bedingten Abhängigkeit von diesen Vorkommen, was dort einen Trend zur Diversifizierung der Lieferanten- und Energieträgerstruktur und damit auch zu Erneuerbaren fördern könnte.
- Die institutionellen Strukturen in den meisten Ländern sind an den klassischen Energieträgern und an traditionellen Versorgungsstrukturen orientiert.
- Die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen (z.B. Sicherheit der Investitionen, Möglichkeit der Einspeisung in Elektrizitätsversorgungsnetze) sind in der Regel noch nicht geeignet, private Investitionen für den Bereich der Energieversorgung zu gewinnen.
- Das Management der - meist staatlichen - Energieversorgungsunternehmen wie auch viele politische Entscheidungsträger sind mit grundlegenden marktwirtschaftlichen Prinzipien wie Finanzierung, Kostenminimierung, Marktfindung und Marktöffnung sowie Kundenorientierung nicht oder nicht ausreichend vertraut. Um dies am Beispiel der Elektrizitätsversorgung zu illustrieren: Strom wird meist nicht als Wirtschaftsgut, sondern als Teil der sozialen Sicherheit und Objekt der staatlichen Wirtschaftsförderung verstanden. Die Preise richten sich nicht nach den Kosten, sondern nach der an-

genommenen wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit der industriellen und privaten Verbraucher. EVU werden nicht unternehmerisch tätig, sondern sind Ausführende von auf politischer Ebene getroffenen Entscheidungen.

Mit der wachsenden West-Orientierung vor allem einiger Länder Mittel- und Osteuropas könnten sich diese Verhältnisse allerdings mittel- und langfristig ändern. Erste Schritte hin zu einer an westlichen Standards orientierten Energieversorgung sind bereits zu verzeichnen. So sind seit 1995 die Stromnetze Polens, Tschechiens und Ungarns mit dem westeuropäischen Verbundnetz UCPTE gekoppelt. Zudem existiert eine wachsende Zahl von Kooperationen mit westlichen Staaten und Unternehmen, beispielsweise bei Umweltschutztechnik im Kraftwerksbereich oder im Bereich der nuklearen Sicherheit. Mit zunehmender wirtschaftlicher Prosperität dieser Staaten wird die Rolle des Umweltschutzes an Bedeutung gewinnen, wird sich der Druck hin zu einer auch an ökologischen Kriterien orientierten Politik verstärken und werden sich das gesellschaftliche Klima und die finanziellen Möglichkeiten für eine verstärkte Nutzung emissionsfreier umweltverträglicher Energiequellen verbessern.

Erneuerbare Energien tragen derzeit nur in geringem Umfang zur Energieversorgung in den Staaten Mittel- und Osteuropas bei. Eine Ausnahme ist hier die Wasserkraft, bei der vor allem Rußland über gewaltige Potentiale verfügt. Ein Teil wird schon heute genutzt, einige der größten Wasserkraftwerke der Welt befinden sich in Rußland. Theoretisch könnten weitere umfangreiche Potentiale vor allem an den sibirischen Strömen erschlossen werden. Ihre Lage fernab von Verbrauchsschwerpunkten sowie erhebliche ökologische Bedenken machen die Realisierung solcher Projekte in den nächsten Jahrzehnten jedoch unwahrscheinlich.

Das Potential ist auch bei den anderen Erneuerbaren beträchtlich. Vor allem russische Wissenschaftler haben einen beachtlichen Wissensstand bei Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger erreicht. In größerem Maßstab in die Praxis umgesetzt wurden Energieversorgungssysteme auf der Basis von Erneuerbaren bislang jedoch nicht.

Für Anwendungen der Photovoltaik und der Solarthermie eignen sich besonders Standorte entlang des Schwarzen Meeres sowie in Mittelasien. Im Photovoltaikbereich verfügen Rußland und die Ukraine über umfangreiche eigene Erfahrungen und eingeführte Systeme. So werden Wafer für Si-Zellen exportiert (z.B. nach Indien), Module aus russischer Produktion bspw. auch in Deutschland vertrieben. Erste Versuche gab es mit solarthermischen Anwendungen.

### 3.3 Länder mit derzeitiger Unterdeckung und hohen Wachstumsraten im Energieverbrauch (Schwellenländer, Entwicklungsländer mit mittleren Einkommen)

Viele sich wirtschaftlich stark entwickelnde Länder - vor allem im asiatischen Raum - stehen vor einer komplizierten Situation. Der wirtschaftliche Aufschwung hat zu beträchtlichen Zuwächsen des Energieverbrauchs, vor allem im Bereich der Elektrizitätsversorgung (mit jährlichen Wachstumsraten zwischen 7 und mehr als 10%) geführt. Neben dem Wachstum des industriellen Verbrauchs tragen dazu auch das wachsende Einkommen der Bevölkerung, das zu einem höheren Ausstattungsgrad der Haushalte mit Elektrogeräten geführt hat, sowie das anhaltende Bevölkerungswachstum bei. Zugleich leben - vor allem im ländlichen Raum - noch viele Menschen ohne jeglichen Zugang zu Elektrizität, weltweit wird ihre Zahl auf über zwei Milliarden geschätzt.

Die Kapazitäten in der Erzeugung, Übertragung und Verteilung von Strom konnten jedoch - sowohl wegen der langen Bauzeit konventioneller Kraftwerke als auch wegen der hohen Kapitalkosten von Kraftwerken und Infrastruktur bei gleichzeitiger Finanzknappheit der (meist staatlichen) Energieversorgungsunternehmen - mit dieser Entwicklung nicht Schritt halten, so daß häufig Engpässe und Versorgungsausfälle auftreten. Hinzu kommt, daß die Versorgungssysteme meist schlecht gewartet sind, was zu - verglichen mit Industrieländern - wesentlich geringeren Verfügbarkeiten der Kraftwerke und häufigen Ausfällen im Übertragungssystem führt. Eine Analyse des Office of Technology Assessment des amerikanischen Kongresses (OTA 1992) kommt zu der Einschätzung, daß in vielen Entwicklungsländern - trotz länderspezifischer Unterschiede - ähnliche Gründe für die mangelhafte Leistungsfähigkeit der Elektrizitätsversorgungsunternehmen vorliegen:

- zu viel Personal, aber gleichzeitig Mangel an Fachleuten,
- geringe Standardisierung der Anlagentechnik,
- unzureichende Systemintegration und -planung,
- politische und soziale Verpflichtungen zur Stromabgabe - zumindest für Teile der Bevölkerung - unter den tatsächlichen Kosten,
- Mangel an ausländischen Währungen zur Beschaffung von Ersatzteilen und
- ein Ordnungsrahmen, der nicht den Wettbewerb fördert.

Nicht selten verfügen diese Länder über günstige Standortbedingungen zumindest für einige Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger. Auch kommen in solchen Märkten zwei weitere Vorteile solcher Techniken zum Tragen:

Zum einen können Energieversorgungssysteme auf ihrer Basis vergleichsweise kurzfristig, d.h. in der Regel binnen eines Jahres, errichtet werden. Verglichen mit den Planungs- und Bauzeiten für konventionelle Kraftwerke können Engpässe so schneller beseitigt werden. Zum anderen sind - vor allem aufgrund der Siedlungsstrukturen im ländlichen Raum solcher Länder und der damit verbundenen Stromabnahmecharakteristiken - "stand-alone"-Systeme oder "Ortsnetze" auf der Basis Erneuerbarer oder von Hybridsystemen kostengünstiger zu errichten und zu betreiben als Anschlüsse an ein zentrales Elektrizitätsversorgungsnetz. Die zwei sich am stärksten entwickelnden Märkte für Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger in Asien sind Indien und China. Deren weitere Entwicklung wird auch die umliegenden Staaten beeinflussen. Ebenfalls sich stark entwickelnde Märkte finden sich in Lateinamerika, im Nahen Osten sowie im Süden Afrikas

### 3.4 Situation in ausgewählten Ländern

#### *Indien*

Die Elektrizitätsversorgung in Indien konnte mit dem wirtschaftlichen Wachstum des Landes nicht Schritt halten. Im ländlichen Raum gibt es erheblichen Elektrifizierungsbedarf, gegenwärtig sind noch mehr als 72.000 Dörfer ohne Stromversorgung. Die vorhandenen Kraftwerke werden nicht selten suboptimal betrieben, die Ausnutzungsdauern und die Verfügbarkeiten liegen oft unter den westlichen Standards. Die derzeitige Lücke zwischen Kapazität und Bedarf wird auf 25.000 MW geschätzt. Die indische Regierung erwartet bis zum Jahr 2005 ein starkes Wachstum des Strombedarfs.

Derzeit werden große Anstrengungen im Kraftwerksbau unternommen. Neben einer Vielzahl von Projekten zur Stromerzeugung auf fossiler Basis (in der Hauptsache aus Kohle und Erdgas) gibt es seitens der indischen Regierung auch starke Initiativen zur Nutzung erneuerbarer Energieträger:

- Derzeit dürften über 750 MW Kraftwerksleistung auf der Basis nicht-konventioneller Energien in Betrieb sein, in den nächsten zwei Jahren sollen weitere 2.000 MW ans Netz gehen.
- Einen starken Boom hat in den letzten Jahren insbesondere die Windkraft erlebt. Zur Zeit sind etwa 500 MW am Netz, nach Schätzungen der indischen Regierung werden es Ende des Jahrzehnts etwa 2000 MW sein, weitere 5000 MW dürften bis 2010 hinzukommen. Das Wachstum wird durch um-

fangreiche staatliche Maßnahmen gefördert: Es wurde ein Windatlas erstellt und die einheimische Industrie bei Forschung, Entwicklung, Demonstration und Markteinführung umfangreich unterstützt. Private Investoren können "soft loans" erhalten, zudem dürfen sie Steuervergünstigungen und Reduktion bzw. Befreiung von Importzöllen in Anspruch nehmen. Desweiteren versucht die Regierung, einen festen Tarif für den Verkauf von Elektrizität aus Erneuerbaren an die staatlichen Energieversorger durchzusetzen. Das Gesamtpotential für Wind wird auf 20.000 MW geschätzt.

- Die Regierung von Rajasthan will eine "Solar Energy Enterprise Zone (SEEZ)" im Westen des Staates schaffen, da dort - mit 312 Sonnentagen im Jahr - die meteorologischen Bedingungen besonders günstig sind. Es sollen mehrere Projekte auf der Basis unterschiedlicher Solartechnologien verwirklicht werden, erste Absichtserklärungen mit in- und ausländischen Firmen wurden bereits unterzeichnet. Bis 2010 soll eine Leistung von bis zu 10.000 MW in der SEEZ verwirklicht werden.
- Kleinwasserkraft hat in Indien ebenfalls ein beträchtliches Potential, das auf bis zu 20.000 MW geschätzt wird. Derzeit sind etwa 150 Anlagen mit ca. 100 MW Leistung installiert, weitere über 150 Anlagen mit etwa 200 MW Leistung sind im Bau bzw. in der Planung.
- Der indische Minister für nicht-konventionelle Energien hat ein ambitioniertes Projekt zur Elektrizitätserzeugung aus Agrar-Reststoffen gestartet. Man hofft, bis zu 15.000 MW Kraftwerksleistung installieren zu können, in denen die jährlich anfallenden etwa 300 Mio. Tonnen agrarischer Abfälle verwertet werden.

Eine Vielzahl von ausländischen Unternehmen ist - häufig in Kooperation mit indischen Firmen - bereits auf dem indischen Markt für Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger tätig:

- In Tamil Nadu hat die indische Firma Prakash Industries einen Windpark von 10 MW fertiggestellt. Die vierzig 250-kW-Turbinen stammen von der dänischen Firma Vestas. Der Park wird zur Zeit um zusätzliche 14 MW erweitert und soll in der Endphase insgesamt 40 MW umfassen.
- Für ein 11-MW-Projekt in Dhank hat die belgische Firma WindMaster den Zuschlag zur Lieferung von 300-kW-Windturbinen erhalten.
- ABAN Loyd Chiles Offshore Ltd. und Kenetech Windpower Inc. (USA) werden einen 200-MW-Windpark aus 600 Turbinen errichten, das Auftragsvolumen beträgt etwa 150 Mio. USD. Kenetech wird zudem eine 50-MW-Windfarm im Süden von Tamil Nadu aufbauen. Die Turbinen werden beim neu-

gegründeten Tochterunternehmen Kenetech India Private Ltd. montiert, zudem übernimmt die Firma Betrieb und Wartung der Windfarm.

- NEPC Micon Ltd. und Onmion Power Engineering Co. (USA) werden in Tamil Nadu ein netzgekoppeltes 100-kW-PV-Kraftwerk errichten.
- Ein Konsortium aus zwei amerikanischen Firmen (Enron Power Co. und Amoco) hat für Rajasthan ein Projekt für ein 150-MW-PV-Kraftwerk vorgelegt. Dieses soll in einer zweiten und dritten Ausbaustufe bis ins nächste Jahrtausend hinein auf insgesamt 2.400 MW erweitert werden. Die Firmen wollen von der Landesregierung Land mieten und den Strom an den regionalen Energieversorger verkaufen. Der Vorschlag umfaßt auch den Aufbau einer Solarzellenfertigung in Rajasthan.
- Tata Energy Reserach Institute und Lockheed Environmental Systems and Technologies entwickeln für Uttar Pradesh zwei 50-MW-Kraftwerke, die mit Bagasse gefeuert werden sollen.

Anfang 1995 haben die USA und Indien sechs Abkommen für die Entwicklung von Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energien abgeschlossen, darunter eine Vereinbarung zwischen dem National Renewable Energy Laboratory und dem indischen Solar Energy Centre zur Nutzung von erneuerbaren Energien im ländlichen Raum.

### *China*

Ähnlich wie in Indien konnte auch in China die Elektrizitätsversorgung mit dem wirtschaftlichen Wachstum des Landes nicht Schritt halten. Trotz massiven Zubaus von durchschnittlich 8% p.a. zwischen 1980 und 1994 liegt die Elektrizitätserzeugung weit hinter dem tatsächlichen Bedarf, die chinesische Regierung schätzt diese Lücke auf bis zu 20%. Darum verfolgt man ein ambitioniertes Programm zum Ausbau der Elektrizitätsversorgung in den nächsten Jahrzehnten. Zum einen wird damit der wirtschaftlichen Bedeutung einer verbesserten Stromversorgung Rechnung getragen, zum anderen sollen sich auch die Lebensbedingungen der Bevölkerung verbessern. Nur zwei Drittel der Haushalte verfügten Ende 1992 über eine netzgekoppelte Stromversorgung, auf dem Lande leben derzeit noch etwa 120 Millionen Einwohner ohne jegliche Elektrizitätsversorgung.

Schätzungen gehen davon aus, daß China bis 2000 etwa 100.000 bis 120.000 MW, bis 2010 etwa 300.000 bis 350.000 MW neue konventionelle Kraftwerkskapazität errichten wird. Neben fossilen und nuklearen Kraftwerken wird auch

die Großwasserkraft einen massiven Zubau (30.000 MW bis 2000, 100.000 MW bis 2010) erfahren. Derzeit sind etwa 150 Wasserkraft-Projekte im Bau, darunter auch der "Drei Schluchten"-Damm am Jangtze, der mit 18.000 MW einmal das größte Wasserkraftwerk der Welt beherbergen soll.

China ist reich an Ressourcen für Wasserkraft und Wind, aber auch für Sonnenenergie, Geothermie und Biomassenutzung. Allein das Potential für Windenergie in China wird auf über 250.000 MW geschätzt. Nach Angaben der chinesischen Regierung waren 1993 - neben etwa 45.000 MW (25% der gesamten Kraftwerksleistung) in großen Wasserkraftwerken - 77 MW an Erzeugungsleistung aus erneuerbaren Energieträgern installiert. Dazu zählen 30 MW Wind (17 MW in kleinen Turbinen zur Versorgung von Haushalten, 13 MW in 14 Windparks), 3,3 MW Photovoltaik, 10 Gezeitenkraftwerke mit etwa 6 MW Leistung, 30 MW Geothermie und 7 MW Biomasse. Die umfangreichen Potentiale sollen in Zukunft verstärkt entwickelt werden. Chinas "General Development Plan" sieht für Erneuerbare (außer Wasserkraft) im Jahr 2000 ca. 1.300 MW, für 2010 rund 3.800 MW und für 2020 fast 10.000 MW Kraftwerksleistung vor, der Hauptanteil (zwischen 80 und 85%) soll durch Windkraftwerke aufgebracht werden. Bis 2000 soll eine eigene Windturbinenfertigung aufgebaut sein, zudem will man 6 Millionen Haushalte auf dem Lande mit Photovoltaikstrom versorgen.

Wegen der begrenzten inländischen Fertigungskapazitäten und deren vergleichsweise niedriger technischer Leistungsfähigkeit sowie des Mangels an inländischem Kapital will China den Energiesektor verstärkt auch für ausländische Investitionen öffnen. Dies schließt sowohl Darlehen seitens ausländischer Regierungen und multinationaler Entwicklungsbanken vor allem für Wasserkraftprojekte als auch private Investitionen und build-operate-transfer (BOT)/build-operate-own (BOO)-Modelle für fossile Einheiten ein. Die damit verbundenen wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmensetzungen ermöglichen grundsätzlich auch privat finanzierte Projekte mit neuen Energietechniken; ob die konkrete Ausgestaltung der Rahmenbedingungen diesbezüglich attraktiv ist, kann derzeit nicht abschließend beantwortet werden.

#### *Weitere Staaten:*

- In Indonesien gibt es etwa 13.000 Inseln, davon sind über 6.000 bewohnt. Für die meisten davon ist der Anschluß an eine zentrale Elektrizitätsversorgung unwirtschaftlich. Dies ist eine nahezu ideale Situation für "stand-alone"-Systeme (solar home systems, SHS) oder "Ortsnetze" auf der Basis

Erneuerbarer oder für Hybridsysteme. Mit Hilfe staatlicher Gelder und Unterstützung durch NGO wurden bislang etwa 30.000 PV-Systeme installiert. Diese Zahl wird in Zukunft weiter wachsen. Initiiert durch die staatliche indonesische Agentur für angewandte Forschung und Technologie wurde ein 50-MWp-SHS-Programm gestartet, in dessen Rahmen 1 Million Haushalte auf Ratenbasis eine SHS-Anlage erwerben können. Die Installation von weiteren 150.000 bis 200.000 Anlagen ist im Rahmen eines von GEF und Weltbank finanzierten Programmes zu erwarten.

- Südafrika verfügt aufgrund der hohen mittleren Sonneneinstrahlung über gute Bedingungen für solare Energietechniken. Für Standorte mit einer Entfernung von mehr als 5 Kilometern zum Elektrizitätsversorgungsnetz gelten PV-Systeme heute als wirtschaftlich. Besonders entlang der ausgedehnten Küstenlinie existiert zudem beträchtliches Potential für Windenergie. Zwar ist Strom aus netzgekoppelten Windparks derzeit deutlich teurer als der in Südafrika dominierende Kohlestrom. Netzferne Kleinanwendungen, besonders Hybrid-Systeme, sind aber schon heute häufig eine wirtschaftliche Alternative zum Bau einer Netzanschlußleitung.
- In Brasilien leben derzeit mehr als 20 Mio. Menschen ohne Elektrizitätsversorgung. Zugleich verfügt das Land über gewaltige Ressourcen an Wasserkraft, die derzeit 95% des Stromaufkommens ausmacht, sowie für die Solar- und Windnutzung. Großes Potential wird auch in der Biomassenutzung, vor allem der Verbrennung von Reststoffen aus dem Anbau agrarischer Produkte, gesehen.

Der verstärkte Einsatz erneuerbarer Energiequellen hat auch Implikationen für die Devisenverfügbarkeit. Mit der zunehmenden Bedeutung der Entwicklungsländer als Anwender- und Abnehmerländer in diesem Marktsegment, ist dieser Aspekt nicht zu vernachlässigen. Schließlich wird bei den Ländern, die fossile Energieträger importieren, der Bedarf an solchen Brennstoffen durch die Nutzung inländischer erneuerbarer Energiequellen reduziert. Dadurch werden Devisen für andere Zwecke freigesetzt, wobei allerdings in vielen Ländern der Importbedarf von Industrieerzeugnissen zur Nutzung der erneuerbaren Energiequellen hoch ist. Die Länder, die selbst über fossile Energieträger verfügen, können auf demselben Weg ihren inländischen Bedarf reduzieren und die fossilen Energieträger dann in stärkerem Ausmaß zur Erzielung von Deviseneinkünften verwenden.

### 3.5 Energieversorgung in den Entwicklungsländern mit niedrigem Einkommen

Die Versorgung der meisten Bewohner in den wenig entwickelten Ländern (LDC, least developed countries) basiert zu wesentlichen Teilen auf sogenannten nichtkommerziellen Energieträgern (v.a. Biomasse, d.h. Holz, Dung). In Afrika südlich der Sahara beispielsweise liegt der Anteil der nichtkommerziellen Energieträger bei etwa 75% des gesamten Energieverbrauches. Dabei gibt es innerhalb der Bevölkerung vieler LDC deutliche Unterschiede, die Unterschiede zwischen Reichen und Armen sind in diesen Ländern in der Regel deutlich größer als in den Industrieländern. Während die Bevölkerung mit niedrigem und mittlerem Einkommen - meistens auf dem Land, aber auch in den Städten - hauptsächlich Brennholz und Holzkohle verwendet, setzen Haushalte mit höheren Einkommen in den Städten zu beträchtlichen Teilen bereits Elektrizität und Flüssiggas ein.

Die Elektrizitätsversorgung im ländlichen Raum der LDC ist häufig nur dezentral realisierbar, da die Netzausbaukosten für eine Ankopplung an ein zentrales Versorgungsnetz hoch sind, die Nachfrage - sowohl wegen der Lastcharakteristik als auch wegen der mangelnden Geldverfügbarkeit - jedoch auf absehbare Zeit gering bleibt, so daß für die Elektrizitätsversorger eine Amortisation der Investition in der Regel nicht gegeben ist. Die derzeit am häufigsten eingesetzte Lösung zur Elektrizitätsversorgung im ländlichen Raum stellen von Dieselaggregaten gespeiste isolierte Netze dar. Diesel ist jedoch teuer, zudem ist der Transport in abgelegene Siedlungen sehr aufwendig. Darum hat ein Großteil der Bevölkerung im ländlichen Raum heute keinerlei Zugang zu elektrischem Strom. Anstelle von Dieselaggregaten könnten Erneuerbare, vor allem PV, Wind und Kleinwasserkraft, die Versorgung solcher Ortsnetze übernehmen und sie - entsprechende Finanzierungsmodelle und ggf. finanzielle Unterstützung vorausgesetzt - als Alternative attraktiv machen. Dies gilt vor allem vor dem Hintergrund des Umstands, daß derartige Versorgungsnetze zwar höhere Anfangsinvestitionen nötig machen, während ihres Betriebes jedoch vergleichsweise geringe Kosten entstehen, da keine Brennstoffkosten anfallen. Zudem würden solche Dorfstromversorgungsnetze eine Zahl zusätzlicher Arbeitsplätze vor Ort - vor allem bei der Überwachung und Wartung der Anlagen - schaffen.

Für ländliche Haushalte könnten auch "solar home systems (SHS)", eine PV-gespeiste Stromversorgung von einzelnen Häusern, eine Alternative sein. Diese Systeme dienen in der Hauptsache der Beleuchtung des Hauses sowie dem Be-

trieb von Radio- und/oder Fernsehgeräten. Nach einer Studie der Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ GmbH; Arvidson 1995) würden derzeit zwischen 5 und 15% der Haushalte in den Entwicklungsländern ein SHS bezahlen und einsetzen können. Die Anteile differieren je nach Region, sie liegen für Lateinamerika am oberen Ende, für Afrika am unteren Ende der Spannbreite.

Weitere Anwendungen eröffnen sich in Bereichen außerhalb der Elektrizitätsversorgung, häufig verbunden mit der Entwicklung sogenannter "angepaßter Techniken". Ein Beispiel dafür: In vielen afrikanischen Ländern wird derzeit über offenem Feuer gekocht, was einerseits energetisch sehr ineffizient ist, andererseits muß viel Zeit für das Sammeln von Holz und anderen Brennstoffen - oder viel Geld für den Kauf von Brennstoffen auf dem Markt - aufgebracht werden. Als mögliche Alternative werden schon seit längerer Zeit Solarkocher diskutiert, allerdings ist die Umsetzung bislang nicht sehr erfolgreich.

### **3.6 Exkurs: Einflüsse internationaler Entwicklungspolitik auf die Entwicklung der Nachfrage in den Entwicklungsländern**

Bedingt durch den hohen und steigenden Anteil der Entwicklungs- und Schwellenländer am künftigen Energieverbrauch insgesamt und insbesondere durch ihren hohen Anteil am Zuwachs des Einsatzes erneuerbarer Energiequellen wird die Internationale Entwicklungspolitik - insbesondere die Einflüsse der Weltbank, UNDP, UNEP und der Global Environmental Facility (GEF) - zunehmend an Bedeutung für die globale Entwicklung dieser Märkte gewinnen. Hier sind seit Anfang der 90er Jahre einige neue Tendenzen erkennbar, die die Rolle der erneuerbaren Energiequellen auch von dieser Seite mehr als bisher unterstützen.

Im Rahmen der Aktivitäten der Weltbank in bezug auf Energiefragen spielen die erneuerbaren Energiequellen nach wie vor eine Nebenrolle. Von besonderer Bedeutung sind Maßnahmen zur Deckung des steigenden Energiebedarfs vor allem in den beiden am schnellsten wachsenden Bereichen Transport und Stromerzeugung. Die Weltbank favorisiert ein Tarifsystem, in dem die Energiepreise zumindest die betriebswirtschaftlichen Kosten widerspiegeln. Tendenziell wird damit der Subventionierung der Energiepreise entgegengewirkt (Weltbank 1992). Im Hinblick auf die Erneuerbaren ist dies ein erster Schritt, um sie der preislichen Wettbewerbsfähigkeit näher zu bringen. Gerade auch im Zusammenhang mit der Treibhausproblematik sieht die Weltbank die Notwendigkeit CO<sub>2</sub>-armer Energiekonzepte. Hoffnungen werden dabei auf die erneuerbaren Energieträger

gesetzt, insbesondere auf Solarenergie und Biomasse als "umweltpolitisch und wirtschaftlich wettbewerbsfähige Energiequellen" (Weltbank 1992). Technologische Fortschritte, erhebliche Kostensenkungen in jüngster Zeit, der notwendige Energiebedarf auch abgelegener Regionen sowie Umweltaspekte in Ballungsgebieten sind die Gründe, diese Energieträger aus ihrer bisherigen Randrolle herauszuführen.

Ein besonders großes Potential sieht die Weltbank bei der Solarenergie, da die Mehrzahl der Entwicklungs- und Schwellenländer in Regionen mit sehr hoher Sonneneinstrahlung liegt. Die Weiterentwicklung der Technik bringt nicht nur sinkende Kosten, sondern auch einen sinkenden Flächenbedarf der Module mit sich. Zudem liegen die günstigen Standorte meist in Trockengebieten, die nur dünn besiedelt sind. Damit hat die Solarenergie gegenüber der großen Wasserkraft den Vorteil, daß keine Umsiedlung von Menschen nötig ist, kein Acker- oder Forstland überflutet wird und die direkten ökologischen Nebeneffekt i.a. geringer sind. Die neu ins Leben gerufene Solarinitiative der Weltbank verfolgt das Ziel, den Einsatz von Solarenergie, aber auch anderer erneuerbarer Energien (hauptsächlich Wind, Biomasse, auch Geothermie; keine Großwasserkraftanlagen) in wirtschaftlich zu betreibenden Bereichen und solchen, die kurz vor der Wirtschaftlichkeit stehen, vorzubereiten und zu finanzieren, sowie ein internationales Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprogramm auf den Weg zu bringen. Insbesondere in der Methanproduktion aus Biomasse im industriellen Maßstab, im Betrieb großer Stromnetze durch Windparks und Solarthermie und im Einsatz von Photovoltaiksystemen für den ländlichen Energiebedarf (s.u.) sieht die Weltbank große Möglichkeiten (Weltbank 1995a).

Auffällig ist, daß kleine Wasserkraftanlagen eher nur am Rande eine Rolle spielen. Als Gründe können die Vorliebe der Investoren und Lieferanten für Großprojekte und auch eine umstrittene ökologische Verträglichkeit (Goodland 1994) genannt werden. Negative Umwelteinflüsse bei kleinen Wasserkraftanlagen können oft mit den notwendigen Überlandleitungen oder Zufahrtswegen zusammenhängen. Letztere können der Auslöser unkontrollierter Abholzungen entlang der Fahrstraßen sein. Auf diese Argumente stützen sich Aussagen, wonach die Summe der negativen Umwelteinflüsse vieler kleiner Wasserkraftwerke den Schäden einer entsprechenden Großanlage durchaus gleich sein könne. Am ehesten werden diese Probleme bei einem Einsatz zur lokalen Stromversorgung und bei Laufwasserkraft, die ohne Reservoirs auskommt, vermieden. In dem ebenfalls umweltverträglichen und auch kostengünstigen Einsatz der Wasserkraft zur Erzeugung mechanischer Energie wird allenfalls eine geringe Nischenanwendung gesehen.

In den letzten Jahren wurde damit begonnen, der Energieversorgung ländlicher Regionen mehr Aufmerksamkeit zu widmen. Thailand, Malaysia und Korea gelten als beispielhaft dafür, wie mit hohen Investitionen in diesem Bereich die ländliche Entwicklung stark positiv beeinflusst werden konnte (Weltbank 1995b). Oft ist eine Netzversorgung auf dem Land wegen geringer Leistungsdichte bei hohen Netzkosten ausgeschlossen. Wegen der Möglichkeit des netzunabhängigen Betriebs, den vergleichsweise geringen Vorlaufzeiten bei Planung und Installation und der Modularität der Systeme sind Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen geradezu prädestiniert für den Einsatz in diesem Bereich (Chapman/Ward 1996).

Die primären Einsatzzwecke von Energietechniken in ländlichen Regionen sind neben Kochen und Beleuchtung auch Kühlung (vor allem im medizinischen Bereich, insbesondere der Impfstoffkühlung im Rahmen der medizinischen Grundversorgung; hier bestehen hohe qualitative Anforderungen an die Systeme), Wasserpumpen und Telekommunikation bzw. Unterhaltungselektronik. Beim Kochen dominiert traditionell der Einsatz von nichtkommerzieller Biomasse, der allerdings wegen Problemen der Verfügbarkeit (Stichwort Brennholzkrise), der Konkurrenz zu anderen wichtigen Verwendungszwecken (z.B. Düngung) und der starken Rauchbelastung der Innenräume der Verbesserung bedarf. Neben effizienteren Biomasseöfen bieten Solarkocher eine zukünftige Substitutionsmöglichkeit in sonnenreichen Regionen. Auch Photovoltaik-Anwendungen sind für viele Einsatzzwecke bereits in der Diskussion und in Erprobung (Foley 1995). Aus den bisherigen Erfahrungen ist die erfolgreiche Anwendung und Diffusion allerdings wesentlich von Begleitmaßnahmen abhängig, die gewährleisten, daß v.a. auch die Balance-of-System-(BOS)-Komponenten, wie z.B. Batterien, Ladekontrolle, wetterfeste Kabel, Schalter, Sicherungen etc., tauglich sind, die Installation kompetent erfolgt (Vermeidung von Beschattung, Anbringen von Leitern bei Dachsystemen zur Reinigung etc.), die Nutzer geschult und Wartungstechniker ausgebildet werden, die Wartung auf professioneller Basis erfolgt sowie die Verfügbarkeit von Ersatzteilen gewährleistet ist.

Zur Weiterentwicklung der Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen in Schwellen- und Entwicklungsländern verspricht sich die Weltbank viel von der internationalen Zusammenarbeit in der Forschung auf diesem Gebiet. Insbesondere in Brasilien, China, Indien und Thailand sieht sie bereits vielversprechende Keimzellen für Forschungs- und Entwicklungsprogramme für konkrete Anwendungsfelder.

Seit 1991 besteht die Global Environmental Facility (GEF), durch die zusätzliche finanzielle Mittel auch für die Nutzung erneuerbarer Energiequellen

zur Verfügung gestellt werden. Prinzipiell werden Projekte in vier thematischen Schwerpunktbereichen gefördert. Dies sind Klimaschutz, Artenvielfalt, Schutz internationaler Gewässer sowie der Schutz der Ozonschicht (GEF 1995). Ihr institutioneller Hintergrund ist im Zusammenhang mit den Folgeaktivitäten der Konferenz von Rio (UNCED) 1992 zu sehen: In der Agenda 21 und den Konventionen zum Klima- und zum Artenschutz wird ihr, zumindest für eine Übergangszeit, die Rolle eines zusätzlichen Finanzierungsmechanismus zugesprochen. Die Mittel stammen aus Beiträgen der Industrieländer und sind dafür vorgesehen, die sogenannten "incremental costs" zu finanzieren. Darunter werden die zusätzlichen Kosten eines Projekts verstanden, das aus globalen Umweltschutzgründen realisiert wird, aber im Vergleich zu der herkömmlichen Alternative, die diese globalen negativen Aspekte nicht berücksichtigt, teurer oder kapitalintensiver ist. Implementiert werden die GEF-Aktivitäten gemeinsam durch UNDP, UNEP und die Weltbank (genauer die IBRD).

Projekte im Bereich erneuerbarer Energien fallen unter den Schwerpunkt "Klimaschutz", der insgesamt 40% der vergebenen Mittel (1993 rund 200 Mio. US-\$) ausmacht. Davon wurden im selben Jahr 88 Mio. US-\$ für erneuerbare Energiequellen verwendet (Terrado 1995). Einsatzregionen waren die Philippinen (Geothermie), Brasilien (Biogas), Cote d'Ivoire (Strom aus Ernteabfällen), Tunesien (solare Warmwasserbereitung), Mauritius (Energie aus Zucker) und Indien (Gesamtkonzept mit Kleinwasserkraft, Wind und PV). Der Einsatz von Photovoltaik zu Beleuchtungszwecken im Falle Indiens wird als Beispiel für den erfolgreichen Übergang einer vorkommerziellen Anwendung in die tatsächliche wirtschaftliche Implementierung mittels eines GEF-Kredits genannt. Von besonderer Bedeutung für die Projekte im Bereich erneuerbarer Energien dürfte die "Small Grants"-Fazilität der GEF sein, denn oft liegt die Größe solcher Projekte unter der kritischen Masse, die bei der üblichen Projektförderung (meist mit Beteiligung westlicher Hersteller) angesetzt wird.

## IV. Einschätzung des künftigen Exportpotentials der deutschen Hersteller

Methodisch kann die Schätzung des künftigen Exportpotentials auf zwei Wegen erfolgen:

- Man trifft anhand der Entwicklung in der Vergangenheit Annahmen über die Fortentwicklung des Trends der deutschen Exporte. Dies erscheint dann praktikabel, wenn man möglichst viele Produktgruppen zusammenfaßt und sich die Entwicklung der globalen Anwendungspotentiale in Zukunft nicht deutlich ändert.
- Man ermittelt den jeweiligen globalen Markt der einzelnen Techniken und schätzt (davon) den Anteil inländischer Produktion und den komplementären Welthandelsanteil, von dem ein gewisser Anteil für die deutschen Hersteller unterstellt wird.

Beide Methoden wurden angewandt, um sich dem Problem bei dieser Abschätzung von zwei Seiten zu nähern.

Der Export von Gütern zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen aus Deutschland hat sich in den letzten 17 Jahren preisbereinigt um ca. 18% pro Jahr gesteigert (siehe Kap. II.). Unterstellt man einen Rückgang dieses Wachstums auf durchschnittlich gut 10% pro Jahr, dann würden sich die Exporte der ausgewählten Techniken bis 2005 auf etwa 1 Mrd. DM erhöhen. Darin sind bestimmte Komponenten, die in der Statistik nicht separat ausgewiesen und nicht ausdrücklich der Nutzung erneuerbarer Energiequellen zugeordnet werden, wie z.B. Generatoren, andere elektrotechnische Komponenten sowie Wärmetauscher, noch nicht enthalten. Diese machen jedoch einen großen Anteil des deutschen Exports im Bereich der Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen aus. Schon heute belaufen sie sich auf mindestens 3,5 Mrd. DM, wie aus Angaben einzelner Hersteller zu schließen ist. Unterstellt man hier etwas niedrigere Wachstumsraten von 4%, weil die Lieferungen sich bereits auf sehr hohem Niveau bewegen und stark mit dem nicht ganz so dynamisch wachsenden Bereich der Großwasserkraftanlagen verknüpft sind, so werden die Exporte der Elektrotechnikteile und Wärmetauscher im Zusammenhang mit der Nutzung erneuerbarer Energiequellen im Jahr 2005 auf mindestens 5 Mrd. DM geschätzt. Insgesamt führt diese Berechnungsmethode zu einem Exportpotential von mindestens **6 Mrd. DM für 2005**, gemessen an heutigen Exporten in Höhe von

4 Mrd. DM. Dies entspricht einem **Anteil deutscher Exporte am mittleren weltweiten jährlichen Zuwachs** bei Techniken zur Nutzung von erneuerbaren Energieträgern (rund 165 Mrd. DM/a, vgl. Tab. 7) von fast **4%**.

Würde man dagegen das Exportwachstum der direkt in der Statistik erfaßten Komponenten bei durchschnittlich 15% annehmen, d.h. eine Verfünffachung der Exporte, so läge der Exportwert im Jahre 2005 bei ca. 1,6 Mrd. DM (in Preisen von 1991). Unterstellt man gleichzeitig ein Wachstum von 5% bei sonstigen (u.a. elektrotechnischen) Komponenten, ergibt sich ein Gesamtexportpotential von ca. **7,5 Mrd. DM** oder ein Anteil von ca. 5% am durchschnittlichen jährlichen Anlagenzubau.

Zu den genannten deutschen Exportvolumina sind außerdem neben den reinen Güterexporten auch der **Export von Ingenieur- und Finanzdienstleistungen**, u.a. im Bereich der Planung und Projektierung, aber auch bei Wartung und Betrieb hinzuzurechnen. Diese lassen sich nur sehr grob abschätzen. Eine Größenordnung von derzeit mehr als **100 Mio. DM** scheint jedoch durchaus plausibel. Der Export dieser Dienstleistungen dürfte mit Sicherheit mindestens so schnell wie die Güterexporte zunehmen (d.h. zwischen 5 und 7% jährlich), weil die Potentiale insbesondere in den Schwellenländern nur mit erhöhtem Dienstleistungsanteil der Industrieländer realisiert werden können.

In den folgenden Abschnitten werden die **Exportaussichten einzelner Techniken** näher beleuchtet. Hier fließen auch die Ergebnisse einer Kurzbefragung deutscher Unternehmen und Verbände mit ein, die das ISI und das TAB durchführten. Diese Schätzungen erfolgen nach der oben beschriebenen zweiten Methode.

## 1. Technikspezifische Betrachtungen

### 1.1 Wasserturbinen

Wasserkraftanlagen werden seit mehr als 100 Jahren zur Stromerzeugung eingesetzt. Die Technik ist weltweit verbreitet und gilt als weitgehend ausgereift. Im Jahr 1992 wurden global mehr als 2,2 Mrd. MWh Strom aus Wasserkraft erzeugt, dies entspricht einem Anteil an der gesamten Stromerzeugung in der Welt von 18,3 Prozent. Mehr als 654.000 MW Wasserkraftwerksleistung - etwa 23% des gesamten Kraftwerksparks - sind derzeit installiert, darunter 224.500 MW

in Europa, 168.500 MW in Nordamerika, 141.000 MW in Asien und 88.000 MW in Südamerika.

Gemessen am Nachfragewachstum nach großen und kleinen Wasserkraftanlagen sind die Exportaussichten in diesem Bereich günstig. Der Energieerzeugung in großen Wasserkraftanlagen wächst nach Einschätzungen des WEC bis 2010 von einem bereits hohem Niveau (465 Mtoe) um weitere 65%. Der Zuwachs bei kleinen Anlagen ist relativ gesehen noch bedeutender (90%). Unterscheidet man nach Industrie- und Schwellen- bzw. Entwicklungsländern, so wird deutlich, daß die Zunahme des Einsatzes von Wasserkraft in beiden Größenklassen zu weiten Teilen in den Schwellen- bzw. Entwicklungsländern realisiert wird, insbesondere in Lateinamerika und Ostasien. Dies ist bei kleinen Wasserkraftanlagen noch ausgeprägter: In Schwellen- bzw. Entwicklungsländer beträgt der Zuwachs 157%, in den Industrieländern 45%.

Die mit groben Durchschnittswerten überschlägig berechneten jährlichen Investitionsvolumina verdeutlichen die Schwergewichte der Investitionen für **große Wasserkraftwerke in Lateinamerika** mit etwa 45 Mrd. DM jährlich, d.h. gut einem Drittel des Weltmarktes. Ein weiteres Drittel entfiel auf den **südostasiatischen Raum einschließlich China** (vgl. Tab. 8). Die Angaben deutscher Hersteller zur regionalen Aufteilung ihres aktuellen und künftigen Umsatzes stimmen weitgehend mit der Marktentwicklung aus dieser globalen Sicht überein. Allerdings wird das Gewicht der asiatischen Märkte aus ihrer Perspektive als eher noch größer eingeschätzt. Die meisten Angaben lagen hier zwischen 40% und 60%.

Auch für das Exportpotential deutscher Hersteller im Bereich **kleiner Wasserkraftanlagen** scheint insbesondere die Entwicklung der Wasserkraftnutzung in Ostasien und China von Bedeutung. Längerfristig werden diese Länder jedoch zunehmend in der Lage sein, kleine Wasserkraftwerke in eigener Regie zu bauen. Die **Exportchancen** sind daher eher **auf die mittlere Frist begrenzt**, die geschätzten jährlichen Volumina dürften in 10 bis 15 Jahren zunehmend jeweils Herstellern in den Anwenderländern zufallen.

Differenziert man allerdings weiter nach dem technischen "Know-how", das für die Herstellung der verschiedenen Anlagenteile notwendig ist, so werden die Eigenleistungen der Entwicklungsländer und auch der Schwellenländer insbesondere bei Produkten wie Reglern, Meßinstrumenten, Schaltern, Schützen, Turbinenlaufrädern, Getrieben, Kupplungen, Ventilen und Schiebern weiterhin Raum für den **Absatz von Gütern aus OECD-Ländern** lassen.

Auch für extreme Einsatzbereiche wie große Fallhöhen und geringe Wassermengen, oder geringe Fallhöhen und große Wassermengen sind Turbinen und

Regler aus Industrieländern gefragt (DIW/ISI 1991). Die Entwicklung im einzelnen dürfte aber auch von den Produktionspolitiken der großen Hersteller als "global player" abhängen.

Tab. 8: Zuwachspotential 1990-2010 und durchschnittliches jährliches Anlageninvestitionsvolumen für große und kleine Wasserkraftwerke (kleiner als 10 MW<sub>e1</sub>) nach Weltregionen

| Region                      | große Wasserkraft                               |   | kleine Wasserkraft             |                               |
|-----------------------------|---|---|--------------------------------|-------------------------------|
|                             | Zuwachspotential 1990-2010 (TWh <sup>1)</sup> ) | Anlagen-Investitionsvolumen <sup>2)</sup> Mrd. DM/a | Zuwachspotential 1990-2020 TWh | Investitionsvolumen Mrd. DM/a |
| Nordamerika                 | 310   | 10,4  | 23,5                           | 1,1                           |
| Lateinamerika               | 1360  | 45,6  | 23,5                           | 1,1                           |
| Westeuropa                  | 390   | 13,0  | 35,0                           | 1,6                           |
| GUS/Osteuropa               | 40  | 1,3   | 12,0                           | 0,6                           |
| Mittl. Osten/<br>Nordafrika | 80  | 2,7   | 0                              | 0                             |
| Sub-Sahara-<br>Afrika       | 140   | 4,7   | k.A.                           | k.A.                          |
| Pazifik/China               | 900   | 30,2  | 80                             | 3,7                           |
| Zentral- u. Süd-<br>asien   | 340   | 11,4  | 12                             | 0,6                           |
| <b>Summe<br/>(gerundet)</b> | <b>3560</b>                                     | <b>120</b>  | <b>186</b>                     | <b>9</b>                      |

<sup>1)</sup> gemäß Angaben des WEC 1994

<sup>2)</sup> mit vereinfachenden Durchschnittswerten für Jahresnutzungsstunden und spezifische Investitionskosten geschätzt

In den Zahlen für die Investitionsvolumina in **Nordamerika und Westeuropa** sind zu einem erheblichen Anteil Reinvestitionen mit einem Ausbau der vorhandenen Leistung enthalten. Bei den kleinen Wasserkraftanlagen sind diese so bedeutend, daß sich daraus ein zweiter Marktschwerpunkt in Westeuropa ergibt. Dies deckt sich mit der Aussage der Hersteller von Kleinwasserkraftanlagen, wonach Westeuropa den höchsten bzw. zweithöchsten Anteil an ihrem Umsatz

hat. Über die Bedeutung des nordamerikanischen Marktes als Exportziel treffen die Hersteller dagegen keine einheitliche Aussage.

Bezüglich der Entwicklung ihres gesamten Exportvolumens rechnen die Hersteller trotz eines starken Preiskampfes und -verfalls bei gleichzeitig hohen Produktionskosten in Deutschland und einer starken DM damit, daß ein gewisser - wenn auch unterproportionaler - Teil des globalen Nachfragewachstums in Deutschland nachfragewirksam wird und sind überwiegend optimistisch. Dem starken Preisdruck wird zunehmend durch **Joint Ventures** oder Gründung von **Auslandsniederlassungen** in Niedriglohnländern bzw. den Abnehmerländern begegnet. Als Partner wurden hier insbesondere China, Indien, Brasilien, aber auch die GUS-Staaten genannt. Diese teilweisen Produktionsverlagerungen betreffen auch Komponenten von Großwasserkraftanlagen. Insbesondere was "Grobarbeiten" anbelangt, sind beispielsweise die gießereitechnischen Gegebenheiten in diesen Ländern mittlerweile dafür ausreichend. Dabei findet ein **beträchtlicher "Know-how"-Transfer** in diese Länder statt, der die zunehmend eigenständige Produktion in diesen Ländern, wie oben bereits erwähnt, mittel- bis langfristig durchaus plausibel erscheinen läßt.

Nachdem Wasserkraftanlagen seit langem zur etablierten Technik zählen, verliert der Binnenmarkt hier seine Bedeutung als Demonstrationsmarkt. Aus Sicht der Hersteller besteht kaum mehr ein Zusammenhang zwischen dem deutschen und ihren Auslandsmärkten. Der vor allem bei Großwasserkraftanlagen eher kleine deutsche Markt ist deshalb kein Exporthindernis. Dies spiegelt sich auch in dem dominierenden Anteil des Exportgeschäfts am Gesamtumsatz wieder, der bei den meisten Herstellern zwischen 80% und 95% liegt.

Die dominierende Bedeutung der Schwellen- und Entwicklungsländer unter den aktuellen und künftigen Absatzmärkten bringt das **Problem der Finanzierung** mit sich. Die Absatzmöglichkeiten in diesen Ländern sind aufgrund ihrer in der Regel schlechten Zahlungsfähigkeit stark gekoppelt an Projekte, die von Internationalen Entwicklungsinstitutionen wie der Weltbank, UNDP oder UNEP bzw. regionalen Entwicklungsinstitutionen wie der Asian Development Bank durch Vergabe von Zuschüssen und "soft loans" unterstützt werden.

Auch die bilaterale Entwicklungspolitik, hier insbesondere die Aktivitäten der GTZ und der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), hat direkten Einfluß auf diese Märkte. Für die Hersteller kleiner Wasserkraftanlagen sind diese Förderwege allerdings aufgrund der niedrigen Finanzvolumina ihrer Exportprojekte und den damit verbundenen, unverhältnismäßig hohen Abwicklungskosten kaum zugänglich. Aber auch die Hersteller größerer Anlagen stellen teilweise einen Rückgang der Unterstützung durch die KfW fest. Dies ist sicher unter anderem

mit dem OECD-weiten "Übereinkommen über Leitlinien für öffentlich unterstützte Exportkredite" (sog. OECD-Konsensus) zu erklären, unter das auch die Exportförderung für große Wasserkraftanlagen durch die KfW fällt. Zudem sind in den letzten Jahren Beteiligungen nationaler und internationaler Entwicklungsbanken an der Finanzierung von Großwasserkraftprojekten aufgrund von negativ ausgefallenen Umweltverträglichkeitsprüfungen nicht zustande gekommen. Die Akzeptanz und die Durchsetzbarkeit von großen Wasserkraftanlagen haben nach einigen sehr heftig kritisierten Projekten in diesem Bereich stark abgenommen.

Von multilateraler Seite gibt es Anzeichen, daß die Unterstützung hier wieder zunehmen könnte. Durch die sich ändernde Rolle der Weltbank, die zunehmend nicht mehr selbst als Finanzier, sondern vielmehr als Garant auftritt, wird eine Erhöhung der Kapitalverfügbarkeit durch Einbeziehung privater Finanziers angestrebt. Außerdem wird durch ein verändertes Vorgehen bei der Planung von Wasserkraftanlagen, durch verstärktes Berücksichtigen von ökologischen Kriterien bei der Projektierung und eine **frühzeitiges Einbeziehen wichtiger lokaler Entscheidungsträger, z.T. auch von Nicht-Regierungsorganisationen**, versucht, die Akzeptanz und Durchsetzbarkeit von Wasserkraftanlagen wieder zu erhöhen und den durch die Entwicklungsbanken gesetzten Anforderungen gerecht zu werden. Insgesamt dürfte die gegenwärtige Finanzierungspraxis zwar dämpfend auf die Entwicklung bei den großen Wasserkraftanlagen wirken, mit einem beträchtlichen Zubau an Kapazitäten vor allem im Lateinamerika und im asiatischen Raum wird aber dennoch zu rechnen sein.

## 1.2 Windkraftanlagen

### Marktüberblick

Die Entwicklung der Windenergienutzung vollzieht sich derzeit außerordentlich dynamisch. Mehr als alle anderen Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger hat sie in den letzten Jahren von der Umwelt- und Klimadiskussion, von Förderprogrammen und verbesserten Einspeisevergütungen profitiert. Größere Anlagen, bessere Windausbeute und sinkende spezifische Preise haben zu einer steigender Wirtschaftlichkeit geführt. Dabei ist die technische Entwicklung von effektiveren, leistungsfähigeren und vor allem kostengünstigeren Anlagen noch nicht abgeschlossen.

Weltweit waren 1995 mehr als 5.300 MW Windkraftleistung installiert, davon etwa 1.800 MW in den USA, 1.100 MW in der Bundesrepublik Deutschland und 600 MW in Dänemark. Die installierte Leistung wuchs 1995 gegenüber dem Vorjahr um mehr als 25 Prozent, die umfangreichsten Neubauten wurden in der Bundesrepublik Deutschland (505 MW) und in Indien (ca. 500 MW) realisiert.

Die **Bundesrepublik Deutschland** ist derzeit der **größte Markt für Windenergie in Europa**. Gegenwärtig sind rund 3.650 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 1.140 Megawatt installiert, der Großteil davon bei Betreibern außerhalb der EVU. Allein im Jahr 1995 wurden 1070 Windkraftanlagen mit einer Leistung von rund 505 MW neu errichtet (Rehfeldt 1996), was einer Steigerung um mehr als 60% (1994: ca. 310 MW) gegenüber dem Vorjahr entspricht. Diese Entwicklung ist vor allem ein Ergebnis der Förderung von Windenergie durch das Stromeinspeisegesetz und andere Maßnahmen sowie der durch höhere Stückzahlen in der Fertigung und größere Generatorleistungen reduzierten Anlagenkosten. So ist der Preis pro Kilowatt bei modernen Anlagen in sechs Jahren von 6.000 bis 10.000 DM auf rund 1.500 DM gesunken. Der Trend hin zu noch größeren Anlagen wird auch 1996 anhalten.

Die rasante Entwicklung der Windkraft seit Anfang der 90er Jahre hat bisher rund 5.000 Arbeitsplätze in Deutschland geschaffen. Davon entstanden rund 1.400 direkte Arbeitsplätze in der Produktion von Windkraftanlagen (allein 1995 stieg die direkte Beschäftigungszahl um 40%), der Rest bei der Zulieferindustrie, in Planungsbüros oder im technischen Wartungsdienst (Allnoch 1996). Der Branchenumsatz betrug 1995 etwa 1,2 Mrd. DM. Während der Personalbedarf in Produktion und Verwaltung in nächster Zeit eher stagnieren wird, dürften neue Arbeitsplätze vor allem beim Service der schon in Betrieb befindlichen Anlagen entstehen.

Sowohl die Forschungsgruppe Windenergie der Universität Münster (Allnoch 1995) als auch die Deutsche Gesellschaft für Windenergie (DGW) (Wettwer 1996) rechnen für 1996 mit einer Marktberuhigung im Inland. Dafür sei zum einen das Auslaufen des 250 MW-Wind-Programms verantwortlich. Neben dem Unsicherheitsfaktor **Stromeinspeisungsgesetz** sowie auch der **Baurechtsproblematik** (Gesetzesentwürfe zur Privilegierung von Windkraftanlagen-Vorhaben im Rahmen des § 35 BauGB sowie räumliche Steuerungsoption für Gemeinden; vgl. Allnoch 1995) stehen zudem Fragen der **Netzeinbindung** und der Einflußfaktor **Akzeptanz** im Raum (insbesondere **auf lange Sicht**). Ein Ausblick des Deutschen Windenergie-Institutes (DEWI) auf 1996 betont (Rehfeldt 1996), daß die Entwicklung der Windenergienutzung in Deutschland in Zukunft

insbesondere von der Entwicklung im Binnenland beeinflusst werden dürfte. Die Sicherheit der Arbeitsplätze und die Zukunft der Branche, die in Deutschland im vergangenen Jahr etwa 1,2 Mrd. DM umsetzte, wird außerdem in nächster Zeit stärker von der Entwicklung auf den Exportmärkten abhängen.

### **Windenergienutzung in Deutschland - auch Demonstrationsmarkt der Exporteure**

In der Bundesrepublik Deutschland begann der kommerzielle Einsatz der Windenergie nach einer Analyse des DEWI (Rehfeldt 1995) zwar schon Anfang der 80er Jahre, aber erst nach den Ereignissen des Jahres 1986 ergaben sich steigende Installationszahlen. Nach dem Scheitern der - mit Beteiligung großer Unternehmen verfolgten - Großanlagenprojekte bemühten sich vor allem mittelständische Unternehmen um den Markt; ihnen ist es auch zu verdanken, daß die "strategische Lücke zu den Großanlagen" (Allnoch 1995) geschlossen werden konnte. Der Breitentest 100/250-MW-Wind seit dem Jahre 1989 durch das BMFT mit wissenschaftlichem Meß- und Evaluierungsprogramm, Förderung der MW-Klasse, Förderprogramme der Länder und das Stromeinspeisungsgesetz vom Januar 1991 bewirkten in den letzten Jahren einen sprunghaften Anstieg der Windenergienutzung in Deutschland mit ständig größeren Anlagen. Ergebnis dieser günstigen politischen Rahmenbedingungen in Deutschland war neben verbesserter Anlagentechnik auch eine aufgrund der hohen Stückzahlen bei einigen Herstellern realisierte Serienfertigung, wodurch eine Reduktion der spezifischen Anlagenkosten ab Werk auf bis zu 1700 DM/kW (plus Nebenkosten; durchschnittlicher Anteil der Investitionsnebenkosten nach einer DEWI-Umfrage: 27%; Rehfeldt/Schwenk 1996) möglich wurde. Dies führte zu reduzierten Stromerzeugungskosten, die heute zwischen 0,20 DM/kWh für windschwächere und 0,12 DM/kWh für windstarke Standorte liegen dürften (Hoppe-Kilpper 1996; Molly 1996), weshalb Windenergie an günstigen Standorten heute bereits ohne Unterstützung wirtschaftlich wettbewerbsfähig wäre. Zudem gab es eine Ausweitung der "windkraftgeeigneten" Standorte. Zwar sind die Küstenländer Schleswig-Holstein und Niedersachsen weiterhin die Spitzenreiter in der Statistik zur regionalen Verteilung, doch auch im Binnenland haben einige Bundesländer und erste Betreibergesellschaften Anstrengungen unternommen, die Nutzung der Windenergie zu kommerzialisieren.

Die serielle Fertigung von 1,5 MW-Anlagen (wahrscheinlich im Jahr 1997) wird nach Auffassung einiger Forschungsgruppen zum endgültigen kommer-

ziellen Durchbruch der Windkraft führen (so z.B. Allnoch 1995). Desweiteren gilt es als möglich, daß "offshore"-Windenergiesysteme, also im Meer errichtete Anlagen, als eine attraktive Alternative zur Landaufstellung hinzukommen (vgl. Matthies/Nath 1995). Die Marktchancen für solche Systeme in Deutschland werden zwar dadurch eingeschränkt, daß ein Teil der für eine Windkraftnutzung geeigneten küstennahen Standorte innerhalb von Schutzgebieten liegt oder durch die Seeschifffahrt genutzt wird. Trotz dieser Beschränkungen ließe sich - je nach angenommener maximaler Entfernung von der Küste und Wassertiefe - ein Potential zwischen 30 und 200 TWh/a erschließen (Matthies et al. 1995). Allerdings fehlen in Deutschland bisher gesetzliche Vorschriften, die den Bau von Windrädern auf hoher See regeln. Auch ist ungeklärt, ob die Einspeisevergütung nach dem Stromeinspeisegesetz auch bei Strom aus Offshore-Anlagen gezahlt werden muß.

Stärkste Anbieter auf dem Inlandsmarkt sind derzeit die Unternehmen Enercon und Tacke, die zusammen knapp die Hälfte der 1995 installierten Anlagen gefertigt haben. Ebenfalls stark vertreten - mit einem Marktanteil von jeweils über 10% - sind die deutschen Töchter der dänischen Unternehmen Micon und Vestas. Die schon 1994 zu beobachtende Verschärfung des Herstellerwettbewerbs, die Konzentration eines Großteils der installierten Leistung auf nur wenige Anbieter (darunter auch Tochterunternehmen dänischer Hersteller, die als deutsche Unternehmen gelten) und das bezogen auf den Gesamtmarkt schnellere Wachstum der führenden Unternehmen setzten sich 1995 fort. Aus diesem Grunde und weil der technische Kompetenzwettbewerb durch den Trend hin zu Anlagen im Leistungsbereich zwischen 1 und 1,5 MW weitere Auswirkungen mit sich bringen dürfte, ist innerhalb der derzeit durch mittelständische Unternehmen geprägten Branche mittelfristig mit Unternehmenskooperationen und -konzentrationen bzw. einzelnen Geschäftsaufgaben zu rechnen. Ob die Übernahme der Nordex Energieanlagen GmbH durch die BDAG Balcke-Dürr AG im April d. J. ein zukünftig zunehmendes Interesse von industriellen Großunternehmen am Windenergiegeschäft signalisiert oder nur ein singuläres Ereignis war, muß hier offen bleiben.

### **Deutsche Windkraftanlagen im Export**

In Deutschland war der Exportanteil bis 1993 marginal (rund 1%). Darin spiegelt sich wider, daß bis Anfang der neunziger Jahre die mittelständisch geprägte Windkraftanlagen-Industrie noch nicht fest im Binnenmarkt etabliert war. Da-

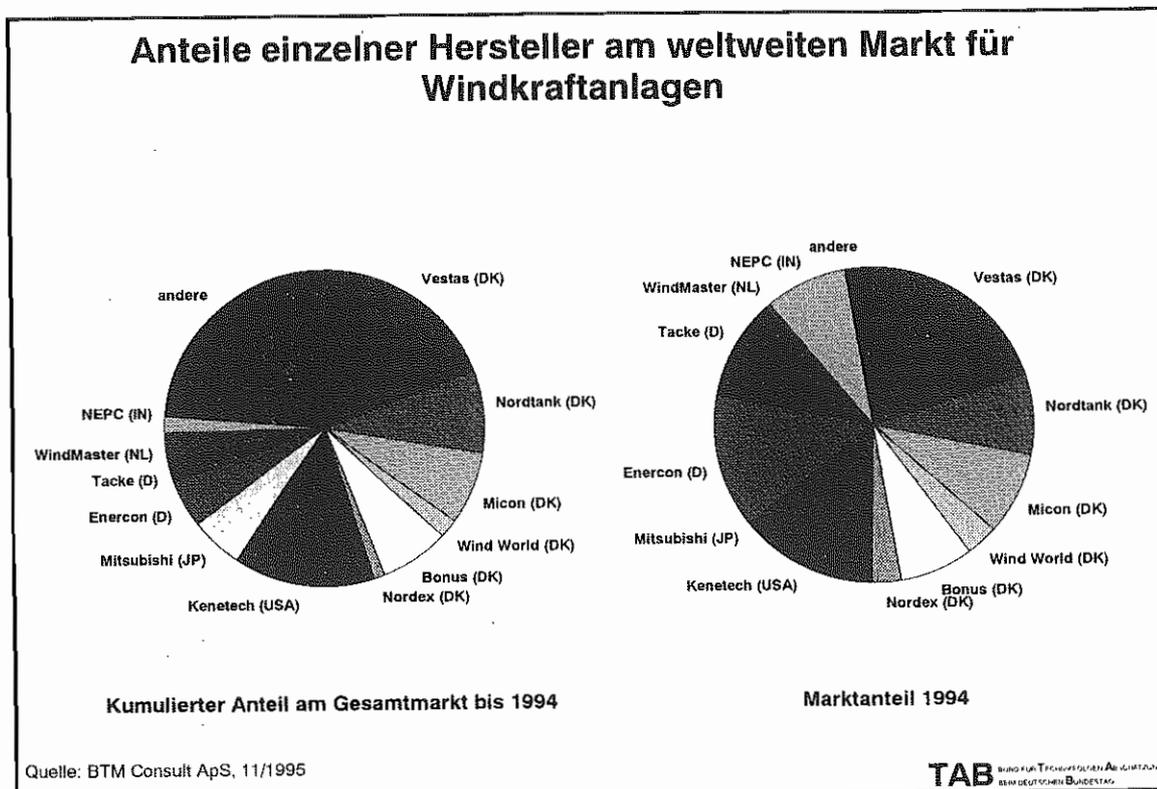
nach war der Binnenmarkt so groß und hatte solche Zuwachsraten, daß die Industrie Schwierigkeiten hatte, die inländische Nachfrage zu befriedigen. Zudem war der Exportmarkt weitgehend in der Hand starker dänischer Wettbewerber, die vor allem aufgrund ihrer inländischen Marktsituation über entsprechende Referenzprojekte und wesentlich längere Erfahrungen verfügten und zu niedrigeren Preisen anbieten konnten. Desweiteren erhielten sie durch industriepolitische Maßnahmen der dänischen Regierung staatliche Unterstützung auf Auslandsmärkten und besaßen aufgrund ihrer längeren Marktpräsenz die besseren Verbindungen.

Seitdem konnten deutsche Hersteller im Exportgeschäft deutlich zulegen; sie dominieren inzwischen zusammen mit dänischen Unternehmen die Märkte. Von den 1994 weltweit neu aufgebauten Anlagen stammen etwa die Hälfte von dänischen und rund ein Viertel von deutschen Firmen. Diese Aussage ist allerdings durch den starken deutschen Inlandsmarkt verzerrt: Während dänische Hersteller zwischen 70 und 80% ihrer Fertigung exportieren, beträgt der Exportanteil deutscher Anbieter nicht einmal 10%. Nach Angaben des DEWI wurden 1995 134 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 36 MW, davon allein nach Indien 104 Anlagen bzw. 25 MW, ausgeführt (Rehfeldt 1996). Den Löwenanteil des Exports bestreiten die auch national dominierenden Anbieter. AN-Maschinenbau und dessen Kooperationspartner, das dänische Unternehmen Bonus, haben in China bereits sieben Anlagen installiert. Auch Vestas interessiert sich für den Anlagenexport. In Abstimmung mit der dänischen Muttergesellschaft bearbeitet Vestas Deutschland die Märkte in den Ländern Mittel- und Osteuropas mit schlechter Versorgungsstruktur. Mehrere Hersteller haben erst 1995 mit eigenen Exportaktivitäten begonnen.

Es sei darauf hingewiesen, daß für die deutschen Hersteller von Windenergiekonvertern die export- und industriepolitischen Hilfestellungen gegenwärtig weniger günstig erscheinen als beim Hauptwettbewerber, den dänischen Unternehmen. Zur Zeit gibt es nur auf Landesebene Aktivitäten, die darauf abzielen, die Exportförderung auch außerhalb des Rahmens der Entwicklungshilfe zu verbessern. Nachdem der technologische Anschluß der deutschen Hersteller an die Weltspitze auch bei großen Anlagen gelungen ist, haben einige deutsche Hersteller in Zukunft mehr als bisher gute Chancen, auch bei supranationalen Programmen (z.B. bei Förderprogrammen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion der Global Environmental Facility) zum Zuge zu kommen. Dabei sollte auch das - von anderen Staaten bereits genutzte Instrument der Kofinanzierung solcher Projekte aus Mitteln der bilateren Entwicklungshilfe - nicht außer acht gelassen werden.

Neben dem Export kompletter Anlagen führen die Exportinteressen deutscher Firmen schon heute zu Kooperationen, zu Joint Ventures und zu Verlagerungen von Fertigungen ins Ausland. Deutsche Unternehmen lassen bereits heute **Anlagenteile** auf der Basis technischer Kooperationen von Partnerunternehmen **in den jeweiligen Ländern fertigen**. Beispielsweise hat Enercon bereits in Indien Produktionsstätten aufgebaut, die Firma Tacke läßt in Kanada Rotorblätter nicht nur für den amerikanischen, sondern auch für den europäischen Markt fertigen (Gipe 1996). Neben geringeren Produktionskosten und dem Vermeiden von Einfuhrzöllen wird damit "Know-how" im Importland verfügbar gemacht, werden Stillstandszeiten verringert und insgesamt die Wirtschaftlichkeit verbessert. Hier wäre eine Qualitätsüberwachung (z.B. durch die Auslandsorganisation des Germanischen Lloyd) wünschenswert. Auch eine vollständige Produktion in ausgewählten Ländern, z.B. in Indien, China oder Südamerika wäre denkbar. Die Aus- und Weiterbildung (Rahmenprogramme) für technisches Personal in diesen Ländern erfordert Anstrengungen sowohl der Hersteller als auch der (deutschen) Komponentenlieferanten ("Know-how"-Transfer; Richter 1995).

Abb. 2: Marktanteile von Herstellern von Windkraftanlagen



Nach deren Angaben wäre insbesondere ein verstärktes Engagement des Bundes bei Ausfuhrbürgschaften hilfreich. Auch Hersteller von Kleinanlagen, z.B. Inselanlagen zur dezentralen Dorfstromversorgung, sind bereits auf dem Exportmarkt aktiv. Dort werden die Probleme bei der Vermarktung im Bereich der Präsentation und Demonstration vor Ort gesehen. Die dafür entstehenden Kosten sind sehr hoch und können von Kleinunternehmen nicht allein vorfinanziert werden.

Zwar ist den deutschen Herstellern in den Jahren 1994 und 1995 eine Ausweitung der Exportaktivitäten gelungen. Dennoch sind nach Auffassung der Autoren einer Studie der Fördergesellschaft Windenergie (FGW 1995) wie auch nach Meinung des DEWI (Molly 1996) für eine weitere mittelfristig tragfähige Steigerung der Exporte Maßnahmen der staatlichen Exportunterstützung notwendig. Wesentliche Feststellung ist, daß es nicht ausreichend sei, einzelne Pilotprojekte ohne Begleitmaßnahmen durchzuführen. Vielmehr müssen durchgängige, länderspezifische Strategien entwickelt werden, mit denen ein Markt für die Industrie vorbereitet werden kann. Neben Aktivitäten zur direkten Wirtschaftsförderung (z.B. Akquisitionshilfe durch Konsulate und Handelskammern, Messeförderung) sind vor allem auch gezielte Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen nötig. In der Regel ist eine (teilweise) Anpassung von auf dem Inlandsmarkt erfolgreichen Anlagen an die Bedingungen auf Exportmärkten erforderlich. Die Gewährleistung der Tauglichkeit von Anlagen an bestimmten Standorten in Zielländern setzt häufig eine gezielte technische Konzeption voraus. Vor allem sind robuste Anlagen nötig. Wesentlich sind zudem Konstruktionsrichtlinien und Zertifizierung des Gesamtsystems Windkraftanlage sowie der Aufbau einer leistungsfähigen Infrastruktur für Vertrieb/Service/Ersatzteillieferung. Von Bedeutung wären zudem länderspezifische Studien, in denen Fragen wie energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen inkl. Windbedingungen, die Netzverhältnisse, die Vergütung, ggf. Einordnung in den Kraftwerksverbund, Bedarf an "stand-alone"-Systemen, Bedarf an Infrastruktur (spezielle Anlagen oder Türme, Transport- und Montagemöglichkeiten (transportable Container), Aufbau der Anlagen (mit und ohne Kranhilfe) sowie Versicherungen gegen Betriebsunterbrechungen und Schäden untersucht werden.

Die Zahl der deutschen Hersteller, die den zunehmenden Anforderungen an FuE oder Weltmarktanpassung gerecht werden könnten, läßt sich zur Zeit schwer abschätzen. Die beiden umsatzstärksten deutschen Hersteller haben ihren Sitz in Niedersachsen und haben davon profitiert, daß die Windenergie trotz zunehmender Probleme (Genehmigung, Akzeptanz) durch die Landesregierung aus energie-, industrie-, technologie- und umweltpolitischer Sicht unterstützt wird

(Kottkamp 1995). Auch in Schleswig-Holstein erfahren die im Land ansässigen Windkonverter-Hersteller Unterstützung durch die Landesregierung. Bemerkenswert ist hier die vor allem die Kooperation von Landesregierung und Herstellern bei Exportaktivitäten. So existiert eine Richtlinie zur Förderung von Markterschließungsmaßnahmen für mittelständische Unternehmen, die auch die Förderung von außenwirtschaftlichen Kooperationen zum Aufbau gemeinsamer Aktivitäten im Ausland sowie von Beratungs- und Qualifizierungsdienstleistungen (Rave 1995) einschließt. Weiterhin finden Abstimmungen mit der Investitionsbank des Landes und mit im Land ansässigen, herstellenden Firmen statt. Zudem wurde eine Exportarbeitsgemeinschaft "German Renewable Energy Enterprises (GREE)" ins Leben gerufen, deren Geschäftsführung die Windenergiegruppe WING der Investitionsbank Schleswig-Holstein wahrnimmt (vgl. Klinger 1995).

### Entwicklung auf den Auslandsmärkten

Bei einer Marktprognose für die zukünftige Windenergienutzung sind mehrere Aspekte von Bedeutung. Neben regionalen und örtlichen klimatischen Faktoren - wie dem jeweiligen Windenergieangebot in seinen tages- oder jahreszeitlichen Merkmalen - sind eine Reihe von Ausschlußkriterien, beispielsweise zu geringe Netzkapazität, Sandsturmgefahr und andere Standortnachteile wie große und kostengünstige Wasserkraftnutzung, zu beachten (vgl. DIW/ISI 1991). Auf den meisten Märkten entscheidend für das Ausmaß der Windkrafteinsatzes und die kommerzielle Nutzung der Windenergie sind aber vor allem institutionelle, politische und finanzielle Faktoren. Diese erhebliche Abhängigkeit von "politikdominierten" Aspekten macht eine Marktprognose besonders problematisch. Generell ist aber festzuhalten, daß es weltweit für die Stromerzeugung mit Windenergie ein enormes Entwicklungspotential gibt.

Im Status-quo-Szenario des WEC wird für die globale Windenergienutzung bis 2010 ein enormer Zuwachs von rund 1 Million Tonnen Rohöleinheiten (Mtoe) in 1990 auf 28 Mtoe angenommen (vgl. Tab. 8). Die größten Wachstumsmärkte werden vor allem in Nordamerika, Westeuropa und Südostasien/China gesehen. In den nächsten Jahren dürfte deshalb der **Markt für Windkraftanlagen weltweit etwa 5 bis 7 Mrd. DM/Jahr (bzw. 4.000 MW/a)** betragen. Diese Einschätzung wird bestätigt durch eine Studie von Arthur D. Little für die "American Wind Energy Association" (Jayadev 1995), die bis zum Jahr 2000 einen Markt in Höhe von 2 bis 3 Mrd. US-Dollar erwartet. Da die Studie auf zehn aus Sicht

der AWEA aussichtsreiche Länder beschränkt ist, kann dieser Wert sicher noch nach oben korrigiert werden.

Dabei sind mehrere Teilmärkte zu betrachten. Kleinsysteme sind seit geraumer Zeit für die Versorgung netzferner Verbraucher erfolgreich und werden auch in Zukunft eine wenngleich eher untergeordnete Rolle spielen. Wesentliche Zuwächse werden bei den Windparks erwartet. Hier sind zum einen kleine Parks mit mittelgroßen Anlagen zur Versorgung von regionalen Netzen in abgelegenen Gegenden in der Diskussion. Daneben werden größere netzgekoppelte Windparks mit Anlagen hoher Leistung in einigen Ländern realisiert werden.

In den Industrieländern werden nur netzgekoppelte Parks realisiert werden. Die quantitativen Aussagen für die zukünftigen Entwicklungserwartungen variieren in den uns bekannten Studien breit. Qualitativ ist festzuhalten:

- In der EU steht die Windenergienutzung in vielen Staaten erst am Anfang. In einigen Ländern sind in jüngster Zeit verbesserte Rahmenbedingungen wie Förderung und Einspeisevergütungen geschaffen worden (z.B. Großbritannien), auch in Spanien und Portugal sowie mit Abstrichen in Frankreich erscheinen die Verhältnisse derzeit günstig. Die in einer Potentialstudie der Europäischen Windenergievereinigung (EWEA) angenommene Windenergiekapazität in der EU von 4 GW bis 2000 bzw. 25 GW bis 2010 und ein bis zum Jahre 2020 ohne schwerwiegende technische Veränderung der heutigen Energieversorgungssysteme und -strukturen erreichbares Potential, das "einem Deckungsbeitrag von 20% des heutigen Strombedarfs der EU entspricht", setzen allerdings eine Vielzahl politischer Maßnahmen voraus, deren Realisierung aus heutiger Sicht kaum zu erwarten ist. In diesem Betrachtungen sind zudem **Offshore-Windparks** mit einbezogen, deren zukünftige Rolle für die europäische Stromversorgung noch nicht abschließend geklärt ist.
- In den USA stagniert der Windmarkt gegenwärtig. Es werden mehr Maschinen abgebaut als neu aufgebaut. Jedoch sind in den nächsten Jahren Investitionen von etwa 1,3 Milliarden Mark geplant, vor allem auch bei Ersatzinvestitionen ("Repowering") für die erste Generation der in Kalifornien errichteten Anlagen. Mit Bechtel ist dort gerade einer der größten Maschinen- und Anlagenbauer der USA in den Windmarkt eingestiegen. Insgesamt erwartet das Energieministerium einen Zuwachs der installierten Leistung auf 5.000 MW in 2010 und auf 12.000 MW in 2015. Die Elektrizitätserzeugung aus Wind soll von 3 Mio. MWh 1994 auf 33 Mio. MWh im Jahr 2015 steigen, dies entspricht einem Zuwachs von 11% pro Jahr (DoE 1996a).

- Weitere potentielle Märkte mit geringeren Volumina sind Kanada (Bestand 1994: 67 Anlagen mit 20 MW), Australien und Neuseeland

In den Entwicklungsregionen Asiens und Lateinamerikas sind die Chancen der Windenergie größer als in den Industrieländern. Dort ist die Versorgung mit elektrischer Energie noch längst nicht garantiert, die Märkte sind noch offen. Dort müssen die Anbieter von Windkraftanlagen auch nicht mit bereits bestehenden konventionellen Kraftwerken konkurrieren, da die Versorgungssituation eher von Kapazitätsmangel geprägt ist.

- In Asien werden bislang meist Anlagen im Inselbetrieb und kombinierte Wind/Diesel-Systeme betrieben. Als Märkte besonders interessant sind in der Region derzeit Indien, wo in den letzten Jahren aufgrund guter Standortbedingungen und infolge einer günstigen Gesetzgebung 500 Megawatt installiert worden sind, und China mit vielen windgeeigneten Regionen, die nicht an das öffentliche Stromversorgungsnetz angeschlossen sind. China verfügt zudem seit geraumer Zeit über eine beachtliche Produktion kleinster Anlagen. Weitere interessante Märkte werden in Indonesien und Vietnam gesehen.
- Südamerika weist günstige mittlere Jahreswindgeschwindigkeiten auf, signifikante Nachfrage wird vor allem aus Argentinien, Brasilien und Chile erwartet. Im Norden Brasiliens haben die Arbeiten für zwei - vom japanischen OECF finanzierten - Windparks mit je 30 MW Leistung begonnen; auch laufen dort Aktivitäten, die Gesetzgebung "windfreundlich" zu gestalten (Molly 1996).

In Osteuropa und Afrika sind bisher relativ wenig Windkraftanlagen installiert worden.

- Von den Staaten Mittel- und Osteuropas besitzen vor allem Rußland und die Ukraine geeignete Standortbedingungen auf. Allerdings sind die institutionellen und politischen Bedingungen für einen verstärkten Export von Windkraftanlagen derzeit wenig ermutigend. Zudem besitzen beide Länder genügend eigenes Fertigungspotential für derartige Anlagen, so daß ein Marktzugang nur über ein Interesse der Importeure an neuerer Technologie, also über Kooperationen, möglich erscheint (ein Beispiel dafür ist die Kooperation von Kenetech Windpower (USA) mit dem ukrainischen Unternehmen Yushmash (der wichtigste Hersteller von sowjetischen Interkontinentalraketen), das im Rahmen der Konversion Windturbinen mit einer Gesamtlei-

stung von 500 MW auf der Basis amerikanischer Technologie fertigen und Windparks betreiben will).

- Unter den afrikanischen Ländern erscheinen derzeit vor allem Ägypten und Marokko sowie Namibia und Südafrika interessant.

Tab. 9: Übersicht über erwartete Zuwächse der installierten Windkraftleistung in ausgewählten Ländern in MW, geschätzt

|                | 1995-2000   | 1995-2005     | 1995-2010     | 1995-2015     |
|----------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
| Bundesrepublik | 500.-.800   | 1.300.-.1.500 | 1.900.-.2.100 | 2.300.-.2.500 |
| Argentinien    | 100.-.150   |               |               |               |
| Brasilien      |             | ca. 1.000     |               |               |
| Chile          | 100.-.200   |               |               |               |
| China          | 350.-.1.000 |               |               |               |
| Frankreich     |             | 250.-.500     |               |               |
| Großbritannien | 100.-.300   |               |               |               |
| Indien         | 700.-.2.000 |               | bis 7.000     |               |
| Mexiko         | 150.-.300   |               |               |               |
| Neuseeland     | 50.-.100    |               |               |               |
| Spanien        | 150.-.250   |               |               |               |
| USA            | 600.-.800   | 1.500.-.1.700 | 3.000.-.3.500 | ca. 10.000    |

Quellen: AWEA 1995, EIA 1996a, Prognos 1996, Molly 1996, Schätzungen des TAB

Stark steigendes Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum erhöht den Bedarf an schnell zu errichtenden Energieversorgungskapazitäten, vor allem in vielen sich entwickelnden Ländern. Aufgrund häufiger Ausfälle der Stromversorgung kann die Windenergie oft auch als Ergänzung der konventionellen Versorgung dienen. Voraussetzung für eine intensive Nutzung der Windkraft sind dort u.a. ein kostendeckender Strompreis über einen langen Zeitraum, geringer Wartungsaufwand, niedrige Infrastrukturkosten und ein hoher Ertrag der Anlagen über

eine lange Lebensdauer, d.h. "Vertrauen in die Technik" (vgl. Molly 1989, DIW/ISI 1991). Für deutsche Hersteller bieten sich gute Möglichkeiten, sowohl auf diesen Märkten (dezentrale Systeme, Wind-Diesel- und "stand-alone"-Systeme) als auch auf Märkten in Industrieländern im Qualitätswettbewerb erfolgreich zu sein.

Die meisten international operierenden Hersteller energietechnischer Komponenten haben sich - insbesondere auf den Märkten der Schwellenländer - durch die Gründung von speziellen **Projektentwicklungs-, Finanzierungs- und Beteiligungsgesellschaften** auf die besonderen Bedingungen, wie z.B. Kapitalmangel und fehlende Erfahrung des örtlichen Fachpersonals, eingestellt. Dabei werden die im Geschäft mit kommerziellen Kraftwerken erprobten Formen des "Build, Own and Operate (BOO)" bzw. des "Build, Own and Transfer (BOT)" zunehmend auch den Bereich der Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger übertragen. Neben den größeren Wasserkraftanlagen gilt dies vor allem für **Windenergieparks**. Das Marktsegment privater Kraftwerksprojekte seit 1990 beträgt etwa 12 Mrd. US-Dollar (BWK 1996). Diese Angebote erfordern neben einem umfassenden technischen und organisatorischen "Know-how" genaue Landeskenntnisse, einen langen Akquisitionsatem und Verhandlungsgeschick, unkonventionelle Finanzierungswege über Bartergeschäfte und ein eingespieltes Betriebs- und Instandhaltungspersonal.

Aber auch kleine Kapital- und Betreibergesellschaften bieten zunehmend im In- und Ausland ihre Dienstleistungen für Projektentwicklung, Finanzierung und Betrieb von Anlagen im Bereich Windenergie und Kleinwasserkraftwerken an (z.B. AIR TECH Energieanlagen, Düsseldorf; Nordlicht Umwelt- und Energiebeteiligungs-GmbH, Osterholz). Das erforderliche Gesellschafter-Kapital wird dabei häufig über Ansprache von Privatpersonen gebildet. Diese Unternehmen sind zunehmend auch in ausgewählten Schwellenländern aktiv und vermarkten dabei Anlagen aus der Produktion deutscher und ausländischer Hersteller.

Wenn in manchen Ländern der Dritten Welt - mit oft hoher Auslandsverschuldung, verzerrten Energiepreisen, hoher konsumptiver Verwendung öffentlicher Gelder, Kapitalflucht etc. - und in Osteuropa aus **Finanzknappheit** der technische Zustand der Energieumwandlungs- und -verteilungsanlagen insgesamt mangelhaft ist und Mittel für Reinvestitionen fehlen, kann das notwendige Kapital für Windkraftanlagen über **Entwicklungshilfeprojekte** oder verbilligte **Exportkredite** zur Verfügung gestellt werden (Jargstorf 1995).

Ein anderer Weg wäre eine Finanzierung über ausländische **Betreibergesellschaften**. Innerhalb der Industrieländer scheint dies unproblematisch. Bei anderen Ländern bestehen Risiken, die im Einzelfall kritisch zu untersuchen wären:

Investitionssicherheit, Währungsrisiken, Fragen der Unternehmensform und insbesondere die Möglichkeit der Repatriierung von Gewinnen und Investitionen. Einige Hersteller sehen diese Risiken - noch verstärkt durch die "Schwellenangst" kleinerer Unternehmen - allerdings gegenwärtig als zu hoch an (Krüder 1996). Erfahrungen mit Betreibergesellschaften müßten verstärkt gesammelt und anschließend den deutschen Herstellern zur Verfügung gestellt werden.

Mit den steigenden Exporteinheiten (z.B. Windparks mit 50 MW Leistung und mehr), die in den nächsten Jahren auf dem Weltmarkt ausgeschrieben werden dürften, sind neue Lösungen der **Export- und Projektfinanzierung** erforderlich. Dann dürfte auch die Aussage der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) nur noch selten zutreffen, daß sich "Windkraftanlagen meist nicht im Rahmen der Exportfinanzierung für echte Projektfinanzierungen eignen, da die hierfür erforderlichen Strukturen äußerst aufwendig und kostenintensiv sind" (Herold 1995).

Absehbar ist auch, daß neue Anbieter auf dem Weltmarkt hinzukommen werden (z.B. Japan), die auf dem Gebiet der Projektfinanzierung routiniert sind und exportorientierte Industriepolitik per excellence praktizieren. Auch sind neue Anwendungsfelder vorzubereiten (Offshore-Anlagen), bei denen wiederum der zeitliche Vorsprung in Exporterfolge und neue Arbeitsplätze umgemünzt werden könnte, wie sich wiederum am dänischen Beispiel abzeichnet. Hierbei könnten grenzüberschreitende Kooperationen von Vorteil sein.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß für viele deutsche Hersteller die Bedeutung des Exportgeschäfts im Verhältnis zum gesamten Umsatz zur Zeit noch gering ist, aber ein stetiger Zuwachs erwartet wird. Betont wird von Herstellern vor allem die große Bedeutung der Marktvorbereitung bzw. von Vorzeigeobjekten als Referenzen sowie der große Einfluß der Wettbewerbsfaktoren "Preis" und "Qualität". Die Lieferung von Spitzentechnologie wird zu meist nur für sinnvoll gehalten, wenn in Deutschland ein Serviceteam ausgebildet wurde. Probleme werden bei Handelshemmnissen (z.B. Importzölle) sowie bei der Bereitstellung geeigneter Finanzierung gesehen (siehe aber Beispiel Dänemark). Zunehmende Bedeutung könnte in diesem Zusammenhang die internationale Entwicklungspolitik bekommen. Trotz des Hemmnisfaktors "hoher Preis" der Anlagen werden gute Chancen im Qualitätswettbewerb gesehen.

## 1.3 Photovoltaik-Anlagen

### Marktüberblick

Verglichen mit anderen Techniken der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen ist die Photovoltaik noch eine junge Technologie mit einem geringen Anteil am Elektrizitätsmarkt. Insgesamt wurden zwischen 1976 und 1995 - nach Berechnungen des TAB auf der Basis von Daten des OTA - weltweit Photovoltaikzellen mit einer Gesamtleistung von etwa  $600 \text{ MW}_p$  produziert. Allerdings sind die Marktdaten im Bereich der Photovoltaik generell mit nicht unbeträchtlichen Ungenauigkeiten behaftet, Vertreter von Siemens Solar schätzen die bisherige Gesamtproduktion nur auf etwa  $500 \text{ MW}_p$ . Der Photovoltaikmarkt war in den vergangenen zehn Jahren gekennzeichnet durch ein stetiges und ziemlich starkes Wachstum aus niedrigem Niveau, die jährliche Wachstumsrate der Produktion liegt bei etwa 15%. Der globale Markt für Zellen für photovoltaische Anwendungen wird auf 600 bis 750 Mio. DM pro Jahr geschätzt. Geht man von mittleren Systempreisen von 25 DM/ $\text{W}_p$  aus, so ergibt sich für 1995 ein Gesamtumsatz bei PV-Systemen von ca. 1,5 bis 2 Mrd. DM.

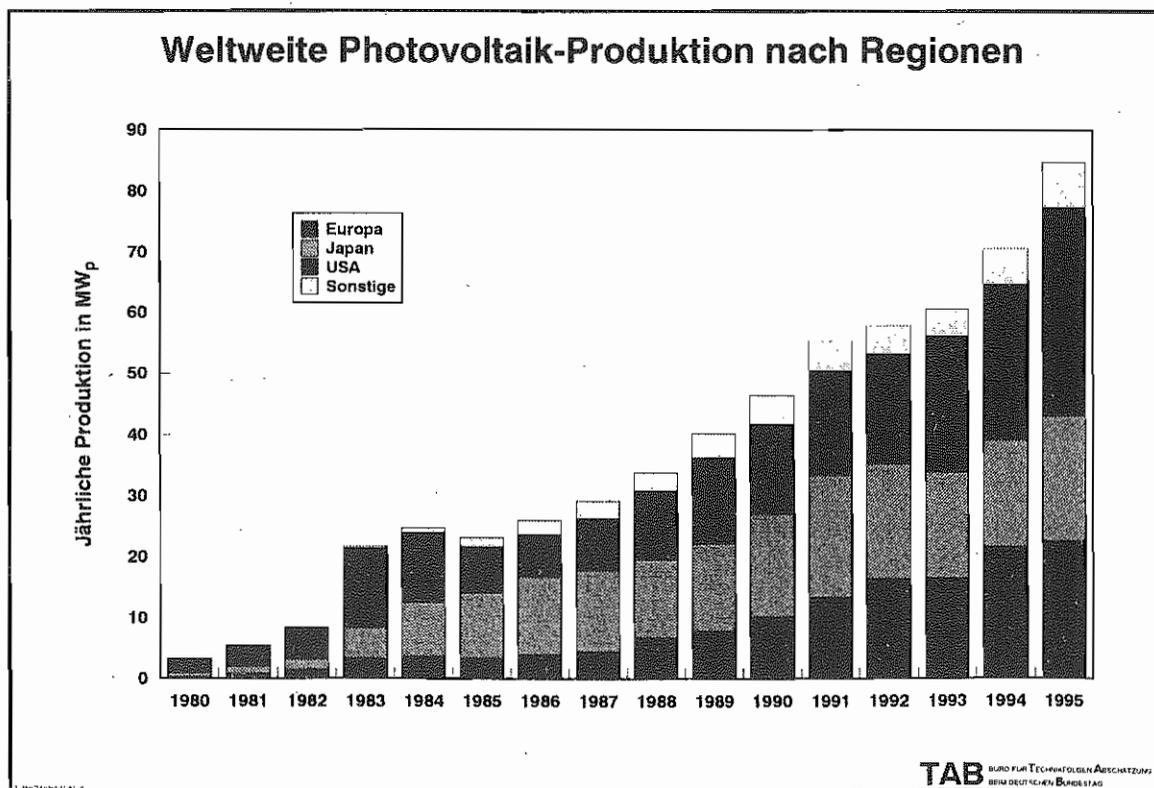
Belastbare Daten zur weltweiten Stromerzeugung aus Photovoltaik sind uns nicht bekannt, was vor allem bedingt ist durch die ungenügende statistische Erfassung dezentraler Anlagen. In Deutschland waren Ende 1994 ca. 10,4 MW netzgekoppelte Photovoltaiksysteme installiert, davon etwa 2,6 MW in EVU-eigenen Anlagen (Grawe/Wagner 1995). Inselanlagen sowie PV-Klein- und Kleinstanlagen zur Elektrizitätsversorgung sind darin nicht enthalten, ihre Gesamtleistung dürfte aber einige MW betragen.

Im Jahr 1995 wurden weltweit etwa  $85 \text{ MW}_p$  an PV-Modulen gefertigt, die zur Verfügung stehenden Produktionskapazitäten werden auf etwa  $100 \text{ MW}_p$  geschätzt. Vom produzierten Volumen an PV-Modulen entfallen 27% auf Europa ( $22,6 \text{ MW}_p$ ), 40% auf die USA und 25% auf Japan. Die Bundesrepublik steht dabei mit etwa  $4 \text{ MW}_p$  zu Buche. Der Zuwachs der weltweiten PV-Modulproduktion lag im Jahre 1995 noch etwas höher als in den Jahren davor, nämlich bei etwa 20%. Von diesem Produktionswachstum profitierte hauptsächlich die USA mit 33,5% Zuwachs, während das Wachstum der Europäischen Produktion mit 4,5% vergleichsweise bescheiden ausfiel. Dies ist unter anderem durch die Stagnation auf dem europäischen Absatzmarkt bedingt. Die speziellen Programme in der Schweiz (im Jahr 2000 sollen 0,5% des Stroms photovoltaisch erzeugt werden) oder der Bundesrepublik (1000-Dächer-Programm) sind mitt-

lerweile verpufft bzw. ausgelaufen. In Europa sind derzeit auch keine Anstrengungen zur Steigerung der PV-Produktion zu erkennen - dies im Unterschied beispielsweise zu Japan, wo ein 70.000-Dächer-Programm (davon 30.000 Anlagen mit 90 MW<sub>p</sub> Gesamtleistung bis zum Jahr 2000) aufgelegt worden ist mit dem Ziel, die japanische PV-Produktion zu verdreifachen.

Wenn die Entwicklung der weltweiten Produktion auch 1996 anhält - und dafür gibt es gute Gründe -, könnte 1996 zum erstenmal die 100 MW-Marke überschritten werden. Allerdings bedeutet dies keine signifikante Kostenreduktion für die Photovoltaik. Erst bei einem bedeutend größeren Produktionsvolumen (es wird auf weltweit 500 bis 1000 MW<sub>p</sub> pro Jahr, der Leistung eines konventionellen Großkraftwerks, geschätzt) können die Kostenvorteile einer hochautomatisierten und vollausgelasteten Fertigungstechnik zum Zuge kommen. Ein solcher Produktionsumfang dürfte aber erst im Laufe des kommenden Jahrzehnts erreicht werden, wenn die Entwicklung der PV-Modulproduktion der letzten zehn Jahre unter der Annahme von 15% Wachstum pro Jahr auch im kommenden Jahrzehnt anhält.

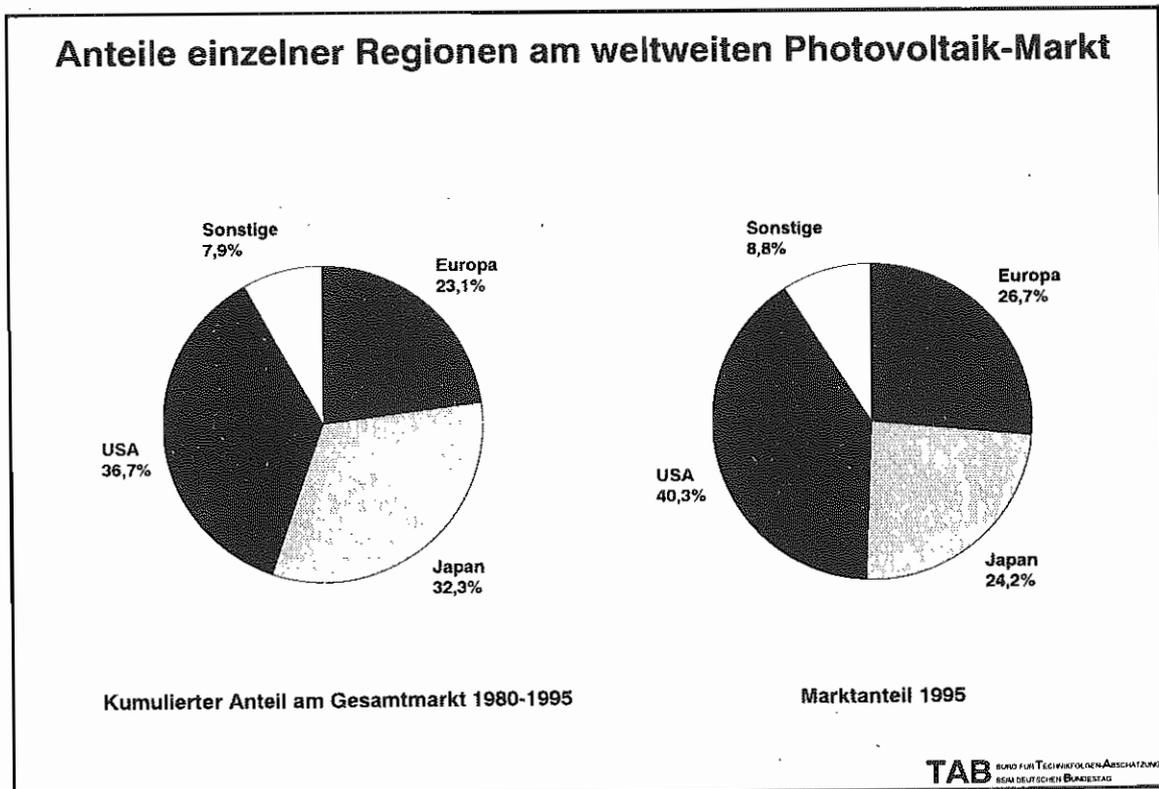
Abb. 3: Weltweite Photovoltaik-Produktion nach Regionen



Quelle: OTA 1995 und Berechnungen des TAB

Im Unterschied zu anderen Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger dominieren im Bereich der Photovoltaik Großunternehmen - vor allem aus der Elektrotechnik und der Energieversorgung - bzw. deren Tochterunternehmen. Derzeit existiert kein dominierender Anbieter. Siemens verfügt in Camarillo/USA mit Siemens Solar Industries (ehemals Arco Solar) mit einer Kapazität von 17 MW/Jahr über die weltweit größte PV-Produktionsstätte. Siemens Solar ist mit einem Weltmarktanteil von etwa 20% das führende Unternehmen der PV-Branche. Weitere bedeutende Anbieter sind Solarex (ein Gemeinschaftsunternehmen von Amoco und Enron mit Produktionsstätten in den USA und Australien) sowie Sharp und Kyocera aus Japan. Wichtige europäische Produktionsstätten für photovoltaische Anlagen befinden sich in Italien (Eurosolaire und Helios), Frankreich (Photowatt) und Spanien (BP Solar und Isophoton).

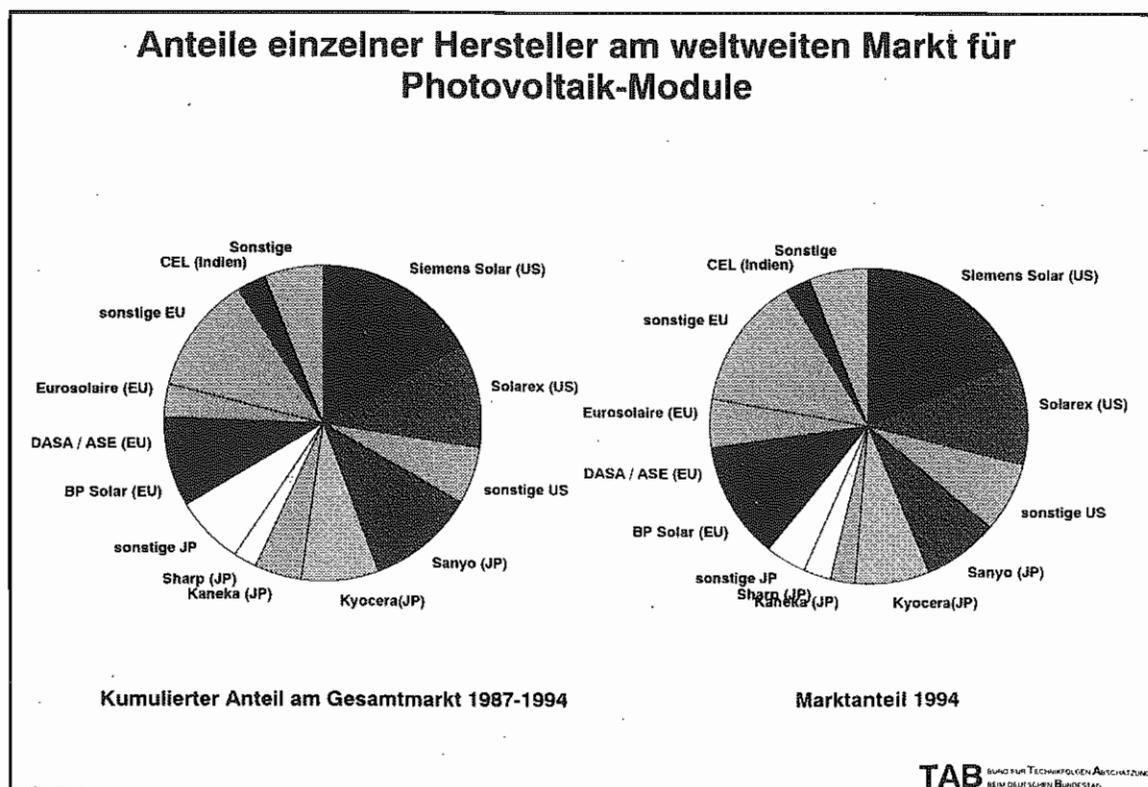
Abb. 4: Anteile einzelner Regionen am weltweiten Photovoltaik-Markt



Quelle: Berechnungen des TAB

Vergleicht man die gegenwärtige jährliche Produktion mit Prognosen aus den 70er Jahren für die 80er Jahre, so wird deutlich, daß das Wachstum des PV-Marktes in den vergangenen Jahren weit hinter den ursprünglichen (aber auch überzogenen) Erwartungen zurückblieb. So wurde vom amerikanischen Department of Energy (DoE) im Jahre 1978 für das Jahr 1988 eine PV-Produktion von 2 GWp prognostiziert (Landis/Younger 1979), eine Menge, die man nach heutigem Wachstum erst nach dem Jahre 2010 erwarten darf. Durch diese langsamere Marktentwicklung fiel auch die erwartete Kostenreduktion für PV-Module bedeutend geringer aus als früher angenommen. In der DoE-Prognose wurden Produktionskosten von 0,50 \$/Wp für 1986 angenommen. Inflationbereinigt und auf DM umgerechnet entspricht dies mit heutigen 1 DM/Wp einem Wert, der in diesem Jahrzehnt nicht mehr erreicht werden dürfte (allein die Materialkosten liegen heute noch darüber).

Abb. 5: Anteile einzelner Hersteller am weltweiten Markt für Photovoltaik-Module



Quelle: Paul Maycock, Photovoltaik Energy Systems Inc., Berechnungen des TAB

Ein Grund für die **langsamere Entwicklung des Photovoltaikmarktes** liegt in den hohen Kosten dieser Technik. Diese begrenzen die Nachfrage auf einige Nischenmärkte, beispielsweise die Versorgung netzferner Verbraucher oder mobile Systeme. Eine Reduktion der Kosten auf ein mit konventionellen Techniken vergleichbares Niveau ist derzeit nicht abzusehen. Auch die Preise für die fossilen Energien blieben weit unter den Anfang der 80er Jahre erwarteten Werten, so daß die Stromerzeugungskosten nicht zunehmen, sondern angesichts des Preisverfalls von Mineralöl und Erdgas seit 1986 und weiterer erheblicher technischer Effizienzverbesserungen der fossilen Kraftwerke seit einigen Jahren real rückläufig sind. Drastische Steigerungen der Energieträgerpreise werden von den Prognoseinstituten in den nächsten Jahren auch nicht erwartet. Nach einer Studie der amerikanischen Energy Information Agency (EIA) wird daher das Wachstum des Marktes für netzgekoppelte PV-Anlagen bis zu diesem Zeitpunkt kaum stärker als bisher ausfallen. Erst mit real ansteigenden Stromerzeugungskosten oder steigenden Energiepreisen ist mit einem selbständigen stärkeren Wachstum aller erneuerbaren Energien, darunter auch der Photovoltaik, zu rechnen.

Das niedrige Niveau der Produktion hat für den PV-Markt wachstumshemmende Konsequenzen, das sich Innovation und Automatisierung der Produktion, d.h. kostengünstige Fertigungsverfahren von Modulen und Systemen, langsamer als erwartet entwickeln, was zu einer unbefriedigenden Ertragslage, unzureichenden Kapitalrückflüssen und daher zu geringen Neuinvestitionen führte. Trotz dieser schwierigen Marktsituation dringt die Photovoltaik in neue Marktsegmente vor und zwar bevorzugt dort, wo die Bereitstellung von Strom teuer ist. Tabelle 10 zeigt eine Liste von PV-Anwendungen und die dafür in 1992 installierten Leistungen (IEA 1994b). Demnach sind die größeren Anwendungen in den Bereichen der netzunabhängigen Stromversorgung von Kommunikationseinrichtungen, einzeln stehender Häuser und Ansiedlungen, von Verkehrssignalen und Wasserpumpen, Freizeitanwendungen und Korrosionsschutz.

Tab. 10: Aufteilung des PV-Marktes 1992 nach Anwendungen

| <i>Anwendung</i>                        | <i>1992 (kWp)</i> | <i>in %</i> |
|---|-------------------|-------------|
| <b>Kommunikation</b>                    |                   | <b>22,1</b> |
| Relaisstationen für MW-Übertragung      | 6000              |             |
| Umsetzer für Radio und Telefon          | 4400              |             |
| Fernsehübertragung                      | 1600              |             |
| Überwachung und Kontrolle               | 250               |             |
| Fernüberwachung im Umweltschutz         | 100               |             |
| <b>Kathodischer Korrosionsschutz</b>    |                   | <b>2,3</b>  |
| Wellheads (Quellen, Bohrtürme)          | 770               |             |
| Leitungen                               | 470               |             |
| Andere Strukturen                       | 60                |             |
| <b>Verkehrssignale</b>                  |                   | <b>1,6</b>  |
| Kleine Navigationshilfen                | 130               |             |
| Mittlere bis größere Navigationssysteme | 300               |             |
| Andere Signalgeber                      | 220               |             |
| Bahnsignale                             | 100               |             |
| Bahnübergänge und anderes               | 150               |             |
| <b>Wasserpumpstationen</b>              |                   | <b>14,6</b> |
| Quellpumpen                             | 6400              |             |
| Tauchpumpen                             | 1800              |             |
| <b>Dorfversorgung</b>                   |                   | <b>24,7</b> |
| Netzferne Dörfer                        | 5400              |             |
| Netzferne Häuser                        | 6200              |             |
| Netzferne Betriebe (Einrichtungen)      | 2100              |             |
| Entsalzungsanlagen                      | 100               |             |

|                               |              |              |
|-------------------------------|--------------|--------------|
| <b>Außenbeleuchtung</b>       |              | <b>4,5</b>   |
| Anzeigentafeln                | 1150         |              |
| Industrieflächen              | 1350         |              |
| <b>Andere Anwendungen</b>     |              | <b>2,1</b>   |
| Kontrollanlagen               | 650          |              |
| Verschiedenes                 | 550          |              |
| <b>Geräteversorgung</b>       |              | <b>15,5</b>  |
| Beleuchtung                   | 3900         |              |
| Elektron. Geräte              | 1200         |              |
| Batterieladegeräte            | 2900         |              |
| Automobil-Sonnendächer        | 700          |              |
| <b>Netzgekoppelte Anlagen</b> |              | <b>4,5</b>   |
| Wohn- und Industriegebäude    | 600          |              |
| Energieversorgungsunternehmen | 1900         |              |
| <b>Demonstrationsanlagen</b>  |              | <b>2,0</b>   |
| Summe aller Projekte          | 1100         |              |
| <b>Kleingeräte</b>            |              | <b>6,1</b>   |
| Solarrechner                  | 2300         |              |
| Andere                        | 1100         |              |
| <b>Summe</b>                  | <b>56000</b> | <b>100,0</b> |

Quelle: IEA 1994b

### Beiträge verschiedener Modul-Technologien zum PV-Markt

Eine Aufschlüsselung der Produktionszahlen nach Technologien zeigt die nach wie vor überragende Bedeutung der kristallinen Silizium-(c-Si)-Solarzelle (einkristallin und multikristallin). Nur in Japan dominiert für "consumer product"-Anwendungen noch immer die amorphe Silizium-Solarzelle, obwohl auch dort der Anteil der c-Si-Solarzellen gewachsen ist. Andere Technologien wie CdTe-,

Folien-Silizium- und Konzentrator-Module haben nur Pilotproduktionsgröße erreicht und sind auch nur für die USA ausgewiesen (vgl. Tab. 11).

Tab. 11: Weltweite PV-Modulproduktion für 1994 und 1995, aufgeschlüsselt nach den wichtigsten Ländern und nach Technologien (Werte gerundet)

|                       | 1995          |                   | 1994 (rev.)   |                   |
|-----------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|
|                       | Output $MW_p$ | Weltmarkt-Anteile | Output $MW_p$ | Weltmarkt-Anteile |
| <b>USA</b>            | 34,2          | 40,3%             | 25,6          | 36,2%             |
| a-Si                  | (1,4)         | (1,6%)            | (1,2)         | (1,7%)            |
| c-Si                  | (31,3)        | (36,9%)           | (23,9)        | (33,8%)           |
| Concentrator          | (0,5)         | (0,5%)            | (0,2)         | (0,2%)            |
| CdTe                  | (0,2)         | 0,2%)             | (0,1)         | (0,1%)            |
| Ribbon Si             | (0,8)         | (0,9%)            | (0,3)         | (0,4%)            |
| <b>Japan</b>          | 20,5          | 24,1%             | 17,5          | 24,7%             |
| a-Si                  | (10,1)        | (11,9%)           | (9,7)         | (13,7%)           |
| c-Si                  | (9,4)         | (11,0%)           | (6,8)         | (9,6%)            |
| CdTe                  | (1,0)         | (1,1%)            | (1,0)         | (1,4%)            |
| <b>Europa</b>         | 22,6          | 26,6%             | 21,6          | 30,5%             |
| a-Si                  | (1,8)         | (2,1%)            | (1,8)         | (2,5%)            |
| c-Si                  | (20,8)        | (24,5%)           | (19,8)        | (28,0%)           |
| <b>übrige Staaten</b> | 7,5           | 8,8%              | 6,0           | 8,4%              |
| a-Si                  | (1,0)         | (1,1%)            | (0,75)        | (1,0%)            |
| c-Si                  | (6,5)         | (7,6%)            | (5,25)        | (7,4%)            |
| <b>Total (ger.)</b>   | <b>84,8</b>   | <b>100%</b>       | <b>70,7</b>   | <b>100%</b>       |

Quelle: Photovoltaic Insider's Report 1996

## Die Situation auf dem Inlandsmarkt

Im wesentlichen konzentriert sich die Produktion in Deutschland auf zwei Unternehmen: Angewandte Solarenergie ASE GmbH (3,6 MW<sub>p</sub>) und Siemens Solar GmbH. Die ASE ist das Ergebnis der Konzentrationsbestrebungen in der Branche, sie ist aus mehreren Übernahmen bzw. Fusionen hervorgegangen. Sie ist heute in jeweils 50%-igen Besitz der RWE-Tochter Nukem und der zum Daimler-Benz gehörenden DASA. ASE unterhält Standorte im ehemaligen AEG-Telefunken-Werk Wedel (2 MW Kapazität), in Alzenau (RWE) und im vormaligen Werk der Phototronics Solartechnik in Putzbrunn (je 1 MW Kapazität) sowie eine von der DASA aufgebaute Produktionsstätte für Sonderanfertigungen (v.a. in der Raumfahrt) in Heilbronn. Siemens Solar, eine Tochter der zur VIAG-eigenen Bayernwerk AG (49%) und der Siemens AG (51%), verfügt über eine Produktionskapazität bei Zellen von 0,5 MW, bei Modulen von 1,5 MW. Sowohl Siemens Solar als auch ASE sind weltweit agierende Akteure, die neben der inländischen Fertigung auch bedeutende Produktionen im Ausland besitzen.

Keine der bundesdeutschen Produktionsstätten ist bisher in der Lage, ein Verfahren der Massenproduktion anzuwenden. Eine solche Massenproduktion dürfte bei einem Umfang von jährlich 30 MW erreicht sein. Die gegenwärtig praktizierten Produktionsverfahren sind von erheblichem Aufwand geprägt (Reinraumtechnik), sie werden in der Bundesrepublik im Zweischicht-Betrieb angewendet. Ob diese allerdings für eine automatisierte Produktion überhaupt geeignet sind, ist umstritten. Industrievertreter sehen gute Automatisierungsmöglichkeiten eher bei den Dünnschichttechniken als bei den gegenwärtig praktizierten Verfahren (Oswald 1996).

Die derzeitige Lage der deutschen PV-Industrie ist durch einschneidende Änderungen in den vergangenen Jahren (1993-1995) gekennzeichnet. Die wichtigsten Ereignisse waren (Räuber 1995a):

- Die Bayer AG gründet die Tochter Bayer Solar GmbH, in welche die Wacker Chemitronic und Freiburger Elektronikwerkstoffe ihre Solaraktivitäten einbringen.
- NUKEM und DASA gründen die gemeinsame Tochter ASE, die ihrerseits im August 1994 die Mobil Solar in Billerica/Boston (USA), die heutige ASE Americas Inc., kauft.
- Die englische Firma Pilkington gründet die Firma Pilkington Solar International (früher Flagsol); Schwerpunkt der Aktivitäten: Spezialmodule für Gebäudeintegration (Solarfassaden, -dächer, -abschattungen).

Das einschneidendste Ereignis war zweifellos die Schließung der Modulfabrik Wedel der ASE und die Verlagerung der Produktion an den Standort der ASE Americas in Billerica (USA) im Jahre 1995. Damit betreibt ASE in Deutschland nur noch kleinere Entwicklungs- und Pilotlinien in Alzenau und in Heilbronn. Nach Angaben von ASE eröffnen die Entwicklungen der letzten Jahre durch stärkere "Globalisierung" neue Marktchancen; weitere wichtige Gründe für die Verlegung der Produktion in die USA sind die dort günstigere Lohnkostenstruktur und die geringeren Kapitalstückkosten infolge der Produktionsmöglichkeiten auch am Wochenende. Da auch die Firma Siemens Solar (SSG) in Deutschland nur eine Entwicklungs- und Pilotlinie in München betreibt, bedeuten diese Veränderungen einen drastischen Rückgang der industriellen PV-Aktivitäten in Deutschland. Gleichzeitig kam der erwähnte starke Zuwachs der Produktion von 1994 auf 1995 in den USA den amerikanischen Töchtern beider Firmen zugute.

Nach Darstellung der PV-Industrie war in den letzten Jahren die Ertragslage der PV-Industrie allgemein und die der deutschen PV-Industrie im speziellen unbefriedigend. ASE z.B. berichtete über Verluste in Höhe von 40 Mio. DM bei einem Umsatz von 60 Mio. DM im Jahre 1995. Die heute ab Fabrik erzielten Preise für PV-Module würden also kaum die Herstellkosten decken (Räuber 1995). Diese Situation könne sich erst dann verbessern, wenn durch deutlich gestiegene Produktionszahlen innovative und hochautomatisierte Produktionsverfahren eingesetzt werden könnten. **Wichtig für den Aufschwung** der PV-Modulhersteller scheint vor diesem Hintergrund also nicht nur eine Reduzierung der Modulpreise, sondern eine **Reduzierung der Modulpreise bei deutlich verbessertem Gewinn** der Firmen. Dieser Argumentation stehen allerdings Aussagen einer Studie der Ludwig-Bölkow-Systemtechnik für Greenpeace entgegen, derzufolge ein wirtschaftlicher Betrieb auch kleiner Produktionslinien in Deutschland sehr wohl möglich und die Verluste eher auf falsche Markteinführungsstrategien seitens der Hersteller sowie unzureichende förderpolitische Rahmbedingungen zurückzuführen seien.

Mittelfristig betrachtet muß die Verlagerung der Modulherstellung an kostenünstigere Produktionsstandorte für die deutschen Hersteller von PV-Systemen kein Nachteil sein, weil durch die geringeren Modulkosten die Märkte für PV-Anlagen schneller expandieren könnten und die deutschen Hersteller von dem intensivierten Bedarf an PV-Systemkomponenten profitieren könnten. Die PV-Module stellen zwar für die PV-Systeme die wichtigsten Vorprodukte dar. Vom Umsatz her gesehen sind aber die anderen Komponenten und Dienstleistungen wie z.B. Inverter, Batterien, Back-up-Systeme, Aufständigung, Verkabelung, Montage und Überwachung wichtigere Faktoren. Hier sind überwie-

gend kleinere und mittlere Unternehmen, Ingenieurbüros und Handwerksbetriebe tätig. Detaillierte Statistiken über die Umsätze und Gewinne dieser Branchen im Bereich Photovoltaik sind uns nicht bekannt. Eine grobe Abschätzung, die von einem Umfang von 3 MW<sub>p</sub> installierten PV-Systemen und einem Systempreis von 30 DM/W<sub>p</sub> ausgeht, ergäbe ein Umsatzvolumen von etwa 90 Mio. DM/Jahr in Deutschland. Allerdings ist der Gesamtumsatz aller die Photovoltaik betreffenden Güter und Dienstleistungen wesentlich höher, da ja allein die Forschungsförderung des BMBF für die Photovoltaik zwischen 70 und 80 Mio. DM/Jahr beträgt. Auch die Finanzierung durch die Länder, Kommunen und Energieversorgungsunternehmen, die - im Unterschied zur staatlichen Forschungsförderung - vor allem Technikanwendungen fördern, beginnt eine wichtige wirtschaftliche Rolle zu spielen.

Nach dem Exodus der Modulproduktion in 1995 gibt es zur Zeit mehrere Versuche, am Standort Deutschland neue Solarzellenfertigungen und Modulfertigungen aufzubauen. So hat die mittelständische Firma Ersol aus Erfurt die Solarzellenfertigung aus Wedel übernommen. Die restlichen Anlagen der ASE wurden an eine neue Firma in Wedel, die in Zukunft individuell angepaßte Solarmodule fertigen will, verkauft. Eine weitere Fertigung ist in Freiburg geplant. Ob diesen Unternehmungen Erfolg beschieden sein wird, bleibt abzuwarten. Gegenwärtig überwiegt die Skepsis, da auf einem engen Markt bereits mehrere große Unternehmen mit langjähriger Erfahrung präsent sind. Im Erfolgsfall könnte aber die gesamte "PV-Szene" verändert werden, weil die PV-Modulproduktion von den Großunternehmen und Energieversorgern auf mittelständische Unternehmen überginge, was eine neue Dynamik in diesen Wirtschaftszweig bringen könnte. Offen ist zudem, ob die gegenwärtige Reduktion der nationalen Produktionsaktivitäten der Großindustrie in diesem Bereich negative Auswirkungen auch auf die nichtindustrielle Forschungsförderung durch Bund und Länder haben wird und mittelfristig eine Gefahr für das Niveau der deutschen FuE auf dem Gebiet der Photovoltaik darstellt.

Für den **System- und Dienstleistungsmarkt** der Photovoltaik in Deutschland dürfte es von geringer Bedeutung sein, ob die Module im Ausland oder in Deutschland produziert werden. Hier kam und kommt es hauptsächlich auf den günstigsten Anbieter an. Es kann also davon ausgegangen werden, daß die Zahl der installierten Systeme durch diese Verlagerung ins Ausland allein nicht negativ beeinflußt werden muß - vielleicht sogar im Gegenteil positive Wachstumsimpulse erhält. Dies gilt besonders für **photovoltaisch versorgte Kleingeräte** wie Parkscheinautomaten, Hausnummernbeleuchtungen, PV-Leuchten etc.,

bei denen die Solarzellen nur einen kleinen Anteil der Gesamtkosten ausmachen.

### **Exportchancen der deutschen PV-Industrie**

Laut Analysen aus den USA und Europa werden etwa 50% der **Modulproduktion exportiert** (Photovoltaik Insider's Report 1995 und 1996). Für Deutschland war der Exportanteil ähnlich hoch. Die "Verfolgung" der Module und Systeme vom Hersteller zum Anwender ist dadurch erschwert, daß ein großer Teil der Produktion über Distributoren abgesetzt wird, die ihrerseits sehr international operieren. Es wird geschätzt, daß weniger als die Hälfte der Produktion direkt exportiert wird (Räuber 1996). Durch die Verlagerung der Modulproduktion ins Ausland werden hier in Deutschland zunächst klare Verhältnisse geschaffen: Es gibt kaum noch einen nennenswerten Export von in Deutschland gefertigten Modulen, wenn man vom Bereich "Raumfahrt-Solarzellen" absieht. Deutschland bleibt aber weiterhin "Umschlagplatz" für Module, die importiert und über Systemanbieter und Distributoren wieder exportiert werden.

**Systemkomponenten** und **ganze PV-Systeme** werden hauptsächlich von kleineren und mittleren Unternehmen hergestellt. Für diese ist ein guter Inlandsmarkt - der wesentlich von der Förderung der Photovoltaikanwendung durch die öffentliche Hand und die Energieversorger (Stromeinspeisevergütung, Kreditvergünstigungen, Investitionsanreize etc.) abhängt - sicher eine wichtige Voraussetzung für gute Exportchancen.

Einige deutsche Systemanbieter sind auch im Exportgeschäft aktiv. Dabei haben sich die kleineren Unternehmen vor allem in der speziellen Auslegung von Anlagen für geringe Stückzahlen profiliert, während sich die Großanbieter eher auf Projekte mit hohem Finanzvolumen und mittlerer Standardisierung konzentrieren. Allerdings haben viele der kleinen deutschen Firmen deutliche Mängel im Vertrieb, die vor allem auf ihre eher von Ingenieuren dominierte und weniger kaufmännisch orientierte Ausrichtung zurückzuführen sind. Die kleineren Unternehmen kaufen Module zu, wobei unternehmensübergreifend keine besonderen Herstellerpräferenzen zu erkennen waren. Um die Gesamtkosten zu reduzieren und hohe Importzölle zu vermeiden, werden zudem technisch weniger anspruchsvolle Komponenten in der Regel im Zielland selbst beschafft. Aussagen über den Umfang der Exporte auf dem Gebiet der Photovoltaiksystemkomponenten und -systeme sind hier verlässlich nicht möglich.

Mittelfristig besteht **die Gefahr**, daß Komponenten- und Systemlieferanten verstärkt die Nähe zu den Standorten der Modulfabrikation - vor allem USA und Japan - suchen werden. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund, daß diese Standorte für Lieferungen in wichtige Märkte wie Südamerika und Südostasien auch geografisch günstiger sind.

### Zukünftige Marktentwicklung

Wie einleitend erwähnt, kann die Photovoltaik in dem Maße in neue Marktsegmente vordringen, wie die Kosten für die Module sinken. Diese Markterweiterung wiederum führt über das erhöhte Produktionsvolumen zu niedrigeren Modulkosten. So einfach dieser Mechanismus qualitativ und empirisch zu verstehen ist, so schwierig sind quantitativ verlässliche Prognosen. Als "Daumenregel" hat sich die Annahme eines "learning-curve"-Verhaltens bewährt, wonach sich die Modulkosten bei Verzehnfachung der Produktion etwa halbieren. Geht man von einem derzeitigen **Modulkostenniveau** von 5,5 bis 6 DM/W<sub>p</sub> aus, so würde das eine **Reduktion auf 3 DM/W<sub>p</sub> erst nach 2005** bedeuten.

In einer als EU-Projekt durchgeführten Studie werden als vorläufiges Ergebnis für kristalline Silizium-Module bei einer jährlichen Produktion von 500 MW<sub>p</sub> Kosten von 1 ECU/W<sub>p</sub> (= 1,90 DM/W<sub>p</sub>) prognostiziert. Ob diese Kosten durch die angekündigten amorphen Siliziumzellen unterboten werden können bleibt abzuwarten. Die Firma Solarex (Amoco/Enron) plant derzeit ein 4 MW PV-Kraftwerk in Hawaii unter Einsatz der amorphen Silizium-Modultechnologie. Der geplante Systempreis ist 2,03 \$/W<sub>p</sub>, was weniger als ein Drittel derzeit üblicher Preise ist (Photovoltaic Insider's Report 1996).

Um das Gesamtvolumen des Photovoltaikmarktes abzuschätzen, müssen neben den Modulkosten die **Systemkosten** betrachtet werden. Diese aber unterscheiden sich je nach Anwendung und solarer Einstrahlung sehr stark. Am niedrigsten sind die Kosten für PV-Kraftwerksanwendungen. Für das vor zwei Jahren installierte Solarkraftwerk in Toledo (ca. 1 MW) betragen die Gesamtsystemkosten etwa 17 DM/W<sub>p</sub> (Voermans 1995). Netzgekoppelte Kleinanlagen wie sie etwa im 1000-Dächerprogramm errichtet wurden, kosten ca. 20 bis 30 DM/W<sub>p</sub> (1000-Dächer-Meß- und Auswertprogramm). Bei Inselanlagen kommt es sehr auf die spezielle Anwendung und die gewünschte Versorgungssicherheit an. So wurde für ein Inselhaus für einen Energiebedarf von 1 kWh pro Tag für den Standort Freiburg ein Systempreis zwischen 45000 und 60000 DM berechnet (Roth 1995).

Für das Jahr 2005 ergibt sich bei einer angenommenen PV-Produktion von 350 MW<sub>p</sub> und einem gegenüber 1995 halbierten Systempreis von 12,5 DM/W<sub>p</sub> ein Gesamtumsatz von etwa 4,4 Mrd. DM weltweit. Diese Abschätzung ist allerdings sehr grob, sie ergibt sich aus einer einfachen Extrapolation der bisherigen Situation. Es gibt jedoch viele Faktoren, die die Einschätzung der zukünftigen Entwicklung des PV-Marktes ebenso schwierig machen, wie das in der Vergangenheit war. Einige dieser Faktoren (die analog bzw. in ähnlicher Form für nahezu alle erneuerbaren Energiequellen gelten) sind:

- die Unsicherheit über die Intensität der Förderung von Forschung und Entwicklung durch die Industrie und die Öffentliche Hand und damit verbunden die Entwicklung innovativer Solarzellenkonzepte, innovativer Produktionstechnologien sowie innovativer Systemkomponenten,
- die Entwicklung des Strombedarfs und insbesondere der Energiepreise weltweit,
- die politischen Reaktionen auf die Problematik energiebedingter CO<sub>2</sub>- und CH<sub>4</sub>-Emissionen in den nächsten zwei Jahrzehnten,
- die Akzeptanz der Kernenergie in den verschiedenen Weltregionen, die nach einem großen Unfall (ähnlich wie 1987 Tschernobyl) wieder zurückgehen könnte,
- die Strategien der Energieversorgungsunternehmen, die in Industrieländern verstärkt auf dezentrale Energiewandler zur Verringerung der Risiken bei stagnierendem Stromabsatz und liberalisierten Märkten umschwenken werden sowie
- die Strategien der Energieentwicklung in Schwellen- und Entwicklungsländern, insbesondere deren Strompreispolitik.

Eine Änderung eines oder mehrerer Einflußfaktoren kann die Marktentwicklung der Photovoltaik drastisch beeinflussen. Wegen der hohen Kosten von Photovoltaiksystemen und der möglichen anderen Anwenderstruktur wird Photovoltaik noch längere Zeit mit öffentlich gestützten Märkten (wobei die Förderung sowohl umwelt- als auch industriepolitisch begründet werden könnte) auskommen müssen, ihre zukünftige Entwicklung also in besonderem Maße von politischen Vorgaben abhängen. Dies gilt sowohl für die Umsetzung auf den Binnenmärkten der Industrieländer als auch für die Rolle der dezentralen Stromversorgungen, insbesondere der PV-basierten Dorf- und Hausversorgungen, im Rahmen der Entwicklungspolitik. Photovoltaik wird jedoch auch unter günstigsten Randbedingungen erst in einigen Jahrzehnten einen nennenswerten Beitrag zur Weltelektrizitätsversorgung leisten können.

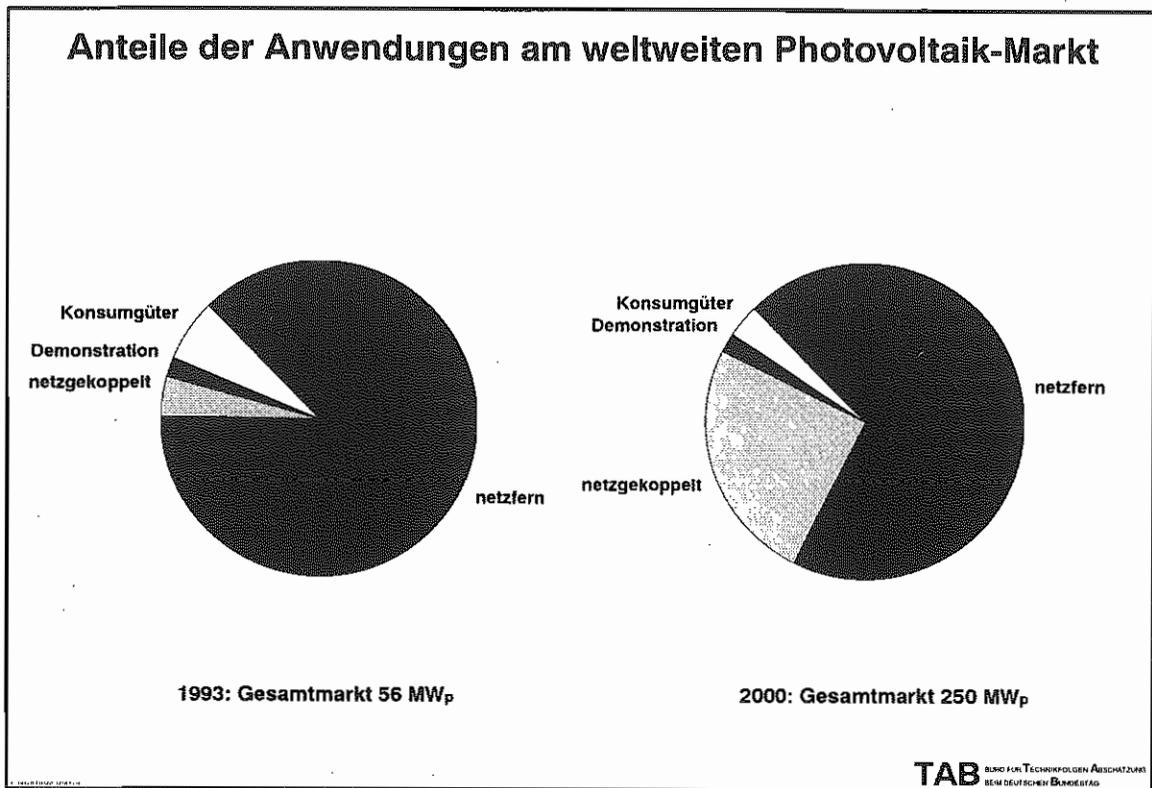
Auch Aussagen über die zukünftig wirtschaftlich relevanten Materialien und Technologien für PV-Anlagen müssen derzeit eher spekulativ sein. Es ist aus heutiger Sicht sehr schwer abzuschätzen, ob und in welchem Umfang in nächster Zukunft, also etwa bis zum Jahre 2005, der Anteil an Modulen aus amorphem Silizium (a-Si) und anderen Dünnschicht-Solarzellen zunehmen wird. Einerseits gab es mehrere Ankündigungen über die Errichtung großer Fertigungskapazitäten für a-Si in den USA durch die Firmen Solarex (Amoco/Enron) und USSC (Canon). Zusätzlich bereiten derzeit eine Verknappung und Verteuerung des Grundstoffes Silizium für die Photovoltaik der c-Si-Produktion einige Schwierigkeiten, die, wenn sie länger anhalten sollten, den Dünnschichttechnologien Auftrieb geben dürften. Andererseits scheint es bisher noch nicht gelungen zu sein, mit einer anderen Technologie deutliche Kostenvorteile gegenüber der "konventionellen" c-Si-Produktionstechnologie zu erzielen (s. u.). Zudem wird in Zukunft zunächst hauptsächlich die kristalline Si-Technologie die Kostenreduktionspotentiale, die in einer vergrößerten Produktion liegen, ausnützen können. Aus diesen Überlegungen heraus erscheint die Prognose realistisch, daß die **kristalline Silizium-Solarzelle für die nächste Dekade die wichtigste PV-Technologie bleiben wird.**

Nach einer Studie der International Energy Agency (IEA 1994b) wurden 1993 beinahe 90% der PV-Module (49,3 MW<sub>p</sub>) für netzferne Anwendungen eingesetzt und nur 4% (2,3 MW<sub>p</sub>) für netzgekoppelte Anwendungen. Für 2000 wird erwartet, daß der Anteil der netzgekoppelten Anlagen auf über 60 MW<sub>p</sub> (25%) steigt, für netzferne Anwendungen wird ein Wachstum auf 175 MW<sub>p</sub> angenommen (Abb. 5).

Einer der **größten Zukunftsmärkte** für die Photovoltaik wird in den "**solar home**"-Systemen (SHS), also kleinen netzunabhängigen Hausversorgungssystemen im 100 Wp-Bereich, für Entwicklungsländer gesehen. Hier besteht weltweit ein Bedarf von vielen hundert Millionen Systemen. Dieser Markt könnte allerdings nur mit Hilfe von Finanzierungshilfen (Entwicklungshilfe, Weltbank, private Investoren) und im Gleichklang mit der Entwicklung kaufkräftiger Nachfrage in diesen Ländern erschlossen werden (siehe auch Kap. IV-1.9).

Für **netzgekoppelte Hausanlagen** im 1 bis 5 kWp-Bereich für die Versorgung in Industrie- und Schwellenländern mit ausgebauten Elektrizitätsnetzen, bei denen die Stromerzeugungskosten aus der PV-Anlage noch weit über den Strombezugskosten aus dem Netz liegen, spielt auf längere Zeit die Förderung der Photovoltaikanwendung durch die öffentliche Hand und die Energieversorger (Stromeinspeisevergütung, Kreditvergünstigungen, Investitionsanreize etc.) eine zentrale Rolle.

Abb. 6: Anteile der Anwendungen am weltweiten Photovoltaik-Markt



Quelle: IEA 1994b

## 1.4 Thermische Solaranlagen

Der Begriff "thermische Solaranlagen" (in Abgrenzung zu Photovoltaik-Systemen) wird hier in einem sehr weiten Sinne verwendet. Er umfaßt u.a. Kollektoranlagen zur solaren Brauchwassererwärmung, Schwimmbadabsorbersysteme, Warmluftkollektoren für Trocknung oder Heizzwecke, Kollektorsysteme zur Prozeßwärmeerzeugung, Destillationsgeräte zur thermischen Wasseraufbereitung, Solarkocher und anderes mehr. In Deutschland werden fast ausschließlich Solaranlagen zur Warmwasserbereitung eingesetzt, die Nutzung auch für Heizzwecke in Nahwärmesystemen nimmt zu.

Die Produktion von Kollektoren für solarthermischen Anlagen ist technisch nicht sehr anspruchsvoll, sie ist schon in kleinem Maßstab möglich und wird in Deutschland in manufakturerlicher Weise praktiziert (DFS 1996a). In Deutschland wurden seit 1975 etwa 1,5 Mio. m<sup>2</sup> Kollektorflächen installiert, der jährliche Zuwachs liegt derzeit bei mehr als 25%/Jahr. Die inländische Marktentwick-

lung im Bereich der **thermischen Solaranlagen zur Warmwasserbereitung** verlief ab dem Jahre 1989 positiv. Nach vorläufigen Angaben des Deutschen Fachverbandes Solarenergie (DFS) war 1995 das bislang erfolgreichste Jahr der Branche, von den 298.000 m<sup>2</sup> neu installierter Kollektorflächen entfielen 170.000 m<sup>2</sup> auf Flachkollektoren, 50.000 m<sup>2</sup> auf Vakuumflach- und -röhrenkollektoren und 78.000 m<sup>2</sup> auf Schwimmbadabsorber (DFS 1996b). Auch 1995 hat sowohl der Umsatz der Branche als auch die Zahl der Arbeitsplätze zugenommen. Während aber die deutschen Hersteller einen Zuwachs gegenüber 1994 von rund 10% zu verzeichnen haben, konnten die Importeure ihren Umsatz verdoppeln (Terbrack 1995).

Im internationalen Vergleich nimmt Deutschland eine bedeutende Position ein. So wurden nach einer Untersuchung der DFS in 1993 sowohl Griechenland, der bisherige Spitzenreiter bei der Kollektorproduktion, als auch Österreich bezüglich der installierten Gesamtfläche überholt.

Der dynamische Markt macht Deutschland auch für ausländische Firmen interessant. Vor allem griechische und israelische Hersteller suchen hier neue Märkte. Die DFS schätzt für 1992 und 1993 den Importanteil auf rund 30% der installierten Flächen, im Gegenzug werden etwa 30% der deutschen Produktion exportiert.

Deutsche Hersteller haben sich aufgrund der hiesigen Kostensituation auf hochwertige Systeme konzentriert. Bei technisch weniger anspruchsvollen Systemen dominieren Anbieter aus Griechenland, Israel und Australien den Markt. Die Kostensituation der inländischen Fertigung wird zwei Trends verstärken: Bei weitgehendem Festhalten an der manufakturrellen Produktion werden in Zukunft deutsche Hersteller wohl nur in finanziell stärkeren Ländern (bspw. im europäischen Mittelmeerraum und Nordeuropa, aber auch im Nahen Osten, in Südostasien sowie in Südamerika) Erfolg haben. Eine - partielle - Alternative besteht im Übergang zu einer weitgehenden Automatisierung der Fertigung. Diese setzt allerdings, um wirtschaftlich realisierbar zu sein, steigende Absatzmengen im Inland, bei der gegenwärtigen Situation auf dem Inlandsmarkt vor allem aber auch im Ausland voraus.

Es muß ferner beachtet werden, daß im Bereich der thermischen Solarenergienutzung (also inkl. der konzentrierenden Systeme) bereits heute eine **umfangreiche internationale Arbeitsteilung** vorhanden ist. Beispielsweise wird die Glasabdeckung von Flachkollektoren (zur Warmwasserbereitung) von vielen Firmen aus den USA importiert, d.h., die Glasscheiben der in Deutschland installierten Kollektoren (aus deutscher oder ausländischer Produktion) werden zum großen Teil in den USA gefertigt. Generell ist die aktuelle Entwicklung im

Bereich der Produktion von Solaranlagen von einem **Abwandern der Produktion ins Ausland** gekennzeichnet, sofern nicht schon entsprechende Komponenten bzw. ganze Baugruppen z.T. schon seit Jahren importiert (z.B. aus Israel) und von deutschen Anbietern in entsprechende Gesamtsysteme integriert werden oder deutsche Firmen im Ausland fertigen lassen (z.B. in Griechenland, Tschechien, Slowenien). Angesichts der z.T. erheblichen Lohnkostendifferenzen zu anderen europäischen Ländern und der relativ einfachen Fertigung der Systeme muß in den nächsten Jahren mit rückläufigen Exporten bei Solaranlagen zur häuslichen Warmwasserbereitung gerechnet werden. Ausnahmen bei dieser "Abwanderungstendenz" bilden Firmen, die schon **längere Zeit Kundenkontakte im Ausland** haben und auf solide Produkte mit langer Lebensdauer verweisen können. Dabei spielt die **Präsenz** auf ausländischen Märkten eine erhebliche Rolle. Jedoch sind kleinere und mittlere Unternehmen hierbei in der Regel überfordert, und es stellt sich die Frage nach Unterstützung durch deutsche Auslandsvertretungen.

Zusammenfassend läßt sich somit feststellen, daß die Exporterwartungen von Komponenten und Anlagen zur solarthermischen Warmwasserbereitung (ohne konzentrierende Systeme) aus folgenden Gründen vorsichtig einzuschätzen sind:

- **Schon heute besteht ein Importüberschuß** von Einzelkomponenten; hierbei sind die hohen Importe von selektiv beschichteten Absorberflächen (vorwiegend aus den USA) und hochtransparente Glasabdeckungen für Warmwasserkollektoren zu beachten, die aus bestehenden Produktionsstätten mit teilweise hohen Kapazitätsreserven stammen,
- die **Fertigung** der Anlagen ist **lohnintensiv**; deshalb ist ein Abwandern von (lohnintensiven) Produktionsschritten bzw. der Gesamtproduktion deutscher Anbieter (bzw. die Kooperation mit ausländischen Partnerunternehmen mit Technologietransfer) in Länder mit niedrigem Lohnniveau zu erwarten; dies wird langfristig zwangsläufig zu ansteigenden Importen führen und die inländische Produktion sowie den **Export auf Komponenten wie Meß- und Regelgeräte oder hocheffiziente Umwälzpumpen beschränken**,
- es ist keine Massenfertigung - mit entsprechender Automatisierung der arbeitsintensiven Produktionsschritte - absehbar .

Letztlich wird man mit einem zunehmenden Importsaldo von Anlagen und Komponenten zur solarthermischen Nutzung rechnen müssen.

## 1.5 Solarthermische Kraftwerke

Solarthermische Kraftwerke nutzen - im Unterschied zur direkten Umwandlung von Sonnenstrahlung in elektrischen Strom bei der Photovoltaik - die am Erdboden einfallende Wärme als Quelle einer nachgeschalteten Energiewandlung. Weltweit werden vier Konzepte verfolgt:

- *Parabolrinnen-Kraftwerke (auch als "Farmanlagen" bezeichnet)*, bei denen Parabolspiegel die Solarstrahlung auf mit einer Trägerflüssigkeit gefüllte Rohre konzentrieren. Die erwärmte Flüssigkeit wird über Wärmetauscher an einen Dampfkreislauf übertragen, der eine konventionelle Dampfturbine treibt. Gegebenenfalls wird bei solchen Anlagen auch eine fossile Zusatzheizung eingesetzt, um einstrahlungsschwache Zeiten zu überbrücken.
- *Solarturm-Kraftwerke (auch als "Turmanlagen" bekannt)*, bei denen die Strahlungsenergie von einem Heliostatenfeld auf einen zentral angeordneten ortsfesten Absorber konzentriert wird. Als Wärmeträger dient hier entweder Salz (dieses Konzept wird vor allem in den USA verfolgt) oder Luft (wie im europäischen PHOEBUS-Konzept). In Dampferzeugern wird die Energie des Wärmeträgers auf einen Dampfkreislauf übertragen und über eine konventionelle Dampfturbine in elektrische Energie umgewandelt.
- *Parabolspiegel-Anlagen mit Stirling-Maschinen (auch "Dish/Stirling-Anlagen" genannt)*, wo ein parabolisch gekrümmter Kollektor bzw. Konzentrator die senkrecht einfallende direkte Strahlung in einem Brennpunkt fokussiert, in dem der Solarreceiver bzw. der Erhitzerkopf einer Stirlingmaschine - fest verbunden mit dem Kollektor angeordnet ist. Die Welle des Stirlingmotors ist direkt mit einem Generator gekoppelt.
- *Aufwind-Kraftwerke*, in denen die Luft unter einem großen Glasdach durch die Sonnenstrahlung erwärmt wird. Die Temperaturdifferenz mit der Außenluft erzeugt über einen zentral angeordneten hohen Turm - den Kamin - ein Druckgefälle, das dort zu einem Windstrom - dem Aufwind - führt. Dieser Windstrom kann über eine im unteren Teil des Turmes angeordnete Windturbine in elektrische Energie umgewandelt werden.

Während sich Parabolrinnen-, Solarturm- und Aufwind-Kraftwerke aufgrund der erforderlichen Kostendegressionen hauptsächlich für eine großtechnische Realisierung (beginnend mit Leistungsgrößen zwischen 30 und 100 MW<sub>el</sub>) eignen, sind die Dish/Stirling-Anlagen eher für kleinere Einheitengrößen im kW-Bereich einzusetzen.

Das anwendungsreifste, weil marktnächste Konzept ist das der Parabolrinnen-Kraftwerke. Davon sind in den achtiger Jahren in der Mojave-Wüste neun Einheiten von Typ SEGS (Solar Electricity Generating System) mit zusammen 354 MW elektrischer Leistung durch die amerikanisch-israelische Firma LUZ International errichtet und unter kommerziellen Bedingungen betrieben worden. Auch die Solarturm-Kraftwerke - hier existieren bereits mehrere Demonstrationsanlagen, die bekanntesten dürften die bereits im Versuchsbetrieb im Netzverbund eingesetzte Solar One (10 MW<sub>el</sub>) in Kalifornien sowie die mit deutscher Beteiligung errichtete Testanlage CESA-1 in Almeria/Spanien sein - und die Aufwind-Kraftwerke können vom Stand der technischen Entwicklung her als weitgehend anwendungsreif betrachtet werden. Allerdings bedarf es hier zusätzlicher, im Netzbetrieb eingesetzter Referenzanlagen, um einen breiteren Markt erschließen zu können.

Parabolrinnen-Anlagen, Solarturm-Anlagen und Dish/Stirling-Anlagen sind fertigungstechnisch und - mit Abstrichen bei den Dish/Stirling-Anlagen auch betriebstechnisch - vergleichsweise anspruchsvolle Systeme. Ein Großteil der Komponentenfertigung und wesentliche Teile der Montage vor Ort müßten derzeit durch spezialisierte Unternehmen aus Industrieländern erfolgen. Bei Turmanlagen könnten bspw. etwa 25% des Fertigungsumfangs von den Lieferländern erbracht werden (Schmidt-Göb 1995). Aufgrund ihrer meteorologischen und geografischen Standort-Anforderungen ist ein Betrieb dieser Anlagen vor allem im "Sonnengürtel" der Erde ( $\pm 40^\circ$ ) günstig zu realisieren. Mit Ausnahme von Teilen der USA und Australiens sowie des europäischen Mittelmeerraums liegen solche Standorte vor allem in Entwicklungs- und Schwellenländern. Derartige Anlagen könnten, ließen sie sich am Markt einführen und durchsetzen, ein beträchtliches Exportpotential für deutsche Unternehmen bieten. Dies gilt nicht nur für die solarspezifischen Anlagenteile (wie Reflektoren oder Receiver), die etwa die Hälfte bis zwei Drittel der gesamten Investitionskosten für solche Systeme ausmachen, sondern auch für Komponenten aus der konventionellen Energietechnik oder dem Anlagenbau (z.B Dampfturbinen, Generatoren oder die Regelungstechnik).

Das Aufwind-Kraftwerk nimmt unter den vier Konzepten eine gewisse Sonderstellung ein. Während bei den drei anderen Konzepten die Strahlung mittels Spiegeln konzentriert wird und darum solare Direktstrahlung erforderlich ist, kann im Aufwind-Kraftwerk auch die diffuse Strahlung der Sonne bei bedecktem Himmel genutzt werden. Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Betrieb ist aber ebenfalls eine hohe jährliche Einstrahlung ( $> 1700 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ). Das Aufwind-Kraftwerk ist aus industriepolitischer Sicht für Deutschland jedoch nicht

sonderlich attraktiv. Es ist technisch vergleichsweise einfach umzusetzen, der größte Teil der Wertschöpfung könnte im Standortland - auch wenn es ein Entwicklungsland ist - realisiert werden. Darum gibt es heute kein Exportinteresse aus den entwickelten Industrieländern (Eisenbeiß/Schlaich 1996).

Unter Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten sind derzeit solarthermische Kraftwerke - und hier vor allem die Parabolrinnen-Anlagen - gegenüber der Photovoltaik deutlich im Vorteil. Allerdings können auch solarthermische Kraftwerke gegenwärtig nur unter äußerst günstigen klimatischen Voraussetzungen und energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen kommerziell errichtet und betrieben werden. Eine Übersicht zu Projektentwicklungen für solarthermische Parabolrinnenkraftwerke für Projekte in Marokko, Griechenland, Mexiko, Indien, Irak und Israel (Nava 1995) zeigt, daß diese unter heutigen Bedingungen wirtschaftlich nicht konkurrenzfähig gegenüber fossil gefeuerten Kraftwerken neuester Bauart sind. Als Übergangslösung werden darum solarthermisch/fossile Hybridkraftwerke - mehrheitlich basierend auf der Technologie der Parabolrinnen-Anlagen - diskutiert. Dabei kann es sich um solarthermische Kraftwerke mit fossiler Zusatzfeuerung (wie bei den SEGS-Anlagen) oder um mit Erdgas und zusätzlicher solarer Dampfeinspeisung betriebene Gas- und Dampfturbinenkraftwerke (bekannt als ISCCS, Integrated Solar Combined Cycle System) handeln. Da die Einkopplung in den Dampfteil eines GuD-Kraftwerks betriebliche Probleme mit sich bringt (bei Wegfall der Einstrahlung läuft die Dampfturbine auf Teillast oder es muß mit schlechterem Nutzungsgrad zugefeuert werden), entwickelt man derzeit auch Systeme, bei denen die Strahlungsenergie auf hohem Temperaturniveau in die Gasturbine eingekoppelt werden kann. Dadurch kann der hohe Nutzungsgrad des GuD-Systems auch der Umwandlung der Solarenergie zugutekommen (Nitsch 1996).

Zwar ist bei den Hybridsystemen der Solaranteil geringer als bei reinen Solaranlagen, dafür sind sie auch für Mittel- und Grundlastbetrieb geeignet und lassen sich in der Regel leichter in die bestehenden Versorgungsstrukturen integrieren. Eine Analyse des Marktpotentials für fossil befeuerte Kraftwerke in Kopplung mit Solarthermie (Voigtländer 1995) ergab, daß der weltweite Markt für den solarthermischen Teil fossil befeuerter/solarthermischer Verbundkraftwerke etwa 2 bis 3% der weltweiten Auftragsvergaben an Dampfkraftwerken und GuD-Anlagen erreichen könnte. Interesse für solche Anlagen gibt es derzeit in den USA, Indien, Spanien sowie einigen Ländern Nordafrikas und des Nahen Ostens. Erste Projektstudien für eine SEGS-Anlage in Quarzazate/Marokko liegen bereits vor, eine weitere Untersuchung für eine ISCCS-Anlage an der im Bau befindlichen Euro-Maghreb-Erdgaspipeline ist - u.a. mit Unterstützung der

EU und der Weltbank - derzeit im Gange. Offen ist aber überall die Finanzierung der Mehrkosten gegenüber einer konventionell fossilen Lösung.

Mittel- und langfristig wäre zum einen eine Steigerung des solaren Anteils durch die Entwicklung und Ausrüstung von Anlagen mit effizienten thermischen Speichern vorstellbar. Zum zweiten könnten - nach weitgehender Deckung des regionalen Strombedarfs - solare Großkraftwerke im südlichen Mittelmeerraum auch für den Export von Solarstrom vor allem nach Europa errichtet und betrieben werden. Mit dem Bau einer Unterwasser-Stromkabelverbindung durch die Straße von Gibraltar werden in den nächsten Jahren die ersten infrastrukturellen Voraussetzungen dafür geschaffen.

Deutsche Forschungseinrichtungen, vor allem mehrere Arbeitsgruppen der Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR), sowie einige Unternehmen sind bereits seit geraumer Zeit auf dem Feld der solarthermischen Kraftwerke aktiv. Über umfangreiche Erfahrungen verfügt vor allem die Kölner Flachglas Solartechnik GmbH (FLAGSOL, seit kurzem umbenannt in Pilkington Solar International). Sie war bereits am Bau der kalifornischen SEGS-Anlagen beteiligt, wo sie rund 2 Mio. m<sup>2</sup> Parabolspiegel für 300 Mio. US-\$ zulieferte und somit zu einem Fünftel an den Gesamtinvestitionen partizipierte. FLAGSOL wollte zudem Solarkraftwerke nach dem SEGS-Prinzip für den Markt außerhalb der USA projektieren. Heute ist das Unternehmen an Studien für zukünftige Projekte beteiligt und ersetzt nach Bedarf Spiegel bei den kalifornischen Anlagen (Sauer 1996). Ebenfalls seit längerer Zeit stark engagiert - mit Schwerpunkt Dish/Stirling-Anlagen und Aufwindkraftwerke - ist das Stuttgarter Entwicklungsbüro Schlaich, Bergermann und Partner (SBP). Auch die SIEMENS-Tochter Interatom (heute SIEMENS/KWU Bergisch-Gladbach) war in größerem Umfang im Bereich der solarthermischen Kraftwerke aktiv.

Nach Erwartungen der FLAGSOL für **das Jahr 2005** ist weltweit bei Parabolrinnenkraftwerken von einer zusätzlichen **Leistung von rund 2000 MW** auszugehen. Bei solarthermischen Kraftwerken insgesamt ist bis auf weiteres nur das Potential eines Nischenmarktes zu erwarten, "allerdings in einer Größenordnung, der die Entwicklungen rechtfertigt" (Voigtländer 1995). Erst ein stark steigender Ölpreis läßt solarthermisch erzeugten Strom konkurrenzfähig werden. Zwar ist einer Potentialstudie von DLR/ZSW zufolge allein im Mittelmeerraum bei Einkoppelung in größere Verbundnetze ein technisches Potential von 130 GW anzusetzen. Momentan ist ein sich selbst tragender Markt für solarthermische Kraftwerke aber nicht absehbar. Letztlich liegt es an der Entscheidung der Länder, die aufgrund ihrer geografischen Lage für den Einsatz präde-

stiniert sind, ob eine verstärkte Nutzung dieser Technologie möglich sein wird (Otto 1995).

Der derzeitige Entwicklungsstand der Technik - die grundlegenden FuE-Arbeiten sind weit fortgeschritten, derzeitige Untersuchungen gelten eher einzelnen technologischen Schritten bzw. Komponenten - hat dazu geführt, daß die staatliche Unterstützung für die solarthermische Kraftwerkstechnik deutlich zurückgegangen ist. Zwar wurden und werden umfangreiche Machbarkeitsstudien finanziert, es fehlt derzeit aber an Mitteln für Versuchs- und Demonstrationsanlagen sowie für die weitere Markteinführung. Da es nahezu kein inländisches Marktpotential für derartige Anlagen gibt, hält sich die nationale Politik momentan weitgehend zurück. Um einen Verlust von in Deutschland vorhandenem Fertigungswissen und Produktionskapazitäten zu verhindern und den Markteintritt dieser Techniken - und insbesondere deutscher Anbieter dafür - zu erleichtern, könnte eine deutsche Beteiligung an einem im Ausland zu errichtenden Demonstrationsvorhaben in Betracht gezogen werden. Zu erwägen wäre zudem politische Unterstützung für eine stärkere Berücksichtigung von solarthermischen Kraftwerken in den EU-Infrastruktur-Programmen für den Mittelmeerraum oder in Projekten der internationalen Entwicklungshilfe. Für die deutsche Wirtschaft werden gute Chancen gesehen (Lübbert 1995), bei der Planung und Errichtung von Anlagen und durch den Export von Komponenten teilzuhaben.

Zur Zeit scheint ein Projekt im südlichen Europa gute Realisierungschancen zu besitzen (Leistung 50 MW). Voraussetzung ist eine Förderung aus dem Regionalfond der EU. Auch über die Weltbank werden möglicherweise Mittel aus dem "Global Environment"-Fond für die Errichtung von solarthermischen Kraftwerken zur Verfügung gestellt (eventuell in Mexiko, Marokko oder Indien; Hofmann 1995).

## **1.6 Wärmepumpen**

Wärmepumpen nutzen die in Boden, Wasser und Luft gespeicherte Energie. Diese sonst nicht nutzbare Energie wird bei niedriger Temperatur aufgenommen, mittels Energiezufuhr auf ein höheres Temperaturniveau angehoben und wieder abgegeben. Anwendungsfälle der Wärmepumpentechnik sind die elektrisch angetriebenen Kompressions-Wärmepumpen sowie gasbefeuerte Absorptions-Wärmepumpen zur Raumheizung und Warmwasserbereitung (Ein- und Zweifamilienhäuser) und gas- und dieselmotorbetriebene Kompressions-Wärme-

pumpen zur Versorgung größerer Gebäude (auch zentrale Wärmeversorgung kleinerer Siedlungen). Eine weitere Anwendung ist die Brüdenverdichtung bei der industriellen Abwärmenutzung (vgl. Günther-Pomhoff/Wagner 1995). Wärmepumpen können - das Funktionsprinzip ist mit dem der Kältemaschinen identisch - auch zur Kühlung, bspw. zur Raumklimatisierung, eingesetzt werden. Es ist möglich, Kälteleistung und Heizleistung gleichzeitig oder auch zeitlich verschoben (Heizung im Winter, Kühlung im Sommer zu nutzen).

Während in der Schweiz schon jedes vierte und in Österreich jedes elfte neu errichtete Einfamilienhaus die Wärmepumpenheizung nutzt, ist in Deutschland die "breitere Anwendung der Wärmepumpen ins Hintertreffen geraten" (Schaefer 1995). Insgesamt sind zur Zeit rund 60.000 Heizungs-Wärmepumpen und etwa 280.000 Warmwasserbereitungs-Wärmepumpen installiert (Meliß 1995). Die technisch möglichen Potentiale für die Anwendung von Wärmepumpen in Deutschland sind beachtlich (näherungsweise ca. 400 bis 500 PJ/Jahr, d.h. bezogen auf den Endenergieverbrauch rund 4 bis 5%), das wirtschaftliche Potential wird zur Zeit jedoch für die meisten Einsatzgebiete als gering eingeschätzt bzw. auf Fälle beschränkt, in denen sehr günstige Randbedingungen existieren (kostengünstige Wärmequellenerschließung, monovalenter Betrieb, Neubauten, siehe BMWi 1994). Das sogenannte Erschließungspotential, abgeleitet aus Fördermaßnahmen sowie volkswirtschaftlichen Forderungen des Umweltschutzes und der Ressourcensicherung, wird auf 0,7 bis 3,6 PJ/a beziffert (Laue 1995a). Auch die Enquête-Kommission des Deutschen Bundestages "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" sowie die Energieprognose der Prognos AG (1996; Hinweis auf die hohen Systemkosten) erwarten bis 2005 unter den gegebenen Rahmenbedingungen (keine steigenden Energiepreise) keinen deutlichen Zuwachs der Wärmepumpennutzung. Hinzu kommen insbesondere im Falle der elektrisch betriebenen Wärmepumpe Akzeptanzprobleme.

Laut Meliß (1995) zeigt der inländische Markt für Wärmepumpen (hier insbesondere Heizungs-Wärmepumpen und Warmwasserbereitungs-Wärmepumpen) sinkende, in Einzelfällen bestenfalls stagnierende Tendenz (u.a. Konkurrenz durch Brennwertgeräte). Nach Aussagen des Informationszentrums Wärmepumpen und Kältetechnik Karlsruhe (IZW 1995) arbeiten die heute von verantwortungsbewußten Herstellern angebotenen Wärmepumpenanlagen zuverlässig und betriebssicher. Eine Belebung des Wärmepumpenmarktes bringen möglicherweise die neuen Förderrichtlinien des Bundesministeriums für Wirtschaft, die Maßnahmen der Länderregierungen sowie der überregionalen und regionalen Energie-Versorgungsunternehmen. Der hohe Standard der "Wärmepumpenindustrie", das zunehmende Umweltbewußtsein der Bevölkerung und die För-

derrichtlinien bieten im Inland gute Voraussetzungen, mit der Wärmepumpe einen Beitrag zur Einsparung importierter Energieträger und zur Minderung der Klimagas-Emissionen zu leisten (vgl. Laue 1995b; siehe auch IEA 1994a sowie FIZ 1994).

Aussagen zu künftigen Entwicklung des Außenhandels können mangels aktueller Statistiken nur spekulativ bleiben (Keller/Laroche 1991: Daten bis 1990). Bereits Ende der achtziger Jahre und zu Beginn der neunziger Jahre hatte der Außenhandel für Wärmepumpenhersteller und -Händler eine größere Bedeutung als der Inlandsmarkt (siehe DIW/ISI 1991; Exporte von Kompressionswärmepumpen meist nach Österreich und in die Schweiz). Insbesondere in den kleinen Leistungsklassen hatten es deutsche Hersteller aber schwer, sich gegenüber ausländischen Konkurrenten mit solidem Absatzpotential im Inland zu behaupten.

Um einen höheren Anteil der Wärmepumpen am inländischen Wärmemarkt zu erreichen, wurde in Bayern, ausgehend von sechs großen Energieversorgungsunternehmen, ein Initiativkreis Wärmepumpe, IWP, gegründet mit dem Ziel, umfassende und objektive Informationen über die realistischen Möglichkeiten der Wärmepumpe zur Energieeinsparung und Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen zu geben (Vorbild: Initiativen zur Marktentwicklung in der Schweiz und in Österreich). Auch Fragen wie Qualitätsmanagement und Garantie spielen hierbei eine große Rolle. Die Öffentlichkeitsarbeit und Werbung für die Wärmepumpen-Technologie wurde verstärkt (Flade 1995).

Experten erwarten (vgl. Überblick bei Laue 1995a), daß die Entwicklungen in Richtung "Niedrigenergiehaus" auf lange Sicht die wirtschaftlichen Einsatzmöglichkeiten der Wärmepumpen verbessern werden ebenso wie der Einsatzbereich der Wärmerückgewinnung (z.B. Industrieabwärme, Wohnungslüftung). Verwiesen wird auch auf den hohen deutschen Standard der Forschung und Entwicklung bei alternativen Kältemitteln (FCKW-Halon-Verbotsverordnung). Bei Ersatzlösungen (z.B. Propan als Kältemittel) besteht aber ebenso noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf wie bei direkt mit fossilen Brennstoffen angetriebenen Wärmepumpen. Im Gegensatz zu den USA und Japan, wo mit Unterstützung der Gasindustrie ein beachtlicher Markt für gasbetriebene Wärmepumpen entstanden ist, wird diese Entwicklung in Deutschland momentan noch unterbewertet (Laue 1995b). Fazit einer VDI-Tagung zu Wärmepumpen im Jahre 1995 war unter anderem die Aussage, daß (erst einmal im Inland) einfache und wirtschaftliche Lösungen benötigt werden, die sowohl Installateure (Handwerksbereiche Kälte, Heizung und Elektro) als auch Kunden überzeugen. Erst

dann sollten auch Auslandsaktivitäten für Anlagen aus heimischer Produktion eine höhere Priorität bekommen als heute.

## 1.7 Biomasse

Im Unterschied zu den anderen hier betrachteten erneuerbaren Energieträgern lassen sich die Umwandlungsmöglichkeiten von Biomasse in Endenergien nicht auf einige wenige technische Linien reduzieren. Dies ist zum einen dadurch bedingt, daß unter dem Oberbegriff "Biomasse" viele Pflanzenarten (Stärke- und Zuckerträger wie Stärkekartoffeln oder Zuckerrohr, Ölpflanzen wie Raps und Lignozellulosepflanzen, z.B. Holz) sowie pflanzliche und tierische Reststoffe subsumiert werden, die unterschiedliche Umwandlungsprozesse ermöglichen und verschiedene Anforderungen an deren Gestaltung stellen. Zum zweiten bieten sich mehrere grundsätzlich verschiedene Verfahren zur energetischen Nutzung von Biomasse an: Neben der direkten Verbrennung (für Heizzwecke und/oder zur Stromerzeugung) lassen sich aus Biomasse durch physikalische (Verdichtung, Zerkleinerung, Abpressen), thermochemische (Vergasung, Verflüssigung, Umesterung) und biologische (alkoholische oder Biogas-Fermentation) Prozesse auch feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe gewinnen, die ihrerseits wiederum Gegenstand unterschiedlicher energetischer Nutzungen sein können.

Im Rahmen dieser Untersuchung war es anhand der zur Verfügung stehenden Datenbasis (sowohl Produktions- als auch Außenhandelsstatistik) nicht möglich, detaillierte, auf Statistiken basierte Untersuchungen zum Exportgeschehen bei den "Biomasse-Techniken" vorzunehmen. Ungeachtet dessen soll hier deskriptiv eine Einschätzung der Exportpotentiale versucht werden.

Die Verbrennung fester Biomasse ist weltweit die wichtigste Nutzung biogener Energien. Traditionell wird feste Biomasse seit Jahrtausenden - meist mit einfachsten technischen Mitteln - zum Kochen, zum Heizen und zur Beleuchtung genutzt. Die notwendigen Brennstoffe, bspw. Brennholz, Holzkohle, Stroh sowie pflanzliche und tierische Rückstände, werden häufig durch die Verbraucher selbst gewonnen oder gesammelt und nicht gehandelt. Diese sogenannten nicht-kommerziellen Energieträger entziehen sich darum weitgehend einer statistischen Erfassung, die Bedeutung der traditionellen Biomassenutzung für die Energieversorgung kann bis heute nur geschätzt werden. Mit der wachsenden Verfügbarkeit fossiler Brennstoffe hat die Energiegewinnung aus traditioneller

Biomasse in den industrialisierten Ländern drastisch an Bedeutung verloren, für viele Entwicklungsländer ist sie aber weiterhin wichtigster Energieträger. Der Beitrag der traditionellen Biomasse zur weltweiten Energieversorgung liegt nach unterschiedlichen Schätzungen zwischen 10 und 15%, für die Entwicklungsländer wird der Anteil am Gesamtenergieverbrauch auf etwa ein Drittel geschätzt. In vielen der ärmsten Ländern der Erde werden mehr als 75% des Energieverbrauchs durch traditionelle Biomasse gedeckt.

Traditionelle Biomasse wird häufig in offenen Feuerstellen verbrannt, die Effizienz der Energienutzung ist gering. Mit wachsender Bevölkerung und dem Trend zur Urbanisierung wird die Brennstoffbeschaffung für die Nutzer zunehmend schwieriger und aufwendiger (Stichwort "Brennholzkrise"). Aus diesem Grunde ist das Einführen und Etablieren effizienterer Umwandlungstechniken seit geraumer Zeit Gegenstand von Entwicklungshilfeprojekten. Diese Techniken sind auf vergleichsweise niedrigem technischen Niveau, zudem setzt man aus entwicklungspolitischen Gesichtspunkten und aus Kostengründen auf eine Herstellung vor Ort. Darum werden sie für deutsche Exporte wohl keine Rolle spielen.

In den letzten Jahrzehnten wurden neue Techniken zur energetischen Nutzung biogener Stoffe entwickelt, bei denen vor allem Reststoffe der industrialisierten Land- und Forstwirtschaft, der Nahrungsmittelindustrie sowie speziell angebaute Energiepflanzen eingesetzt und mittels aufwendiger, häufig auch großtechnischer Verfahren in Endenergieträger umgewandelt werden. Diese werden als moderne Biomassetechniken bezeichnet und finden derzeit vor allem in Industrie- und Schwellenländern Anwendung. Ihr Beitrag an der globalen Energieversorgung liegt nach Daten des WEC gegenwärtig bei 1%. Derartige Techniken sind auch in Deutschland entwickelt und umgesetzt worden, ihre Möglichkeiten und Grenzen sollen im folgenden detaillierter dargestellt werden.

Gerade in der inländischen Biomassenutzung sind, mit Ausnahme von Industrierestholz sowie Klär- und Deponiegas, die Unterschiede zwischen dem technischen Potential und der tatsächlichen Nutzung sehr groß. Nach jüngsten Angaben der Bundesregierung wird das gesamte Biomassepotential in Deutschland auf rund 780 PJ/Jahr geschätzt, womit rund 5,5% des gesamten Primärenergieverbrauchs in Deutschland gedeckt werden könnten. Momentan werden rund 100 PJ/Jahr genutzt (Technologie-Nachrichten, 30.1.1996).

## Verbrennung von fester Biomasse

An der Nutzung biogener Festbrennstoffe besteht in Deutschland seit einigen Jahren wieder ein stetig steigendes Interesse. Bis vor kurzem wurde die Entwicklung in diesem Bereich hauptsächlich von privaten und kleingewerblichen Betreibern getragen, in jüngster Zeit zeigen auch industrielle und staatliche Stellen verstärktes Interesse. Grundsätzlich bietet sich in diesem Bereich für den Maschinen- und Anlagenbau und hier insbesondere für den Feuerungsanlagenbau eine Vielzahl von Marktchancen und Möglichkeiten im In- und Ausland.

Die Energieerzeugung aus der Verbrennung von Restholz ist die bedeutendste Nutzung biogener Energie in Deutschland. Holzabfälle, vor allem Wald- und Industrierestholz sowie Altholz und Verpackungsmaterial werden seit langem zur Erzeugung von Heiz- und Prozeßwärme, in wachsendem Maße auch zur Stromerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen genutzt. Im Bereich der Holzverbrennung waren 1994 in Deutschland 40 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 50 MW registriert (Grawe/Wagner 1995) Die Zahl der Holzfeuerungsanlagen mit einer thermischen Leistung über 1 MW dürfte weit über 1.000 liegen, jährlich werden ca. 150 Anlagen dieser Leistungsklasse abgesetzt. Hinzu kommen noch geschätzte 500.000 Anlagen mit geringerer Leistung. Die Verbrennung von Stroh spielt hingegen gegenwärtig nahezu keine Rolle. Neben einem Strohheizwerk in Schkölen/Thüringen (thermische Leistung 3 MW) dürfte nur eine kleine Zahl (wenige Tausend) strohgefeuerter Heizanlagen, vor allem im unteren Leistungsbereich existieren.

Eine Marktstudie der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik der TU München-Weihenstephan aus dem Oktober 1995 (Hartmann 1995) weist 141 auf dem deutschen Markt anbietende Unternehmen nach. Davon sind 76 deutsche und 65 ausländische (darunter 33 aus Österreich, 16 aus der Schweiz und 8 aus Dänemark) Hersteller. Der dominierende Brennstoff ist Holz, Energiepflanzen und Stroh spielen derzeit nur eine untergeordnete Rolle. Zahlenmäßig überwiegen die Einzelfeuerungen (ca. 180.000 abgesetzte Einheiten mit einer Gesamtleistung von mehr als 1.300 MW), Zentralheizsysteme werden in Deutschland jährlich etwa 17.000 Einheiten mit ca. 1.100 MW Gesamtleistung verkauft. Das Gesamtvolumen des Marktes hat sich zwischen 1992 und 1994 nicht signifikant geändert, allerdings gibt es deutliche Verschiebungen zwischen den Leistungsklassen: Merkliche Zuwächse gab es vor allem bei den größeren Anlagen mit Leistungen von mehr als 100 kW und hier vor allem in der Leistungsklasse > 1 MW.

Insgesamt schätzen die Hersteller die weitere Marktentwicklung optimistisch, wobei bei den Zentralheizsystemen deutlich größere Zuwächse als bei den Einzelfeuerstätten erwartet wird. Hemmnisse für eine verstärkte energetische Nutzung von biogenen Festbrennstoffen sehen die Hersteller vor allem in mangelnden Kenntnissen über die Möglichkeiten der Biomassenutzung sowie in ihrer geringen Wirtschaftlichkeit. Weitere Hemmnisse liegen in den oft nicht gegebenen baulichen Voraussetzungen für Feuerung und Brennstofflagerung sowie im, verglichen mit anderen Energieträgern, geringeren Komfort der Brennstoffnutzung.

In ihrer Antwort auf eine Kleine Anfrage im Deutschen Bundestag betonte die Bundesregierung, daß insbesondere eine verstärkte energetische Holznutzung aus forstlicher als auch aus umweltpolitischer Sicht vorteilhaft sei (Technologie-Nachrichten, 30.1.1996). Auch nach Ansicht der VDEW (Grawe/Wagner 1995) ist zu erwarten, daß "die Nutzung von Holz und anderen festen Brennstoffen sich in den kommenden Jahren bedeutsam ausweitet", wobei die ausschließliche Wärmenutzung im Vordergrund stehen werde.

Zukunftschancen in Deutschland werden mittelfristig besonders für KWK-Anlagen mit einer Feuerungsleistung zwischen 2 und 50 MW gesehen. Diese könnten bei andauernder Gültigkeit des Stromeinspeisungsgesetzes und bei kostengünstiger Bereitstellung der Energieträger eine wirtschaftliche Alternative zu fossilen Anlagen darstellen. Für die Holzverbrennung sind die notwendigen Techniken weitgehend vorhanden, auch ist ein Überschreiten der Wirtschaftlichkeitsschwelle wegen der weniger aufwendigen Verbrennungstechnik hier eher zu erwarten als für die Nutzung von Stroh, bei der zudem noch großer Entwicklungsbedarf existiert.

Auch international wird die technisierte Verbrennung fester Biomasse eine wachsende Rolle spielen. Vor allem Holzreste sowie agrarische Reststoffe und Rückstände der Nahrungsmittelproduktion werden für eine direkte Verbrennung genutzt werden. Der Anbau von Energiepflanzen wird in absehbarer Zeit wohl nur in Ländern mit hohen Überkapazitäten in der Landwirtschaft eine Rolle spielen, in den anderen Ländern wird der Nahrungsmittelanbau höhere Priorität besitzen. Vor allem holzreiche Länder sowie solche mit großem Reststoffanfall aus einer industrialisierten Land- und Forstwirtschaft, vor allem in Lateinamerika, Skandinavien, Nordamerika und den Staaten der ehemaligen Sowjetunion, sind potentiell starke Nachfrager derartiger Techniken.

Deutsche Unternehmen sind derzeit vor allem im Bereich der Kleinanlagen aktiv, bei den größeren Anlagen (> 1 MW) sind vor allem ausländische Unternehmen stark vertreten. In Österreich ist die Hackschnitzelfeuerung weit ent-

wickelt. Im Falle von Strohheizwerken haben insbesondere dänische und schwedische Firmen große Erfahrungen gesammelt (Hartmann/Strehler 1995) und zweifellos einen Wettbewerbsvorteil.

### **Vergasung und Verflüssigung von fester Biomasse**

Unter Vergasung wird hier - im Unterschied zur Erzeugung von Biogas - die thermische Umsetzung fester Biomasse in ein brennbares Gas verstanden. Dafür sind verschiedene Verfahren bekannt. Bei Vergasung mit Luft entsteht das sogenannte Schwachgas oder Generatorgas. Dieses läßt sich entweder direkt verbrennen oder in Verbrennungsmotoren umsetzen, wozu spezielle Schwachgasmotoren und eine intensive Gasreinigung erforderlich sind. Bei Verwendung von Sauerstoff und Dampf als Vergasungsmittel läßt sich aus Holz und anderen festen Brennstoffen aus Pflanzen auch das sogenannte Synthesegas herstellen, daß sich vom Schwachgas durch den höheren Heizwert unterscheidet. Die Synthesegasherstellung mit relativ hohen Konzentrationen an Wasserstoff und CO im Gas ist die Voraussetzung für die Herstellung von Methanol oder Wasserstoff aus festen Biomassebrennstoffen.

Zur Vergasung von Biomasse gibt es zur Zeit noch keine wirtschaftliche BHKW-Anlage, bestehende Anlagen sind teurer als die unmittelbare Verbrennung von z.B. Rest- und Abfallholz und gelten zum Teil als noch nicht betriebs- und umwelttechnisch ausgereift (Schnell 1995). Nach verstärkten Entwicklungsaktivitäten vor allem im Bereich der Holzvergasung werden zur Zeit in Deutschland Modell-Vorhaben zur dezentralen Stromgewinnung durchgeführt oder geplant. Insbesondere die Hersteller kleiner Anlagen (unter 1 MW Feuerungsleistung) müssen unter Beweis stellen, daß ihre Anlagen im Dauerbetrieb, vollautomatisiert und überwachungsfrei arbeiten und die gültigen Emissionsgrenzwerte eingehalten werden. Sollte es gelingen, einen Prototyp herzustellen, ist mit einer relativ schnellen Marktdurchdringung im In- und Ausland vor allem in solchen Bereichen zu rechnen, wo geeignete Reststoffe bereits anfallen (ein Zukaufen von Brennstoffen würde die Wirtschaftlichkeitsschwelle zusätzlich anheben). Hemmnisse bei potentiellen Zielgruppen, die aus wirtschaftlichen Gründen nicht investieren können, könnten durch Contracting zum Teil beseitigt werden.

In Modellvorhaben geplant ist die "allotherme" Vergasung (unter Zuführung von externer Energie) von Biomasse, z.B. Abfallstroh, Holzreste, Energiepflanzen, und die Nutzung des entstehenden Gases zur Stromerzeugung ("Electro-

farming") in den nächsten Jahren. Dieses Konzept geht davon aus, daß vor allem landwirtschaftliche Betriebe in flächenreichen Regionen selbst erzeugte Biomasse vergasen, außerdem ist das Verfahren überall dort günstig, wo Biomasse dezentral anfällt (z.B. Holzabfälle; Jungwirth 1995) und man dadurch in der Lage ist, benötigte Wärme und Strom zu erzeugen. Zur Nutzung des wasserstoffreichen, durch Reforming hergestellten Gases denkt man auch an eine Hochtemperatur-Brennstoffzelle, deren Entwicklung allerdings noch einige Zeit erfordern wird. Zunächst dürfte der Einsatz der BHKW wegen der einfachen Gasreinigung zum Zuge kommen. Die DASA verfolgt den Einsatz der Brennstoffzelle sehr intensiv (Gomes et al. 1995), weil hier längerfristig aufgrund der technologischen Gegebenheiten Kostenvorteile gesehen werden.

Mögliche Abnehmerländer für Vergasungsanlagen zur Stromerzeugung sind holzreiche Länder sowie solche mit großen landwirtschaftlichen Flächen wie zum Beispiel Argentinien, Brasilien, die USA (mittlerer Westen), Kanada, Frankreich sowie Neuseeland.

Durch Methanolsynthese nach vorgeschalteter Vergasung, durch Hydrierung, mittels einer chemischen Reduktion mit Einsatz eines Vergasungsmittels sowie durch schnelle Pyrolyse lassen sich aus fester Biomasse auch flüssige Brennstoffe erzeugen, die vor allem für den mobilen Einsatz und zur dezentralen Stromerzeugung eingesetzt werden sollen, sich aber prinzipiell auch thermisch verwerten lassen. Die Verflüssigung hat bislang nur untergeordnete praktische Bedeutung erlangt, bei den beiden letztgenannten Verfahren verhindert die mindere Qualität der Pyrolyseöle eine Kommerzialisierung der Verfahren. Die Zukunft der Verflüssigung von Biomasse wird kontrovers diskutiert; während einige Autoren ein zunehmendes Interesse an der Integration solcher Techniken in einen entsprechenden Verfahrensablauf erwarten (z.B. Hartmann/Strehler 1995), erachten andere Experten die Verflüssigung auch in absehbarer Zeit für nicht aussichtsreich (z.B. Wintzer et al. 1993).

### **Bereitstellung und Nutzung von flüssigen Brennstoffen aus Biomasse**

Biogene Flüssigbrennstoffe lassen sich vor allem als Treibstoffe, aber auch zur Strom- und Wärmeerzeugung nutzen. Sie stammen hauptsächlich aus öl-, kohlenhydrat- und zellulosehaltigen Pflanzen. Zur Nutzung als Treibstoff werden vereinfacht dargestellt - zwei grundsätzliche Wege beschränkt: Zum einen wird mit vergleichsweise geringem Aufwand (die Gewinnung von Rapsöl bspw. kann sich größtenteils auf mechanische Verfahren beschränken) ein flüssiger Stoff

erzeugt, der in entsprechend angepaßten Motoren (z.B. "Elsbett-Motor", s.u.) eingesetzt werden kann. Der aber in der Regel beschrittene Weg geht davon aus, daß ein Kraftstoff (Alkohol oder Pflanzenöl-Methylester) erzeugt werden soll, der mit nur geringem oder ohne Anpassungsaufwand in einem konventionellen Verbrennungsmotor genutzt werden kann. Dies setzt jedoch technisch anspruchsvolle biologische bzw. chemische Verfahrensschritte voraus.

In Europa werden mehrere Verfahren zum Erzeugen von für konventionelle Motoren geeignete **Biotreibstoffe** praktiziert bzw. untersucht. Der - auch kommerziell umgesetzte - Schwerpunkt liegt auf der "Umesterung" von Pflanzenölen. Die erzeugten Pflanzenölester (z.B. Rapsölmethylester, RME) sind hinsichtlich einiger Kraftstoffeigenschaften dem Dieselkraftstoff sehr ähnlich, sie eignen sich daher auch für konventionelle Dieselmotoren mit Direkteinspritzung. Derartige Kraftstoffe können heute bereits an zahlreichen Tankstellen erworben werden. Alternativ zur Umesterung kann man Rapsöl mit Mineralölprodukten abgemischt in Raffinerieanlagen verarbeiten (was mit deutlich geringeren Kosten als die Umesterung verbunden ist) oder Rapsöl durch Zumischung anderer Bestandteile für eine Verbrennung in konventionellen Dieselmotoren geeignet machen. Zu beiden letztgenannten Verfahren liegen bislang jedoch nur wenige Praxiserfahrungen vor.

Durch Vergärung lassen sich aus Pflanzen **Alkohole** gewinnen. Die Ethanolherstellung ist aus zuckerhaltigen Pflanzen, mit größerem Aufwand auch aus stärkehaltigen oder zellulosehaltigen Pflanzen möglich. Für die Verwertung von reinem Ethanol kommen veränderte Otto- und Dieselmotoren zum Einsatz, wobei Ottomotoren weitaus überwiegen. Die notwendigen konstruktiven Änderungen der Ottomotoren beziehen sich im wesentlichen auf die Gemischbildung, die Erhöhung der Verdichtung sowie die Kaltstartfähigkeit. Motortechnisch weniger aufwendig ist die Beimischung von Bioalkoholen zu fossilen Kraftstoffen. Allerdings wird dazu eine Absolutierung, d.h. eine Erhöhung der unter atmosphärischen Bedingungen möglichen 96%-igen Ethanolkonzentration erforderlich. Außerdem ist durch europäische Normung der mögliche Beimischungsanteil von Bioalkoholen begrenzt, er beträgt 5% für Ethanol und 3% für Methanol. Für eine energetische Verwertung von Bioalkohol ist auch eine Umwandlung zu Ethyl-Tertiär-Butylether (ETBE) denkbar. Dieser Stoff hat die Eigenschaft, die Oktanzahl des Kraftstoffes zu erhöhen, womit er als Additiv in Frage kommt.

Zahlreiche Untersuchungen (z.B. Wintzer et al. 1993, Throe 1995, Hartmann/Strehler 1995) ergaben, daß die thermischen Verfahren zur energetischen Biomassenutzung (inklusive eventuell anschließender Verstromung) bei den in Mitteleuropa in Frage kommenden Kulturen wettbewerbsfähiger sind als die

Verfahren zur Gewinnung von flüssigen Biotreibstoffen. Die Gesteungskosten von Biotreibstoffen liegen auch deutlich über denen der flüssigen fossilen Brennstoffe, was die Marktnachfrage deutlich begrenzt. Ungeachtet dessen bestehen auch in Zukunft Potentiale in Deutschland: Biotreibstoffe gelten als umweltfreundlich und klimaverträglich, woraus eine gewisse Nachfrage bei Teilen der Bevölkerung erwächst. Zudem reduzieren staatliche Förderungen und Stützungsmaßnahmen - als Alternative zur Flächenstilllegung - die Kosten der Biotreibstoffe.

Auch international gelten die Potentiale von flüssigen Biobrennstoffen in absehbarer Zeit als begrenzt. Zwar sind die Umwandlungstechniken weitgehend entwickelt, ihre Durchsetzung auf dem Markt scheiterte aber bisher an der nicht gegebenen Wirtschaftlichkeit, nicht zuletzt wegen der hohen Gesteungskosten der Energiepflanzen. Nur in Ausnahmefällen (z.B. volkswirtschaftlich motivierte Interessen der Entlastung der Außenhandelsbilanz durch Reduktion von Brennstoffimporten, weitgehend vorhandene Infrastruktur für Anbau und Verarbeitung geeigneter Energiepflanzen) haben Biotreibstoffe bislang größere Bedeutung erlangen können. Bei der deutschen Industrie existieren umfangreiches Verfahrenswissen sowie hohe Kompetenz im Chemieanlagenbau, so daß von einer verstärkten Nutzung von Biomasse als Flüssigbrennstoff auch deutsche Hersteller profitieren könnten.

Die Entwicklung spezieller biotreibstoffgeeigneter Motoren hat bisher nicht zu marktgängigen Produkten geführt, da seitens der potentiellen Anbieter der Entwicklung von für die Nutzung in eingeführten Motorenkonzepten geeigneten Treibstoffen und geringfügigen Modifikationen am Motor der Vorzug gegeben wurde. Deutsche Unternehmen haben sich dennoch in diesem Bereich engagiert. Unter dem Namen "Elsbett-Motor" wurde die Entwicklung und Kleinfertigung eines Pflanzenöl-Motors (direkteinspritzendes Diesellaggregat) in Deutschland realisiert. Auch andere Motorkonzepte für Pflanzenölbetrieb, bspw. Vorkammer- und Knickpleuelmotoren, befanden bzw. befinden sich in der Entwicklung und Erprobung. Ein Erprobungsvorhaben der Volkswagen AG zielt auf die Entwicklung von Mehrkraftstoffmotoren, die Benzin und Alkohole in unterschiedlichen Mischungsverhältnissen nutzen können.

### **Bereitstellung und Nutzung von Biogas**

Biogas ist ein Gemisch aus verschiedenen Stoffwechselprodukten von Methanbakterien, das beim biochemischen Abbau organischer Stoffe im feuchten Mil-

lieu und unter Luftabschluß entsteht. Neben den bereits in der Abfall- und Abwasserwirtschaft üblichen Anlagen zur Gewinnung von Deponie- und Faulgas fällt Biogas vor allem in der Landwirtschaft an. Hier liegt auch das mit Abstand größte Biogaspotential. Die heute übliche landwirtschaftliche Biogas-Verfahrenstechnik wurde aus der Abwassertechnik entwickelt.

Biogas läßt sich direkt thermisch nutzen, es können aber auch Verbrennungsmotoren damit betrieben werden, so daß eine Stromerzeugung oder eine kombinierte Wärme-Stromerzeugung im Blockheizkraftwerk möglich sind. Vor der energetischen Nutzung von Biogas ist in der Regel das Durchlaufen einer Gasreinigungsstufe sinnvoll, bei Gasnutzung in Verbrennungsmotoren und Turbinen ist eine Entschwefelung unverzichtbar.

Biogasnutzung ist heute Stand der Technik. Zur Stromerzeugung mit Einspeisung ins öffentliche Netz wurden in Deutschland 1994 über 500 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 225 MW betrieben; davon nutzten etwa 100 mit zusammen 4 MW Leistung Güllegas, ca. 250 mit insgesamt 102 MW arbeiteten auf der Basis von Klärgas und 160 Anlagen mit 119 MW auf der Basis von Deponiegas (Grawe/Wagner 1995). Daneben existiert noch eine nicht genau erfaßte Zahl von Anlagen, die ausschließlich für den Eigenbedarf bzw. nur zur Wärmeerzeugung arbeiten. Während Klärgas- und Deponiegasanlagen wegen der in der Regel (Ausnahme: ältere Deponien) vorhandenen Systeme der Gaserfassung wirtschaftlich wettbewerbsfähig gegenüber Anlagen auf fossiler Basis sind, gilt dies für die wirtschaftliche Erzeugung von Biogas aus Gülle, Mist oder Biomüll selbst unter Einbeziehung der Vergütungen des Stromeinspeisungsgesetzes nur in günstigen Fällen.

Allerdings ist auch für die Produktion und den Außenhandel von Motoren bzw. BHKW-Anlagen, die mit Biogas (verschiedener Provenienz: Deponiegas, Klärgas, Güllegas, Holzgas, z.B. auch als Zusatzbrennstoff) betrieben werden, die Datensituation nur rudimentär. Jedoch ist zu erwarten, daß durch verstärkte nationale und europäische Maßnahmen zum Umwelt- und Klimaschutz (Abwasserreinigung, Klär-, Deponie- und Biogas) europaweit ständig neue Absatzpotentiale für Biogas-Motoren entstehen werden. Motive sind die Entlastung der Vorfluter, die Klärschlamm Entsorgung, die Vermeidung von Methanemissionen der Deponien aus Klimaschutzgründen bzw. der umweltgerechten Entsorgung von Gülle.

## 1.8 Geothermie

Die Temperaturen im Erdinneren sind mit Werten zwischen 3.000°C und 10.000°C deutlich höher als an der Erdoberfläche. Die im Erdinneren gespeicherte Wärme würden theoretisch ausreichen, den derzeitigen Weltenergiebedarf für 100 Mrd. Jahre zu decken (BGR 1995). Allerdings beträgt der normale Wärmegradient der äußeren Erdschichten, die sogenannte geothermische Tiefenstufe, in Europa im Mittel etwa 0,03 K/m; d.h. mit einer Tiefe von 30 m wächst die Temperatur um 1°C. Für eine Nutzung dieses Potentials müssen also in der Regel vergleichsweise große Tiefen erschlossen werden, für normale Raumheizungssysteme liegen diese bei 1 bis 2 km. Das theoretisch nutzbare Potential der Geothermie macht ein Vielfaches des heutigen Weltenergieverbrauchs aus. Vor allem die Lage der Vorkommen, relativ hohe Investitionskosten (bei derzeit niedrigen Preisen für fossile Energieträger) sowie die Fündigkeitsrisiken verlangsamen jedoch eine stärkere Nutzung dieser Energiequelle.

Derzeit konzentriert sich die Nutzung der geothermischen Energie auf die Gebiete sogenannter geothermischer Anomalien. Hier reicht das Magma vergleichsweise nahe an die Erdoberfläche heran, was zu einer deutlich höheren Erwärmung des Gesteins oder von im Gestein eingeschlossenen Wasser bzw. Wasserdampf führt. Beispiele dafür sind vulkanische Zonen, wo Temperaturen bis 1.000 °C bereits im oberflächennahen Bereich beobachtet werden; junge Krustengebiete (z.B. Island) mit Temperaturen von 1000°C in einigen hundert Metern Tiefe oder andere Geothermikfelder (z.B. Larderello/Italien, in Kalifornien oder Neuseeland), wo Temperaturen um 300°C bereits in 1 bis 2 km Tiefe auftreten. Die Erdwärme wird sowohl zur Stromerzeugung in geothermischen Kraftwerken als auch zu Heizzwecken, beispielsweise bei Thermalbädern oder für Raumheizungen und landwirtschaftliche Betriebe eingesetzt.

Je nach geologischen Gegebenheiten und Aufkommen unterscheidet man bei der Geothermie drei Arten technischer Nutzung dieser erneuerbaren Energiequelle:

- dezentrale Wärmergewinnung durch **erdgekoppelte Wärmepumpen** (starke Verbreitung in der Schweiz und in Nordamerika und als oberflächennahe Geothermie bezeichnet),
- **Gewinnung hydrogeothermischer Wärme für Heizzentralen und Kraftwerke** sowie
- **"Hot-Dry-Rock"-Systeme zur Strom- und Wärmeerzeugung**, die heiße Gesteine im tiefen Untergrund als Energiequelle nutzen.

Es existieren zahlreiche Varianten sowie Übergänge zur jeweils anderen Nutzungsart.

Die jährlichen Wachstumsraten auf dem globalen geothermischen Markt werden auf rund 10% geschätzt (Bußmann 1996b).

### **Erdgekoppelte Wärmepumpen**

Erdgekoppelte Wärmepumpen nutzen im Boden gespeicherte Wärme als Energiequelle. Die Zuordnung dieser Energie zu ihren natürlichen Quellen (in geringen Tiefen ist im Boden vor allem Sonnenenergie gespeichert, tiefer liegende Energie ist Erdwärme) ist schwierig, darum wird die methodische Abgrenzung von den die Umgebungsenergie nutzenden Wärmepumpen nicht einheitlich durchgeführt und häufig auch nicht explizit angegeben. Statistische Aussagen zu erdgekoppelten Wärmepumpen lassen sich deshalb in der Regel nicht eindeutig nach den jeweiligen Energiequellen aufschlüsseln. Oberflächennahe geothermische Systeme können nicht nur zur Raumheizung genutzt werden, sie lassen sich zudem gegenüber konventioneller Technik extrem preiswert und FCKW-frei zur Raumklimatisierung einsetzen, da - weil die benötigten Kühltemperaturen unmittelbar dem Erdreich entzogen werden können und nur im Gebäude umgewälzt werden müssen - aufwendige Kühltechnik entfallen kann.

Etwa 6 bis 10% der in Deutschland betriebenen knapp 90.000 Wärmepumpen nutzen das Erdreich als Wärmequelle. Zwischen 2000 und 3000 Anlagen nutzen vertikale Erdwärmesonden, der Rest - die überwiegende Anzahl - horizontale Kollektoren. Die Heizleistung der Anlagen beträgt meist zwischen 15 und 25 kW. In Deutschland stehen sowohl know-how als auch Hardware und Produktionskapazitäten für solche Systeme zur Verfügung, bislang ist eine Umsetzung im Markt - vor allem aufgrund fehlender wirtschaftlicher Anreize auf dem Binnenmarkt - nur in geringem Umfang erfolgt. Vom Markteinführungsprogramm des BMWi erhofft man sich eine Zunahme bei diesen Einheiten.

Weltweit entwickelt sich ein Boom erdgekoppelter Wärmepumpen. Eine Studie des Electric Power Research Institute (EPRI) aus dem Jahre 1993 geht allein für die USA von einem Potential von 2 Millionen "geothermal heat pumps" bis zum Jahr 2000 aus. Das durch amerikanische Bundesbehörden, Elektrizitätsversorgungsunternehmen, Herstellern von Wärmepumpenanlagen und andere Institutionen gegründete Geothermal Heat Pump Consortium hat sich den Aufbau eines tragfähigen Marktes für derartige Anlagen zum Ziel gesetzt, was mit teilweiser finanzieller Unterstützung durch den Staat realisiert werden soll. Die

Zahl der verkauften erdgekoppelten Wärmepumpen soll von derzeit 40.000 pro Jahr auf jährlich 400.000 Neuanlagen ab dem Jahr 2000 gesteigert werden. Ähnlich aktiv ist man in der Schweiz, wo etwa jeder vierte Neubau mit Erdwärmesonden ausgestattet wird.

## Geothermische Kraftwerke

Die meisten geothermischen Kraftwerke erzeugen Strom aus heißen hydrothermalen geothermischen Systemen entströmendem Dampf. Die älteste derartige Anlage steht in Larderello in der Toskana, wo bereits seit 1912 Strom aus Erdwärme erzeugt wird. Zusammen mit weiteren Anlagen von insgesamt 665 MW Leistung ist Italien der mit Abstand größte europäische Erzeuger von Strom aus Geothermie. Daneben trägt nur noch Island mit 50 MW nennenswert zu den insgesamt etwa 750 MW installierter Leistung geothermischer Kraftwerksanlagen in Europa bei. Wegen der in der Bundesrepublik herrschenden geologischen Gegebenheiten - es fehlt an herausragenden heißen (vulkanisch gebundenen) geothermischen Lagerstätten - existiert hier gegenwärtig keine geothermische Stromerzeugung.

Weltweit waren Ende 1994 über 200 Kraftwerksanlagen mit mehr als 8.200 MW Leistung in Betrieb, etwas weniger als die Hälfte davon allein in den USA. Das Dampffeld "The Geysers", ca. 120 km nordwestlich von San Francisco, birgt mit mehr als 1800 MW den größten geothermischen Kraftwerkspark der Welt. In einigen Ländern tragen Erdwärme-Kraftwerke bis zu 30% der Stromerzeugung bei (El Salvador, Indonesien, Kenia, Mexiko, Nicaragua, Philippinen; auf vulkanischen Inseln wie den Azoren, sowie den Kleinen Antillen und Reunion liegt der Beitrag sogar nahe 100%; Weber 1995). Einen Überblick über die wichtigsten Nutzer findet sich in nachstehender Tabelle.

In den nächsten 6 bis 7 Jahren ist mit einem Zuwachs um ca. 4.000 bis 5.000 MW zu rechnen (EIA 1995a). Insbesondere in Indonesien und auf den Philippinen, aber auch in den USA, Mexiko und Italien wird mit umfangreicheren Zubauten gerechnet. Die größten Anstrengungen unternimmt derzeit Indonesien, das bis 2015 mindestens 2.000 MW geothermische Kraftwerksleistung errichten will. Der Energiemarkt wurde für ausländische Investoren geöffnet, zudem sind zusätzlich Steueranreize geschaffen wurden. Die Projekte werden mit Mitteln der Weltbank unterstützt. Vor allem amerikanische und neuseeländische, aber auch japanische Unternehmen sind auf diesem Markt aktiv. Ähnliches gilt für

die Philippinen, die mit einem ehrgeizigen Programm bis 2005 etwa die Hälfte ihres Strombedarfs mit Hilfe der Geothermie decken wollen.

Tab. 12: Geothermische Kraftwerke. Übersicht über die wichtigsten Länder und deren derzeitige und geplante Erzeugungskapazität, Werte z.T. gerundet und geschätzt

|             | <i>derzeit</i>          |                              | <i>geplanter Zubau</i> |
|-------------|-------------------------|------------------------------|------------------------|
|             | <i>Zahl der Anlagen</i> | <i>installierte Leistung</i> |                        |
|             |                         | <i>MW</i>                    | <i>MW</i>              |
| USA         | 77                      | 2850                         | 500                    |
| Philippinen | 25                      | 1077                         | 1100                   |
| Mexiko      | 28                      | 732                          | 260                    |
| Italien     | ca. 30                  | 665                          | ca. 300                |
| Indonesien  | 6                       | 307                          | 1000                   |
| Japan       | 12                      | 297                          | 230                    |
| Neuseeland  | 4                       | 283                          | 140                    |
| El Salvador | 5                       | 105                          | 60                     |
| Costa Rica  | 2                       | 57                           | 110                    |

Quelle: EIA 1995 a, Bußmann 1995, Schätzungen des TAB

Japan versucht analog zur Situation bei anderen Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger, auch im Bereich der geothermischen Stromerzeugung die heimische Industrie zu unterstützen und zu stärken. Im Rahmen des "New Sunshine Program" soll die geothermische Kraftwerksleistung auf 2.800 MW steigen, zudem werden FuE-Arbeiten zu neuen Bohrtechniken und Erkundungsverfahren sowie zu neuen Kraftwerkstypen und Erschließungsmethoden gefördert.

Die zukünftigen Potentiale der Geothermie für die Stromerzeugung in Deutschland werden derzeit kontrovers diskutiert. Nach Auffassung der Elektrizitätswirtschaft lassen die relativ niedrigen Temperaturen der erschlossenen oder erschließbaren Quellen keine wirtschaftlich und energetisch sinnvollen Dampfkraftprozesse zu, so daß eine geothermische Stromerzeugung auch in ab-

sehbarer Zukunft wohl nicht zu erwarten sei (Grawe/Wagner 1993). Dieser Einschätzung steht die Position der Geothermischen Vereinigung gegenüber: Natürliche Heißwasservorkommen, die sich in erheblichen Maße zur Stromerzeugung eignen, seien auch in Deutschland an vielen Stellen etwa ab Tiefen von 5000 m vorhanden. Mit modernen ORC-Anlagen (ORC = Organic Rankine Cycle) ließen sich auch Ressourcen mit geringeren Temperaturen (ab ca. 100 °C) und entsprechender Förderrate nutzen; solche Vorkommen sind im Oberrheingraben, am Alpenrand sowie in Nordostdeutschland bekannt. Für den Standort Bruchsal/Baden durchgeführte Berechnungen hätten ergeben, daß bei einer der Windenergie vergleichbaren Stromeinspeisevergütung solche Projekte wirtschaftlich zu betreiben seien. Zudem verfüge man gerade in Deutschland über große Erfahrungen im Umgang mit diesem Temperaturbereich, dem international bislang wenig Beachtung geschenkt worden sei, auf den sich aber gegenwärtig in wachsendem Umfang auch im Ausland (z.B. Italien) das Interesse richtet (Bußmann 1996a).

Für den Bau geothermischer Kraftwerke werden zum einen Techniken eingesetzt, die ihren Ursprung in den Techniken der Öl- und Gasexploration und -förderung haben. Zum anderen kommen Komponenten der konventionellen Kraftwerks- und Elektrotechnik zum Einsatz. Während im erstgenannten Bereich deutsche Firmen wegen des nicht vorhandenen Inlandsmarktes wohl kaum zum Zuge kommen dürften, könnten deutsche Anbieter im zweiten Segment als Zulieferer an diesem Markt durchaus teilhaben. Insgesamt bleibt das für deutsche Unternehmen zugängliche Marktvolumen aus derzeitiger Sicht aber gering. Sollten sich ORC-Techniken - entsprechende staatliche Unterstützung wie Einbeziehen der Geothermie in das Stromeinspeisungsgesetz und die FuE-Förderung bis hin zu Referenzanlagen vorausgesetzt - in Zukunft im Inland umsetzen lassen, könnten deutsche Unternehmen aber an einem beträchtlichen internationalen Markt partizipieren.

### **Direkte Nutzung der Geothermie**

Die direkte Nutzung von Erdwärme aus Thermalwasseraquiferen für Niedertemperaturanwendungen wird heute an vielen Orten der Welt praktiziert. Es werden damit Gebäude, Gewächshäuser und Gärtnereien beheizt sowie Thermalbäder betrieben, auch wird Thermalwasser als Brauchwasser verwendet. Weltweit sind derzeit Anlagen mit einer thermischen Leistung von mehr als 11.000 MW installiert (Rummel/Kappelmeyer 1993), davon etwa 2.500 MW in Europa (BGR

1995). Herausragende Beispiele sind das Pariser Becken, wo etwa 200.000 Wohnungen mit Wärme und Warmwasser aus Erdwärme versorgt werden, oder das geothermische Fernwärmenetz der isländischen Hauptstadt Reykjavik.

In Deutschland wird Erdwärme vor allem in den neuen Bundesländern (in Mecklenburg-Vorpommern) genutzt. Noch in der ehemaligen DDR wurden drei geothermische Heizzentralen (Waren (5 MW<sub>th</sub>), Prenzlau (7,2 MW<sub>th</sub>) und Neubrandenburg (10 MW<sub>th</sub>)) in Betrieb genommen, die die Heizwärme- und Warmwasserversorgung vor allem von Wohngebäuden übernehmen und den Löwenanteil der in Deutschland insgesamt installierten rund 34 MW<sub>th</sub> stellen. Das dort vorhandene technisch nutzbare Potential wird (auf mittlere Sicht bei entsprechender Förderung; Bußmann 1996) allerdings auf das 30 - 60fache geschätzt (BMW<sub>i</sub> 1995). Auch in den alten Bundesländern, unter anderem im Oberrheingraben, auf der Schwäbischen Alb bei Bad Urach, im süddeutschen Molassebecken zwischen Jura und Alpen und in der Norddeutschen Tiefebene, finden sich aufgrund der dort vorhandenen geologischen Bedingungen gute Voraussetzungen zur wärmetechnischen Nutzung hydrogeothermischer Potentiale (Schneider et al. 1995; Bußmann et al. 1991). In kleinerem Maßstab sind dort seit geraumer Zeit ebenfalls Nutzungen von geothermischer Niedertemperaturwärme realisiert. Ein forciertes Ausbau scheiterte bislang an der mangelnden Wirtschaftlichkeit.

In den letzten Jahren wurden viele Projekte zur Fernheizung verfolgt, insbesondere in Bayern (z.B. in Erding und Neufahrn bei Freising), Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Thüringen. Außerdem werden in vielen Orten Erdwärmesonden angelegt und projektiert (Weber 1995). Laut Bundesministerium für Wirtschaft (BMW<sub>i</sub> 1994) sind bei den heutigen Energiepreisen die Aussichten auf eine wirtschaftliche Nutzung der hydrothermalen Vorkommen in Deutschland nur an denjenigen Standorten günstig, an denen bereits eine Infrastruktur für Wärmeverteilung vorhanden ist. Dieser generellen Aussage wird durch die Geothermische Vereinigung widersprochen; zwar sei eine vorhandene Wärmeverteilung ein nützlicher Infrastrukturfaktor, die Wirtschaftlichkeit einer geothermischen Wärmeversorgung hänge aber von vielen verschiedenen Faktoren ab und sei bei geeigneten Bedingungen auch einschließlich der Installation eines Verteilungsnetzes noch wirtschaftlich darstellbar (Bußmann 1996a).

## Hot-Dry-Rock-Verfahren

Große Hoffnungen werden seit geraumer Zeit in die Hot-Dry-Rock-(HDR-) Technik gesetzt. Hierbei wird tiefen trockenen Gesteinsschichten mittels zwischen zwei Bohrungen zirkulierendem Wasser Wärme entzogen. Wegen der schlechten thermischen Leitfähigkeit der Gesteine sind für die Gewinnung kommerziell relevanter Wärmemengen relativ große von Wasser überströmte Austauschflächen erforderlich. Ursprünglich ging man davon aus, daß - im Gegensatz zu den hydrothermalen Lagerstätten - diese Wegsamkeiten künstlich erzeugt werden müssen. Sie werden gewonnen, indem mit Hilfe von eingepreßtem Wasser das Gestein hydraulisch aufgebrochen wird. So entstehen große Bruchflächen, also künstliche Klüfte in der Tiefe, die erfahrungsgemäß erhalten bleiben, wenn der Hydraulikdruck zurückgenommen wird. Inzwischen haben Forschungsarbeiten ergeben, daß mehr untertägige natürliche Kluftsysteme als ursprünglich angenommen existieren, man also nicht unbedingt künstliche Klüfte erzeugen muß, sondern es häufig ausreicht, die natürlichen Kluftsysteme hydraulisch aufzuweiten und energetisch zu nutzen.

Hot-Dry-Rock-Lagerstätten können ausgebeutet werden, indem man durch künstlich geschaffene Wärmeaustauschflächen eine Trägerflüssigkeit pumpt. Im Gegensatz zu den bekannten hydrothermalen Systemen erfolgt der Betrieb in einem geschlossenen Kreislauf, in dem der Druck so hoch gehalten wird, daß das Wasser nicht siedet. In einem Sekundärkreislauf wird Dampf für die Stromerzeugung oder für eine kombinierte Kraft-Wärme-Nutzung erzeugt. Hauptvorteil des HDR-Verfahrens ist die Tatsache, daß es die Nutzung der Erdwärme auch außerhalb besonders dafür geeigneter Standorte ermöglichen soll.

An der HDR-Technik wird intensiv geforscht. Ein Hot-Dry-Rock-Prototyp wurde bereits Ende der siebziger Jahre in Fenton Hill im USA-Staat New Mexico errichtet und betrieben. Dort wurde im unteren Teil einer 3-km Bohrung mit Hilfe von eingepreßtem Wasser hydraulisch ein Bruch erzeugt. Die Bruchfläche hatte eine Ausdehnung von  $0,01 \text{ km}^2$  bei Temperaturen von  $200^\circ \text{ C}$ . Mit einer zweiten Bohrung, 100 m entfernt, wurde diese Bruchfläche durchstoßen und ein Zirkulationssystem, das etwa  $3 \text{ MW}_{\text{th}}$  lieferte, stand bereit.

Auch in Japan und Europa werden Hot-Dry-Rock-Experimente durchgeführt. Aus deutscher Sicht von Bedeutung sind dabei die Projekte in Urach südlich von Stuttgart und das europäische HDR-Projekt in Soultz-sous-Forêts bei Straßburg in Frankreich. Mit Experimenten in Soultz, die 1994 durchgeführt worden sind, wurde ein mehr als  $1 \text{ km}^2$  großes Rißsystem erzeugt und insge-

samt 50 000 m<sup>3</sup> verpreßt (Jung et al. 1994). Anfang 1995 wurde 400 m neben der etwa 3600 m tiefen Produktionsbohrung eine rund 3900 m tiefe Injektionsbohrung niedergebracht und so eine hydraulische Verbindung geschaffen. Bei den Zirkulationsexperimenten Mitte 1995 wurden ca. 28.000 m<sup>3</sup> mit bis zu 77 t/h zirkuliert, dabei wurde bei Austritt an der Oberfläche eine Wassertemperatur von 136 °C gemessen; dies entspricht einer thermischen Leistung von ca. 8 MW (Kappelmeyer 1996). Mit den Experimenten in Soultz wurde die weltweit bislang längste untertägige HDR-Distanz erreicht und erstmals Wärmetauscherflächen nahe einer für die kommerzielle Nutzung des HDR-Verfahrens notwendigen Größenordnung geschaffen. Dieser wissenschaftlich-technische Durchbruch soll 1998 in ein wissenschaftliches Pilotprojekt überführt werden (Tenzer/ Bußmann 1996).

Jedoch ist für diese junge Technologie noch eine Reihe von Problemen zu lösen. Die Pumpkosten machen einen wichtigen Anteil an den Produktionskosten der Energie aus. Darum muß der Wasserverlust gering gehalten werden, der hydraulische Widerstand zwischen Injektions- und Extraktionsbohrung sollte möglichst niedrig sein, ausgedehnte Wärmeaustauschflächen ohne hydraulische Kurzschlüsse sind anzustreben. Die für einen wirtschaftlichen Betrieb notwendigen Minimalforderungen bezüglich dieser Eigenschaften wurden bisher nur zum Teil erreicht (Kappelmeyer 1996). Kenntnis über die Wegsamkeiten im Gebirge, die Ortung der natürlichen und künstlichen Kluftsysteme ist daher zur Zeit ein hochaktuelles Thema in der Hot-Dry-Rock-Forschung. Ein weiteres Forschungsthema ist es, wie bei den hydrothermalen Lagerstätten auch, das Material der Wärmelagerstätte zu kennzeichnen. Probleme bei der Nutzung der hydrothermalen Wärmelagerstätten bereiten Salze aus der Tiefe. Bei frischen Klüften, wie sie in der Hot-Dry-Rock-Lagerstätte erzeugt werden, tauchen in manchen Gesteinen im allgemeinen weniger Probleme durch gelöste Stoffe auf als in natürlichen Kluftsystemen. Durch Untersuchungen an erbohrtem Gestein und durch Interpretation der physikalischen Messungen in den Bohrungen in den Wärmelagerstätten versucht man, solche Effekte besser vorhersagen zu können (Huenges 1995).

Von einer umfangreicheren praktischen Realisierung der HDR-Technik ist man noch mehr als zehn Jahre entfernt. Die deutsche Industrie ist an Forschungen und Entwicklungsarbeiten beteiligt. Zwar wurde die deutsche Position durch den Rückzug der SIEMENS AG aus der HDR-Technik Ende 1992, durch verhaltene nationale öffentliche Förderung und durch das Ausscheiden des Standortes Urach aus den EU-Programmen in letzter Zeit geschwächt (Buß-

mann 1995), im Rahmen des erfolgreichen europäischen HDR-Projektes konnten sich aber auch deutsche Unternehmen profilieren.

Das in Europa entwickelte Verfahren läßt sich auch zum Weiterbetrieb bestehender dampfdominierter Felder bzw. zum Steigern ihrer Ergiebigkeit nutzen, darum wendet man sich auch in den USA dieser Technologie zu. Das in Fenton Hill entwickelte System, das in ein kommerzielles Projekt unter Führung der Industrie überführt werden sollte, könne demgegenüber als veraltet gelten. Auch japanische Unternehmen sind stark - z.T. gefördert im Rahmen des New Sunshine Project - in der HDR-Technik aktiv.

### Exportpotentiale

Nach den Ergebnissen des Weltenergieates (WEC 1994) sind die größten geothermischen Potentiale, die bis 2010 zusätzlich genutzt werden könnten, in Nordamerika, im pazifischen Raum, in China und in Westeuropa. Enorme Ressourcen befinden sich auch in den Ländern Osteuropas und in Rußland.

Die beschriebenen inländischen Aktivitäten - aus Bundesmitteln wurde u.a. eine Referenzanlage in Neustadt-Glewe/Mecklenburg-Vorpommern mit einer Gesamtleistung von 10 MW<sub>th</sub> gefördert - können unter Exportgesichtspunkten als ein inländischer Demonstrationsmarkt und Erfahrungshintergrund verstanden werden. Nach Aussagen der deutschen Geothermischen Vereinigung sind die energiepolitischen Bedingungen für eine weitere Entwicklung des Inlandsmarktes nicht optimal und die Nutzung bestehender Chancen auf den schnell expandierenden Exportmärkten (Schätzung: mehr als 2 Mrd. DM jährlich) durch deutsche Hersteller schwierig. Lange Zeit sei die Bedeutung geothermischer Potentiale für den Export auf politischer Ebene unterschätzt worden, weil die inländischen Potentiale als relativ klein bewertet wurden und bei den geringen Preisen fossiler Energieträger wirtschaftlich nicht besonders attraktiv galten.

Einige Unternehmen der "geothermischen Branche" in Deutschland (Planer, Projektentwickler, Bohrunternehmen, Ausrüster, Bohrservice, Komponentenhersteller und Versorgungsunternehmen) werden zur Zeit zusätzlich zu traditionellen Komponentenherstellern auf dem internationalen Markt aktiv. Während in der Vergangenheit vornehmlich Kraftwerke zur Erzeugung von elektrischem Strom aus Dampf- und Heißwasserlagerstätten das Marktgeschehen dominierten, dürften in der Zukunft die direkte Nutzung (zur Wärmeversorgung, in der Nahrungsmittelproduktion etc.), die kombinierte Nutzung von Strom/Wärme, ORC-Anlagen, die Erschließung niedrigthermaler Horizonte sowie oberflächen-

naher Bereiche (Heizung, Kühlung, Speicherung) das Exportgeschehen berechnen (Bußmann 1996b).

Auf Auslandsmärkten konkurrieren deutsche Hersteller mit Unternehmen aus Dänemark, Frankreich, Island, Italien, den USA und Neuseeland, die starke Unterstützung seitens ihrer Regierungen erhalten (die in Deutschland in dieser Form nicht vorhanden ist). Daneben ist die geringe Kapitalausstattung gerade der Know-how-Träger (meist kleine und mittlere Unternehmen, KMU) ein Hemmnisfaktor für den Export, d.h., Auslandsaktivitäten sind für die KMU ein schwer kalkulierbares Risiko. Zudem hat sich die Zuliefererindustrie weltweit ohne den deutschen Markt entwickelt, d.h., es entstanden international tätige Kooperationen zwischen Energie-Versorgungsunternehmen, Ingenieurbüros und Herstellern (Bußmann 1996b).

## 1.9 Märkte für Systemlösungen

Die einzelnen Umwandlungstechniken für erneuerbare Energiequellen stehen - bedingt durch methodische Überlegungen und die zur Verfügung stehenden Daten - im Mittelpunkt dieser Untersuchung zu den Exportchancen erneuerbarer Energieträger. Daneben ermöglichen auch anwendungsorientierte Systemlösungen gute Exportmöglichkeiten. Solche Systeme können in der Energieversorgung, aber auch für andere Zwecke (z.B. zur Wassergewinnung- und aufbereitung, Telekommunikation) Anwendung finden. Entscheidend ist, daß Techniken zur Nutzung erneuerbare Energiequellen hier nur noch eine Komponente (zur Energieversorgung) einer komplexeren technischen Lösung sind, die oft deutlich umfangreicheres technologisches und Fertigungswissen erfordert und eine wesentlich höhere Wertschöpfung gestattet. Eine Erörterung derartiger Systemlösungen ist mit Anspruch auf Vollständigkeit nicht möglich, zu vielfältig sind die inzwischen umgesetzten oder vorgeschlagenen Varianten. Hier können nur Beispiele angeführt werden.

Wasserversorgung gehört zu den Grundbedürfnissen der Menschen. Wassergewinnung bzw. -aufbereitung ist in vielen Ländern der Welt schon heute ein vordringliches Problem, das in Zukunft noch wachsende Bedeutung gewinnen wird. Experten der UNO rechnen von 2010 an mit extremer Wassernot in vielen Ballungsräumen der Welt, so jüngst wieder diskutiert auf der UNO-Konferenz Habitat II.

In Wüstengebieten, aber auch in anderen Regionen, werden zur Wasserversorgung **photovoltaisch betriebene Brunnenanlagen** realisiert. Hierbei sind auch deutsche Unternehmen engagiert. Beispielsweise wurde auf Initiative des "Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS)" zur Verbesserung der Lebensbedingungen in der Sahelzone 1991 das "Programme Régional Solaire (PRS)" ins Leben gerufen. Finanziert wird das Projekt, an dem die Staaten Burkina Faso, Gambia, Guinea-Bissau, Kap Verde, Mali, Mauretanien, Niger, Senegal und Tschad teilnehmen, vom Europäischen Entwicklungsfond. Im Rahmen von PRS werden vor allem photovoltaisch betriebene Brunnenanlagen aufgebaut. Der maßgebliche Partner von PRS, Siemens Solar, hat bis Ende 1995 etwa 330 derartige Anlagen installiert, hinzu kommen 63 Kühlsysteme und 240 Beleuchtungsanlagen. Zur Installation und späteren Instandhaltung wird einheimisches, vor Ort geschultes Personal eingesetzt (Siemens 1995). Bei wachsender Nachfrage ist für die nahe Zukunft der Aufbau lokaler Solar-Unternehmen denkbar. Problematisch ist allerdings die Beschaffung der Mittel für eine eigenständige Finanzierung und Selbstverwaltung derartiger Anlagen, diskutiert wird dafür beispielsweise die Einführung von Wassergebühren. Auch in südostasiatischen Ländern wurden mit deutscher Unterstützung PV-Pumpsysteme installiert. Da die Wasserversorgung in Entwicklungshilfeprogrammen auch in Zukunft große Bedeutung besitzen wird und die PV-Pumpsysteme inzwischen weitgehend marktreif sind, eröffnen sich hier in Zukunft gute Marktchancen.

Ebenfalls denkbar ist eine **Meereswasserentsalzung mit Windkraft**. Hierzu laufen zur Zeit Forschungsprojekte in Deutschland. So existiert eine Anlage auf Rügen, deren Auslegung auf instationären Betrieb ermöglicht, die je nach Windaufkommen verfügbare elektrische Energie nahezu vollständig zur Destillatproduktion zu nutzen. Der unkomplizierte Aufbau der Anlage verspricht gute Exportchancen in Regionen mit zunehmender Trinkwasserknappheit.

Auch die **Energieversorgung von** - in der Hauptsache ländlichen - **Haushalten** in den Entwicklungsländern wird in Zukunft eine größere Rolle spielen. Wenngleich die Elektrifizierung solcher Haushalte innerhalb der Entwicklungspolitik durchaus kontrovers diskutiert wird, so dürfte dennoch mit den "solar home systems (SHS)", also kleinen netzunabhängigen Hausversorgungssystemen im 100 W<sub>p</sub>-Bereich, einer der **größten Zukunftsmärkte** für die Photovoltaik mit weltweit vielen Millionen Systemen entstehen. Dieser Markt könnte allerdings nur mit Hilfe von Finanzierungshilfen (Entwicklungshilfe, Weltbank, private Investoren) und im Gleichklang mit der Entwicklung kaufkräftiger Nachfrage in diesen Ländern erschlossen werden. Neben der Bereitstellung von Fi-

nanzhilfen an staatliche und nichtstaatliche Institutionen, die entsprechende Programme umsetzen, wäre auch das Anbieten günstiger Finanzierungsmodelle für Kleinanwender eine Förderungsmöglichkeit, da dies für viele potentielle Anwender einen Anreiz zum Erwerb eines SHS schaffen würde. Denkbar sind hier einfach erlangbare, mit überschaubar und günstig gestalteten Konditionen ausgestattete Kleinkredite; auch andere Finanzierungsmodelle für die Kleinanwender sind vorgeschlagen worden. Häufig sind derartige Vorhaben aber mit vergleichsweise hohen Abwicklungskosten verbunden, eine Finanzierung zu Marktbedingungen würde - bei schon hohen Systemkosten - zu noch höheren Gesamtkosten führen.

Weitere PV-basierte Systemlösungen, die auch schon erprobt wurden und deren wirtschaftliche Einsatzfähigkeit festgestellt ist, sind Füllsender für die Telekommunikation, Anlagen zur Lagerung und zum Transport empfindlicher Medikamente und (tragbare) Solarlampen.

## **2. Internationale Forschung und Entwicklung zu erneuerbaren Energieträgern**

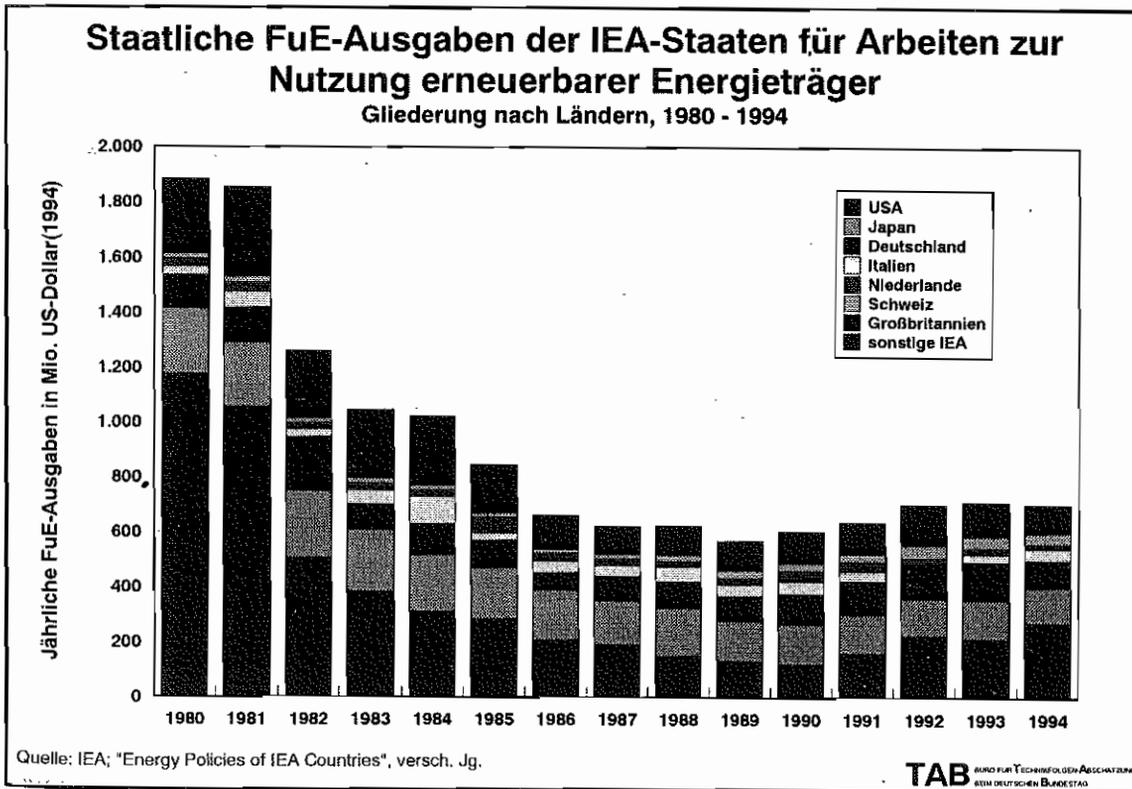
Anhand der staatlichen Etats für Forschung und Entwicklung im Energiebereich lassen sich bestimmte nationale Entwicklungserwartungen und Prioritäten bei den Einzeltechniken ermitteln, die auch gewisse Rückschlüsse auf nationale Stärken zulassen. Die folgenden Betrachtungen beschränken sich auf die Mitgliedsstaaten der Internationalen Energieagentur (IEA). Schlußfolgerungen auf dieser Basis erscheinen hinreichend aussagekräftig, da alle wichtigen Industriestaaten der IEA angehören. Außerhalb der IEA sind uns nur aus Israel, Rußland und Indien nennenswerte eigene FuE-Aktivitäten im Bereich der erneuerbaren Energieträger bekannt. Allerdings fehlt für diese Länder derzeit belastbares statistisches Material.

Die IEA-Staaten wendeten zwischen 1984 und 1994 insgesamt mehr als 106 Mrd. US-Dollar (alle Angaben in diesem Abschnitt erfolgen in konstanten Preisen von 1994) für Forschung und Entwicklung im Energiebereich auf. Darin nehmen die erneuerbaren Energien aber nur eine untergeordnete Rolle ein; ihr Anteil am Gesamtetat für den betrachteten Zeitraum beträgt etwa 7,2% (oder ca. 7,7 Mrd. US-Dollar absolut). Der weitaus größte Teil der Forschungsmittel wurde in den Nuklearbereich (35,8% konventionelle nukleare Technik, je 12%

für Brutreaktoren und Kernfusionsforschung) investiert, für die fossilen Energieträger wurden 14,3% der Mittel eingesetzt.

In den letzten drei Jahren haben sich die Verhältnisse etwas verschoben. Während die Anteile der nuklearen Forschung - insbesondere aufgrund der Reduktion der Forschungsausgaben für die Brutreaktoren - und der Arbeiten zu fossilen Energieträgern zurückgegangen sind, sind die Ausgaben für Forschung zur Energieeinsparung und zu erneuerbaren Energieträgern anteilig gewachsen. Mit mittleren jährlichen Ausgaben von ca. 700 Mio. US-Dollar werden derzeit etwas mehr als 8% der Forschungsmittel der IEA-Staaten für die erneuerbaren Energieträger eingesetzt.

Abb. 7: Staatliche FuE-Ausgaben der IEA-Staaten für Arbeiten zur Nutzung erneuerbarer Energieträger



Die staatlichen FuE-Ausgaben der IEA-Staaten für erneuerbare Energieträger betragen Anfang der achtziger Jahre - also nach der ersten und während der zweiten Ölpreiskrise - etwa 1,8 Mrd. US-Dollar pro Jahr. Bis 1989 nahmen sie auf weniger als 600 Mio. US-Dollar ab, um seitdem wieder geringfügig zu steigen.

Die Vereinigten Staaten haben vor allem Anfang der achtziger Jahre massive FuE-Anstrengungen unternommen. Mit jährlich über einer Milliarde Dollar haben mehr als der Hälfte der gesamten Forschungsausgaben getragen. Trotz des deutlichen Rückganges Mitte der achtziger Jahre verfügen sie mit einem Anteil von ca. 30% noch immer über den größten Forschungshaushalt im Bereich der erneuerbaren Energieträger. Den zweiten Platz nimmt - trotz eines relativen und absoluten Rückganges Anfang der neunziger Jahre - Japan ein. Die Bundesrepublik Deutschland verfügt über den drittgrößten Forschungshaushalt in diesem Bereich und ist zugleich wichtigste europäische Nation. Ihr Anteil an den Ausgaben der europäischen IEA-Mitgliedsstaaten beträgt in diesem Bereich beträgt mehr als ein Drittel.

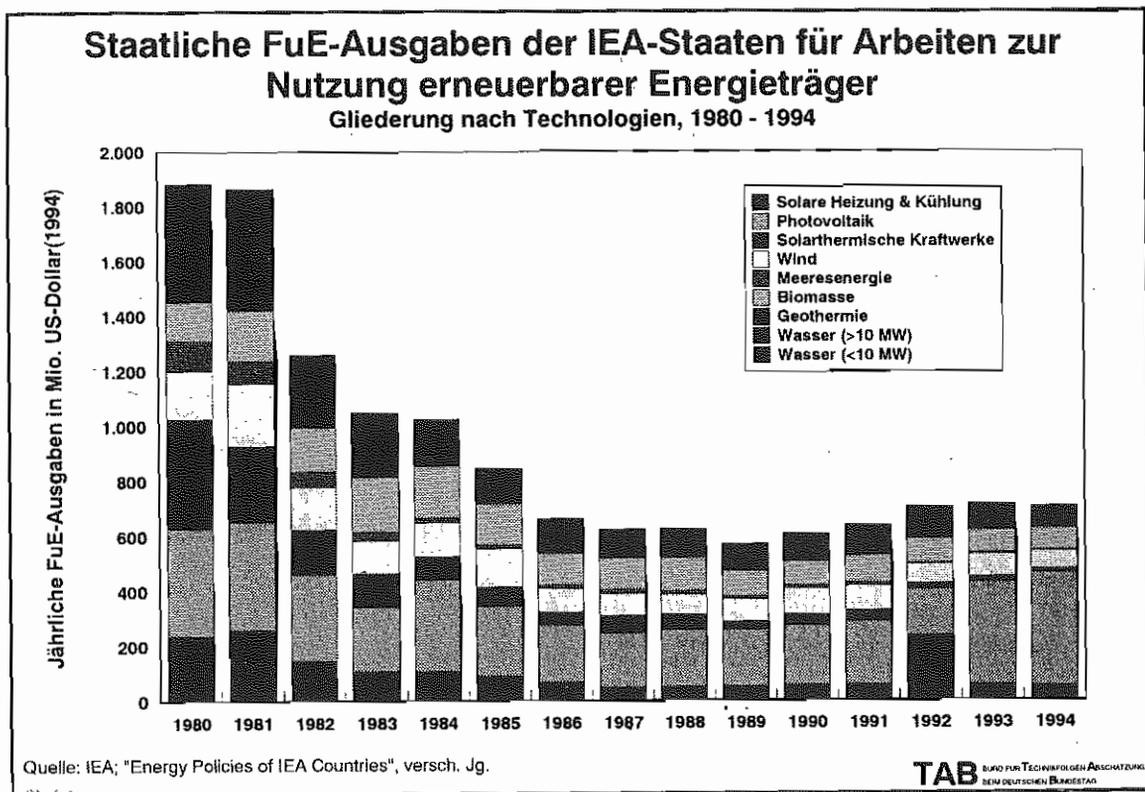
Tab. 13: Staatliche FuE-Ausgaben im Bereich der erneuerbaren Energieträger, nach Ländern

|                | <i>Ausgaben</i><br>1984-89 |            | <i>Ausgaben</i><br>1990-94 |            | <i>Ausgaben</i><br>1984-94 |            | <i>nachrichtlich:</i><br><i>Ausgaben</i><br>1980-94 |            |
|----------------|----------------------------|------------|----------------------------|------------|----------------------------|------------|---|------------|
|                | <i>Mio. US-\$</i>          | <i>%</i>   | <i>Mio. US-\$</i>          | <i>%</i>   | <i>Mio. US-\$</i>          | <i>%</i>   | <i>Mrd. US-\$</i>                                   | <i>%</i>   |
| USA            | 1278,8                     | 29,4       | 995,7                      | 29,6       | 2274,5                     | 29,5       | 5,37  | 39,2       |
| Japan          | 1050,6                     | 24,2       | 686,2                      | 20,4       | 1736,8                     | 22,5       | 2,68  | 19,5       |
| Deutschland    | 560,6                      | 12,9       | 604,1                      | 18         | 1164,7                     | 15,1       | 1,71  | 12,4       |
| Italien        | 294,4                      | 6,8        | 148,7                      | 4,4        | 443,1                      | 5,7        | 0,61  | 4,4        |
| Niederlande    | 181,3                      | 4,2        | 133,6                      | 4          | 314,9                      | 4,1        | 0,43  | 3,1        |
| Schweiz        | 108,8                      | 2,5        | 183,9                      | 5,5        | 292,7                      | 3,8        | 0,36  | 2,6        |
| Großbritannien | 162                        | 3,7        | 121,9                      | 3,6        | 283,9                      | 3,7        | 0,42  | 3,1        |
| sonstige       | 711,1                      | 16,4       | 488,2                      | 14,5       | 1199,3                     | 15,6       | 2,15  | 15,6       |
| <b>Summe</b>   | <b>4347,9</b>              | <b>100</b> | <b>3361,7</b>              | <b>100</b> | <b>7709,6</b>              | <b>100</b> | <b>13,76</b>  | <b>100</b> |

Quelle: IEA, Berechnungen des TAB

Nach geförderten Technologien aufgeschlüsselt zeigt sich die dominierende Rolle der Solarenergie (Tabelle 14). Mehr als die Hälfte der Fördermittel wurden dafür aufgewendet, der größte Teil davon für die Photovoltaik. Deren Rolle hat in den letzten Jahren noch zugenommen, an den Gesamtausgaben für 1993 und 1994 hatte sie einen Anteil von jeweils mehr als 50%.

Abb. 8: Staatliche FuE-Ausgaben der IEA-Staaten für Arbeiten zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen



Die nationale Verteilung der für die jeweiligen Technologien aufgewendeten FuE-Mittel läßt die Förderschwerpunkte der einzelnen Länder erkennen. Für die Budgets 1994 wurden jeweils die drei Länder mit den größten Zuwendungen für die Technologie sowie der Anteil am Gesamtfördervolumen der Technologie angegeben. Mit Ausnahme der Biomassenutzung (hier sind neben den in der Tabelle 15 ausgewiesenen Ländern auch Dänemark, die USA, die Schweiz und Japan mit vergleichbarem finanziellen Aufwand engagiert) zeigt sich bei allen anderen Technologien eine Konzentration der Ausgaben auf wenige Länder.

Tab. 14: Staatliche FuE-Ausgaben im Bereich der erneuerbaren Energieträger, nach Technologien

|                                   | <i>Ausgaben</i><br>1984-89 |            | <i>Ausgaben</i><br>1990-94 |            | <i>Ausgaben</i><br>1984-94 |            | <i>nachrichtlich:</i><br><i>Ausgaben</i><br>1980-94 |            |
|-----------------------------------|----------------------------|------------|----------------------------|------------|----------------------------|------------|---|------------|
|                                   | <i>Mio. US-\$</i>          | <i>%</i>   | <i>Mio. US-\$</i>          | <i>%</i>   | <i>Mio. US-\$</i>          | <i>%</i>   | <i>Mrd. US-\$</i>                                   | <i>%</i>   |
| Solarheizung<br>und-kühlung       | 412,0                      | 9,5        | 454,8                      | 13,5       | 866,8                      | 11,2       | 1,61  | 11,7       |
| Photovoltaik                      | 1408,5                     | 32,4       | 1400,5                     | 41,7       | 2809,0                     | 36,4       | 4,15  | 30,1       |
| Solarthermische<br>Stromerzeugung | 352,0                      | 8,1        | 131,4                      | 3,9        | 483,4                      | 6,3        | 1,44  | 10,5       |
| Windenergie                       | 581,5                      | 13,4       | 399,5                      | 11,9       | 981,0                      | 12,7       | 1,65  | 12,0       |
| Meeresenergie                     | 75,9                       | 1,7        | 33,0                       | 1,0        | 108,9                      | 1,4        | 0,39  | 2,8        |
| Biomasse                          | 782,2                      | 18,0       | 444,9                      | 13,2       | 1227,1                     | 15,9       | 1,91  | 13,9       |
| Geothermie                        | 735,8                      | 16,9       | 453,6                      | 13,5       | 1189,4                     | 15,4       | 2,56  | 18,6       |
| Großwasserkraft                   | 0                          | 0,0        | 33,7                       | 1,0        | 33,7                       | 0,4        | 0,03  | 0,2        |
| Kleinwasserkraft                  | 0                          | 0,0        | 10,3                       | 0,3        | 10,3                       | 0,1        | 0,01  | 0,1        |
| <b>Summe</b>                      | <b>4347,9</b>              | <b>100</b> | <b>3361,7</b>              | <b>100</b> | <b>7709,6</b>              | <b>100</b> | <b>13,76</b>  | <b>100</b> |

Quelle: IEA, Berechnungen des TAB

Wie schon erwähnt, wurde 1994 mehr als die Hälfte der staatlichen FuE-Mittel der IEA-Länder für die Photovoltaik aufgewendet. Hier liegen zugleich die Förderschwerpunkte vor allem der USA (die nahezu 60% aller Aufwendungen der IEA-Staaten für die Photovoltaik-FuE bestreiten) und Japans, auch Deutschland wendete in diesem Jahr die Hälfte der nationalen Mittel für die Photovoltaik-Forschung auf. Im Bereich der Biomasse-Nutzung waren, wie bereits dargelegt, mehrere Staaten mit vergleichbaren finanziellen Engagement aktiv. Geothermie ist ein Forschungsschwerpunkt vor allem der USA und Japans, der deutsche Anteil lag hier bei knapp 5%. Zu Forschung und Entwicklung zur Nutzung der Windenergie trug Deutschland zu etwa einem Drittel bei, es gab damit fast das Dreifache der - mit ähnlichen Ausgabenhöhen - folgenden Länder Japan, Großbritannien, Niederlande, Dänemark und Spanien aus. Auch bei der solaren Heizung und Kühlung ist Deutschland mit rund einem Drittel das Land dem größ-

ten nationalen Anteil. Arbeiten zu solarthermischen Kraftwerken wurden 1994 hauptsächlich von der Schweiz, Spanien und Deutschland gefördert, die anderen IEA-Staaten spielten hierbei nahezu keine Rolle. An der mit insgesamt nur geringen Beträgen geförderten FuE zur Meeresenergienutzung und zur Wasserkraft hat sich die staatliche deutsche Forschungsförderung nicht beteiligt.

Tab. 15: Länder mit den größten Zuwendungen für die jeweilige Technologie sowie der Anteil am Gesamtfördervolumen der Technologie in den Budgets 1994

|                                   | Gesamt-<br>ausgaben<br>Mio US-\$ | höchste<br>Ausgaben |      | zweithöchste<br>Ausgaben |      | dritthöchste<br>Ausgaben |      |
|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------|------|--------------------------|------|--------------------------|------|
|                                   |                                  | Land                | %    | Land                     | %    | Land                     | %    |
| Solarheizung<br>und -kühlung      | 50,98                            | Deutschland         | 33,4 | Schweiz                  | 18,6 | Japan                    | 9,0  |
| Photovoltaik                      | 409,12                           | USA                 | 59,2 | Japan                    | 17,6 | Deutschland              | 10,5 |
| Solarthermische<br>Stromerzeugung | 14,36                            | Schweiz             | 40,7 | Spanien                  | 32,0 | Deutschland              | 22,3 |
| Windenergie                       | 65,86                            | Deutschland         | 31,4 | Japan                    | 12,0 | Großbri-<br>tannien      | 11,2 |
| Meeresenergie                     | 3,08                             | Japan               | 50,6 | Dänemark                 | 20,4 | Großbri-<br>tannien      | 15,9 |
| Biomasse                          | 80,97                            | Deutschland         | 14,1 | Italien                  | 13,9 | Schweden                 | 11,0 |
| Geothermie                        | 69,62                            | Japan               | 52,7 | USA                      | 33,0 | Schweiz                  | 6,3  |
| Großwasserkraft                   | 7,64                             | Norwegen            | 39,9 | Schweiz                  | 33,5 | USA                      | 13,1 |
| Kleinwasserkraft                  | 1,13                             | Kanada              | 38,6 | Schweiz                  | 32,5 | Großbri-<br>tannien      | 20,2 |

Quelle: IEA, Berechnungen des TAB

### 3. Fazit

Abschließend werden die betrachteten Techniken nach den Kriterien "Anwendungen, Technische Linie, Technologietransfer und Exportmärkte" noch einmal zusammenfassend bewertet (vgl. Tab. 16). Für alle Anwendungen gilt, daß die Politik der jeweiligen Abnehmerländer (z.B. Wirtschaftspolitik (Handelshemmnisse) oder Umweltpolitik) sowie währungspolitische Einflüsse den Anlagenexport stark beeinflussen können, insbesondere im Dollarraum. Beispielsweise haben die Währungsturbulenzen 1995 manche Windkraftanlagen-Exportabsichten zerschlagen (Allnoch 1995).

**Zukünftige Exportpotentiale** für Techniken zur Nutzung regenerativer Energiequellen ergeben sich für deutsche Hersteller in besonderem Maße im Bereich von

- Komponenten und Vorprodukten, deren Herstellung ein hohes Maß an technologischem und Fertigungswissen erfordert (und bei denen deutsche Firmen einen Technologievorsprung besitzen), sowie bei
- komplexen Systemen, die ein optimales Zusammenspiel der Komponenten erfordern.

**Entsprechend sind zukünftig gute Exportchancen in den folgenden Bereichen zu erwarten:**

- **Wasserkraftanlagen**, insbesondere Großanlagen, die traditionell große Exportvolumina haben und für die weltweit beträchtliche Zubaupotentiale erwartet werden,
- gut abgestimmte **Windkraftanlagen**, aerodynamisch und sicherheitstechnisch optimierte **Rotorblätter** sowie Regelsysteme und Fernüberwachungskomponenten,
- **biogasbetriebene KWK- bzw. BHKW-Anlagen** (Gesamtsysteme bzw. Motoren),
- **Silizium-Wafer** für Photovoltaik-Module sowie PV-Anwendungssysteme und
- **Komponenten (konzentrierende Kollektoren) und komplette Anlagen** für thermische Solarkraftwerke sowie **Systemkomponenten für geothermische Anwendungen**.

Ferner sind aufgrund von zum Teil schon **weit vorangeschrittenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten** im Bereich neuer Technologien zukünftig

gute Exportchancen zu erwarten. Hierzu zählen beispielsweise neue **Batteriesysteme** (u.a. inkl. Batteriemangement), **transluzente Wärmedämmung**, **Stirling-Receiver-Generatoren**, Brennstoffzellen (z.B. in Kombination mit Biomassevergasung), Pflanzenöl-Motoren sowie holographisch-optische Tageslichtsysteme.

Tab.: 16 Einschätzung der Exportaussichten für ausgewählte Techniken zur Nutzung regenerativer Energiequellen

| <i>Techniken</i>                  | <i>Anwendungen</i>   | <i>Technische Linie</i>  | <i>Technologie-transfer in Entwicklungsländer möglich</i> | <i>Mögliche Exportmärkte für deutsche Hersteller</i>  |
|-----------------------------------|--|--|---|---|
| <b>Thermische Solaranlagen</b>    | - Warmwasser   | - Flachkollektoren, Absorber   | ja  | Europa, Naher Osten, Nordafrika   |
|                                   | - thermische Trocknung   | - Vakuumkollektoren  | nein (Anlagen jeweils lokale Herstellung)                 |   |
|                                   |  | - Trockneranlagen  | ja  |   |
| <b>Photovoltaik</b>               | - Kleingeräte<br>- netzfernes Wohnen<br>- netzferne kommerzielle Nutzung<br>- netzgekoppelte Anlagen | Solarpanel   | Systemelemente: lokale Herstellg.                         | Schwerpunkt: Europa, Lieferungen im Rahmen der Entwicklungshilfe (v.a. Afrika, Südostasien)   |
| <b>Solarthermische Kraftwerke</b> | Stromerzeugung/ Prozeßwärme auch Hybridkraftwerke  | - Komponenten für Solarfarmen<br>- (Solartürme)<br>- (Dish/Stirling)<br>- (Aufwindkraftwerke; Niedertemp.) | teilweise   | Solarfarmen: sonnenreiche Industrie- und Schwellenländer (in internat. Kooperation u. innerhalb von Demoanlagen)                                      |
| <b>Windenergie</b>                | Stromerzeugung, Wasserpumpen mittels Langsamläufer   | - kleine Windkraftanlagen (WKA)<br>- Regelungstechnik für mittlere WKA<br>- große WKA                      | Einzelkomponenten lokal                                   | Mittlere WKA in Industrie- und Schwellenländern mit günstigen Rahmenbedingungen (USA, Indien, EG-Länder, Lieferungen im Rahmen der Entwicklungshilfe) |

|                                   |  |  |  |  |
|-----------------------------------|--|--|--|--|
| <b>Kleine Wasserkraftwerke</b>    | Stromerzeugung   | Wasserkraftwerke kleiner 1 MW  | ja   | Ost-/Südostasien, Westeuropa   |
| <b>Große Wasserkraftwerke</b>     | Stromerzeugung   | Wasserkraftwerke größer 1 MW   | nein   | Ost-/Südostasien, Lateinamerika, Afrika  |
| <b>Biogas</b>                     | Raumwärme, Wärmeenergie für landwirtschaftliche Betriebe, Nahversorgungssystem | - Fermentationsreaktoren verschiedene Typen<br>- Gasbrenner  | begrenzt, Einzelkomponenten, Regeltechnik (Anlagen jeweils lokale Herstellung) | allenfalls Teilkomponenten innerhalb Europas   |
| <b>Holz- und Strohverbrennung</b> | Raumwärme, Umwandlung in elektrische Energie                                   | - Holz- u. Strohaufbereitung zu Hackschnitzeln und Brikett/Pellets<br>- hand-/automatenbetriebene Feuerungsanlagen<br>- kleine KWK | nein<br><br>kein Markt für Dritte Welt   | Nordeuropa (gegen starke Konkurrenz)<br><br>Teilkomponenten  |
| <b>Wärmepumpen</b>                | Raumheizung, Warmwasserbereitung, Klimatisierung                               | Kompressionswärmepumpen, Absorptionswärmepumpen  | in Verb. mit Warmwasserheizungen: nein<br>als Luft/Luft-System: ja             | Europa<br><br>Schwellenländer  |
| <b>Geothermie</b>                 | Raumheizung,<br><br>Stromerzeugung   | geringe Tiefen mit Wärmepumpen,<br>tiefe Geothermie, Hot-Dry-Rock-Verfahren  | ja<br><br>kaum<br>kaum   | Europa<br><br>Europa (v.a. Osteuropa), Südostasien prinzipiell weltweit, Kommerzialisierung noch offen |

Quelle: Einschätzungen von TAB und ISI auf der Grundlage von DIW/ISI 1991

**Geringe Exportchancen** und zunehmende Importe bzw. Importüberschüsse werden u.a. in den Bereichen thermischer Solaranlagen zur häuslichen Warmwasserbereitung und Feuerungsanlagen für Biomasse (z.B. Holzhackschnitzel, Stroh) erwartet.

Ausgehend vom Ausschöpfungsgrad des Inlandspotentials sowie vom derzeitigen Inlandsmarkt werden in der Tabelle 17 für **ausgewählte Techniken** (Wasser- und Windkraft, Solarthermie, insbesondere thermische Solaranlagen und solarthermische Kraftwerke, Photovoltaik und Wärmepumpen) wichtige Faktoren zusammengestellt, die den künftigen Export dieser Techniken beeinflussen könnten.

Diese grobe Einschätzung berücksichtigt den gegenwärtigen energie- und entwicklungspolitischen Stellenwert dieser Techniken, aber auch dienstleistungsorientierte Möglichkeiten im Ausland und eine grobe (qualitative, d.h. nicht aus einer statistischen Analyse des Außenhandels abgeleitete) Einschätzung der Wettbewerbsposition deutscher Hersteller. Daneben werden im Inland hergestellte Komponenten mit langfristiger Exportrelevanz einbezogen. Abschließend wird versucht, die längerfristigen Standortchancen der Fertigung dieser Techniken oder von Teilkomponenten abzuschätzen (Inland, Joint Ventures, Ausland).

Ein Verbleiben der **Fertigung** vorwiegend **im Inland** wird auf mittlere Sicht bei kleinen Wasserkraftanlagen und bei Windkraftanlagen (wachsender Exportanteil trotz zunehmender lokaler Fertigung im Rahmen von Joint Ventures) erwartet. Auch Komponenten für solarthermische Kraftwerke (Spiegel) und die Photovoltaik (hochwertige Vorprodukte und Anwendungssysteme) dürften weiterhin vornehmlich im Inland gefertigt werden ("Know-how-Vorsprung"), ebenso wie andere Komponenten (z.B. Generatoren, Regelungen, Fernüberwach-/wirsysteme). Zunehmend im Ausland produziert werden dürften Solarkollektoren (z.B. Tochterunternehmen) und kleine Wärmepumpenanlagen. Im Falle der Photovoltaik ist eine abschließende Einschätzung momentan nicht möglich. Zwar gab es eine Abwanderung eines Teiles der PV-Zellen-Produktion, zugleich sind aber Ansätze zur Aufrechterhaltung des Produktionsstandortes Deutschland bei Silizium-Rohmaterial und PV-Systemen zu erkennen.

Abschließend sei noch einmal betont, daß

- Systemkomponenten mit hohem Gehalt an "Know-how" bei der Fertigung oder in der jeweiligen Komponente, insbesondere aus dem Bereich der Elektrotechnik und des Maschinenbaus, in der Außenhandelsstatistik nur als Ge-

samtgruppe aufgeführt sind, nicht aber für den speziellen Bereich der erneuerbaren Energiequellen;

- die Exportpotentiale und Wettbewerbsvorteile ausgebaut werden können, wenn die deutschen Hersteller nicht nur ihre Anlagen am Weltmarkt anbieten, sondern zugleich Dienstleistungen mit Planung, Projektierung, Finanzierung, Betrieb und Ausbildung der Betreiber;
- zweifelsohne eine teilweise Verlagerung der Produktion von "Low-Tech"-Komponenten ins Ausland zu beachten und nicht zu vermeiden ist. Dies könnte jedoch Chancen für Exporte im Vorleistungsbereich, beispielsweise im Anlagen- und Maschinenbau (z.B. Gießerei- und Fertigungs-Anlagen), eröffnen und durch die Generierung zusätzlichen Einkommens in den Niedriglohnländern die dortige Kaufkraft und Einfuhrmöglichkeiten insgesamt vergrößern;
- die deutschen Hersteller sich mit innovativen Anwendungslösungen und kompletten Dienstleistungspaketen neue Chancen erarbeiten können, so z.B. für solare oder windbetriebene Meerwasserentsalzung, Biomasse-Treibstoffe mit entsprechenden Motorkonzepten oder Biofarming (Stromerzeugung mit allotherm vergaster Biomasse).

Bei einigen Anwendungen hat der **Demonstrationsmarkt im Inland** eine große Bedeutung. Einerseits müssen die Techniken in Deutschland ein merkliches natürliches Nutzungspotential haben, wichtiger noch: Sie müssen in der Phase der Markteinführung stehen. Bei bereits ausgereiften und weit verbreiteten Techniken/Anwendungen wie z.B. Wasserkraftanlagen, haben inländische "Demonstrationsmärkte" eine vergleichsweise geringe Bedeutung.

Andererseits wird die Bedeutung von **Demonstrationsprojekten im Ausland** oft unterschätzt. Hierbei geht es sowohl um die Erprobung unter den speziellen Bedingungen vor Ort als auch um den direkten Kontakt zu den Abnehmern, Kunden oder Nutzern. In Fällen, bei denen der Einsatz einer Technik zur Nutzung erneuerbarer Energieträger in Deutschland nicht relevant oder wegen der natürlichen Bedingungen nicht effektiv ist (z.B. thermische Wasserentsalzung, solarthermische Kraftwerke), sind ausländische Demonstrationsprojekte eine wichtige Voraussetzung für eine mögliche Marktöffnung für deutsche Unternehmen. Nicht zuletzt muß betont werden, daß **kleine und mittlere Unternehmen** sowie Projekte mit kleinem Einzelvolumen bei Inanspruchnahme von Exporthilfen strukturell eher benachteiligt sind.

IV. Einschätzung des künftigen Exportpotentials der deutschen Hersteller

Tab. 17: Wichtige Einflussfaktoren auf den Export und Einschätzung der künftigen Standortorientierung der Produktion (ausgewählte Techniken; Stand Anfang 1996)

| Anwendungsbereiche  | Inlands-potential, Aus-schöpfung in % <sup>1)</sup> | Derzeitiger Markt im Inland | Energie-politisch hohe Priorität in Deutschland (Förderung: FuE)     | Entwick-lungs-politisch hohe Priorität | Ausländi-sche Ein-schätzung der Wett-bewerbs-position deutscher Hersteller | Auslands-dienstlei-stungen (Leasing und Be-trieb) | Standortorientierung deutscher Firmen | Beteiligungsfir-men/ Joint Ventures    | vorwiegend im Inland | In Deutschl. produzierte Kompo-nen-ten mit langfristiger Exportrele-vanz |
|---|---|-----------------------------|--|--|--|---|---------------------------------------|--|----------------------|--|
| Wasserkraft-anlagen<br>- groß<br><br>- Klein                      | 75%   | relativ klein               | Leistungs-erweiterung bei Reinvesti-tionen<br>- ja. Revita-lisierung | eher weni-ger                          | sehr gut   | ja - stark  | vorwiegend im Ausland                 | Konsortien, Aus-landsnieder-las-sungen | vorwiegend im Inland | Turbinen, Generato-ren, Rege-lungen                                      |
| Windkraftanlagen  | 2%  | groß                        | ja (regional)  | ja                                     | stark stei-gend  | - gering  | Auslandsnieder-las-sungen             | X                                      | X                    | Regelungen, Rotoren  |
| thermische Solar-kollektoren                                      | < 1%  | groß                        | ja   | ja                                     | weniger gut  | ja (stark steigend)                               | X                                     | X                                      | upscaling            | Regelungen   |
| Komponenten/Planung von solarthermischen Kraftwerken Photovoltaik | ca. 0.01%   | Klein (+)                   | nicht für In-landmarkt   | ja                                     | gut  | ja (vernüt-lich stark steigend)                   | deutsche Direkt-investitionen         | X (?)                                  | X                    | Spiegel, Systeme   |
| Wärmepumpen   | < 1%  | sehr klein                  | ja (Demonstra-tionsmarkt)  | nein                                   | (sehr gut; Standort jetzt USA) weniger gut; klei-ner In-landmarkt          |   | Klein: X                              |  | groß: X              | hochwertige Vorprodukte Systeme innovative FCKW-freie Systeme            |

1) Stand 1993/94

Quelle: BMWi-Dokumentation Nr. 361, Bonn 1994

## V. Exportförderung

Tatsächlich realisierte Exporte sind - und dies gilt nicht nur für Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger - nur zum Teil abhängig von der technischen Leistungsfähigkeit, den direkten Kosten des Systems oder der Anlage sowie den Serviceleistungen. Auch finanzielle Anreize sowie die Kenntnis der institutionellen und organisatorischen Bedingungen spielen besonders auf finanzschwachen Märkten - vor allem in den Entwicklungs- und Schwellenländern, aber auch in den Ländern Mittel- und Osteuropas - eine wesentliche, nicht selten sogar die entscheidende Rolle. Bei der Gestaltung dieser Rahmenbedingungen kommt den staatlichen Institutionen der Exportländer eine wichtige Rolle zu, nicht selten ist die staatliche Unterstützung von Exportaktivitäten ein entscheidender Wettbewerbsfaktor.

### 1. Traditionelle Exportfinanzierung und -absicherung

Exporteure von Investitionsgütern sind infolge der Wettbewerbssituation auf den Auslandsmärkten in der Regel gezwungen, längerfristige Zahlungsziele zu gewährleisten. Vor allem öffentliche Unternehmen oder staatliche Stellen in Entwicklungsländern, aber auch in Schwellenländern und den Reformstaaten, sind oft kapitalschwach und in ihrer Liquidität beengt. Die bestellten Investitionsgüter sollen von den Abnehmern erst aus den anfallenden Produktionserlösen sukzessive bezahlt werden. Daraus ergibt sich, daß die Bereitschaft des Exporteurs, ein möglichst langes Zahlungsziel zu gewährleisten, einen wichtigen Wettbewerbsfaktor darstellt.

Die traditionellen Geschäftsbanken und die von ihnen angebotenen Finanzierungsinstrumente spielen für die Bereitstellung mittel- und langfristigen Fremdkapitals für den Investitionsgüterexport nur eine untergeordnete Rolle. Diese Aufgabe wird von Spezialinstituten wahrgenommen, namentlich durch die AKA-Ausfuhrkredit-Gesellschaft mbH und die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). Dabei überschreitet der Befristungsrahmen der KfW den der AKA; meist setzt die Kredithilfe der KfW unmittelbar beim Auslaufen eines AKA-Kredites ein.

Die AKA ist ein von 43 Banken getragenes Institut, das seit 1952 Finanzierungen für deutsche Exportgeschäfte bereitstellt. Sie gewährt Lieferantenkredite an deutsche Exporteure und/oder Finanzkredite an ausländische Besteller

oder deren Banken. Außerdem kauft sie bundesgedeckte Exportforderungen deutscher Exporteure an. Für Lieferantenkredite stehen die Plafonds A (1 Mrd. DM) und B, für Finanzkredite bzw. Forderungsankäufe die Plafonds C und D (zusammen 22 Mrd. DM) zur Verfügung. Über den Plafond B konnten vergleichsweise zinsgünstige Kredite bereitgestellt werden, da die AKA dafür auf eine Sonderrediskontlinie der Deutschen Bundesbank zurückgreifen und Zinssätze in Höhe der Diskontrate zuzüglich einer Marge von 0,75% anbieten konnte. Die zur Finanzierung erforderlichen Mittel der anderen Plafonds hingegen werden durch die Gesellschafterbanken zur Verfügung gestellt und haben deutlich höhere Zinssätze. Der Plafond B betrug 2,25 Mrd. DM, er wurde zum 1. Juni 1995 von der Bundesbank auf 1,25 Mrd. DM herabgesetzt und zum 1. Juni 1996 gänzlich aufgehoben.

Die Kreditanstalt für Wiederaufbau wurde 1948 durch Gesetz als Körperschaft des öffentlichen Rechts errichtet. Am Grundkapital in Höhe von 1 Mrd. DM sind der Bund mit 80% und die Länder mit 20% beteiligt. Die KfW fördert die deutsche Wirtschaft mit Investitions- und Exportkrediten sowie mit Zuschüssen und Bürgschaften. Sie gewährt langfristige Kredite für den Export von Investitionsgütern und Anlagen und bietet Projektfinanzierungen für Großprojekte, u.a. im Bereich Energie, an. Im Auftrag der Bundesregierung vergibt sie zudem Kredite und Zuschüsse für Vorhaben im Rahmen der finanziellen Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern; sie nimmt hier die Funktion einer Entwicklungsbank des Bundes wahr. Im Rahmen länderbezogener und sektoraler Strategien prüft sie die entwicklungspolitische Förderungswürdigkeit der Vorhaben, wirkt an deren Vorbereitung mit, überwacht und betreut die Durchführung der Vorhaben und wickelt diese bankmäßig ab (KfW 1994). Der Großteil der von der KfW vergebenen Exportkredite wird aus Marktmitteln finanziert, die nicht unter die Mindestzinsregelungen des OECD-Konsensus (s.u.) fallen. Für die Finanzierung von Ausfuhrgeschäften in Entwicklungsländer steht zudem das KfW/ERP-Exportfinanzierungsprogramm zur Verfügung. Die Kredite aus diesem Programm werden durch den Einsatz von Mitteln aus dem ERP-Sondervermögen des Bundes gefördert, deshalb unterliegt ihre Zinsbildung den Regelungen des OECD-Konsensus.

Zur Absicherung der mit Exportgeschäften verbundenen Käuferrisiken und Länderrisiken können deutsche Exporteure und Finanzierungsinstitute die Ausfuhrleistung des Bundes zur Förderung der deutschen Ausfuhr in Anspruch nehmen. Die Geschäftsführung im Zusammenhang mit der Übernahme und der Abwicklung von Ausfuhrleistung wurde einem Mandator-konsortium, bestehend aus der Hermes-Kreditversicherungs-AG und der C&L

Treuarbeit Deutsche Revision AG, übertragen. Federführend für beide Gesellschaften ist HERMES. Entscheidungen über Anträge auf Übernahme von Ausführungsgewährleistungen trifft der Bundesminister für Wirtschaft mit Zustimmung des Bundesministers der Finanzen sowie im Einvernehmen mit dem Bundesminister des Auswärtigen und dem Bundesminister für wirtschaftliche Zusammenarbeit im Interministeriellen Ausschuß für Ausfuhrgarantien und Ausfuhrbürgschaften (IMA). Dieser tagt im dreiwöchentlichen Turnus. Um eine zeitnähere Entscheidung über eine größere Zahl von Aufträgen zu ermöglichen, sind Zuständigkeiten des IMA - u.a. für Erstentscheidungen über die Indeckungnahme von Geschäften mit Auftragswerten von bis zu 15 Mio. DM - auf den wöchentlich tagenden "kleinen" interministeriellen Ausschuß (KLIMA), dem je ein Vertreter der zuständigen Bundesministerien angehört, übertragen worden.

Das Entgelt für die Ausführungsgewährleistungen ist von den spezifischen Länderrisiken abhängig. Es gibt fünf Länderkategorien, die von I (sehr geringe Risiken, geringstes Entgelt) bis V (stark erhöhte Risiken, höchstes Entgelt) reichen. Für Deckungen von Forderungen oder Forderungsteilen mit Kapitalhilfe-Finanzierung sowie mit Finanzierung durch die Weltbank, die Europäische Investitionsbank oder vergleichbare internationale Finanzierungsinstitute wird das Entgelt für den entsprechend finanzierten Teil bei Ländern der Kategorie IV und V nach dem Entgeltsatz der Länderkategorie III berechnet. Eine Übersicht über die Zuordnung von potentiellen Exportländern zu den Länderkategorien ist hier nicht möglich, da der Bund nicht bereit ist, die entsprechende Liste zu veröffentlichen (Hermes 1995).

Bei Ausführungsgewährleistungen ist der Deckungsnehmer in jedem Schadensfall mit einer bestimmten Quote am Ausfall selbst beteiligt. Diese beträgt - je nach ausländischem Vertragspartner und gedecktem Risiko - zwischen 10 und 25%. (Bei Finanzkreditgarantien und -bürgschaften kann sie auf Antrag auf 5% reduziert werden.) Das Risiko aus der Selbstbeteiligung darf nicht anderweitig abgesichert werden.

### **Der OECD-Konsensus - Randbedingung der Exportfinanzierung**

Seitens der Industrieländer werden staatliche Mittel (bspw. direkte Zuwendungen oder staatlich geförderte Exportkredite) mit dem Ziel eingesetzt, die Exportmöglichkeiten nationaler Hersteller zu verbessern. So kann beispielsweise bei bilateralen Entwicklungshilfeprojekten die Bereitstellung von Entwicklungshilfemitteln von der Beschaffung im Geberland abhängig gemacht oder

lediglich eine teilweise Aufhebung der Lieferbindung zugelassen werden. Es sind auch Fälle bekannt, in denen staatlich geförderte Exportfinanzierungen bewußt dazu bereitgestellt wurden, Offerten von Anbietern aus anderen Ländern zu unterbieten.

Um zu verhindern daß die Industrieländer über staatlich unterstützte Finanzierungsbedingungen um Exporte konkurrieren, hat man bereits 1978 innerhalb der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) eine - seitdem mehrfach verschärfte - freiwillige Vereinbarung über Bedingungen und Verfahrensregeln bei der Vergabe von staatlich geförderten Exportkrediten getroffen, die unter der Bezeichnung "OECD-Konsensus" bekannt ist.

Der OECD-Konsensus legt staatlich geförderten Exportkrediten mit einer Laufzeit von zwei oder mehr Jahren gewisse Bedingungen auf (Hermes 1995, GAO 1995):

- Die staatlich geförderten Finanzierungen (Kredite, Refinanzierungen, Zinssubventionen) sind Mindestzinsregelungen unterworfen. Die Höhe dieser Mindestzinsen wird innerhalb des OECD-Konsensus vereinbart. Infolge der Reform des OECD-Konsensus 1994 sind die - bislang in begrenztem Umfang erlaubten - staatlichen Zinssubventionen für ärmere Länder nicht mehr zulässig, auf von einer öffentlichen Finanzierungsunterstützung profitierende Exportkredite findet die sogenannte CIRR (Commercial Interest Reference Rate) Anwendung.
- Es wurde ein automatisches System der Länderklassifizierung eingeführt, daß sich am Pro-Kopf-Einkommen im Nachweis der Weltbank orientiert und nur noch zwei Ländergruppen umfaßt (bis zur Reform 1994 waren es drei). Nach der Zugehörigkeit der Länder zu den Gruppen sind die Rückzahlungszeiträume gestaffelt; sie sind auf 5 Jahre (8,5 Jahre nach vorheriger Notifikation) für die relativ reichen Länder der Kategorie I (derzeit solche mit einem Pro-Kopf-Einkommen über 4715 US-\$) und 10 Jahre für die ärmeren Länder der Kategorie II begrenzt.
- Liefergebundene Hilfskredite sind für Projekte, die sich wirtschaftlich selbst tragen und deshalb auch kommerziell finanziert werden können, nicht zulässig.
- Es werden Konditionen benannt, unter denen Regierungen den Umfang ihrer liefergebundenen Entwicklungshilfe ausdehnen können.
- Ausgewählte Produkte (Agrarprodukte, militärische Güter) sind von der Konsensusdisziplin ausgenommen.

- Zusätzlich zu den Bedingungen für allgemeine Exportkredite sind zwischen den Teilnehmern besondere Regeln für staatlich geförderte Exportfinanzierungen bei Schiffen, zivilen Flugzeugen sowie konventionellen und nuklearen Kraftwerken vereinbart worden.

Sollte ein Teilnehmerland des OECD-Konsensus beabsichtigen, eine Exportfinanzierung bereitzustellen, die nicht den Vereinbarungen entspricht, so ist es verpflichtet, die anderen Teilnehmerstaaten darüber zu informieren. Damit steht diesen Ländern dann die Möglichkeit offen, ein - ebenfalls regelwidriges - Gegenangebot zu offerieren.

Innerhalb der OECD, wurde ein Ausschuß für Entwicklungshilfe (Development Assistance Committee, DAC) ins Leben gerufen. Ihm gehören alle OECD-Mitgliedsstaaten mit Ausnahme Islands, Mexikos, der Tschechischen Republik und Ungarns, sowie die Kommission der Europäischen Union an. Ziel seiner Arbeit ist es, den Gesamtbeitrag der Leistungen an die Entwicklungsländer zu steigern und den Nutzeffekt der geleisteten Hilfe zu erhöhen. Im DAC ist man zu der Auffassung gelangt, daß die Beschaffung von mit Entwicklungshilfemitteln finanzierten Gütern und Dienstleistungen vorteilhafter ist, wenn sie bei international wettbewerbsfähigen Bezugsquellen erlaubt wird und nicht an Quellen in den Geberländern gebunden ist.

Darum existiert innerhalb der DAC-Mitglieder eine weitere Vereinbarung, die die entwicklungshilferelevanten Aspekte der von den Teilnehmern am OECD-Konsensus angenommenen Vereinbarung aufgreift und um einige auf die Entwicklungshilfe abgestellte Zusatzbestimmungen ergänzt. Diese zielen im wesentlichen darauf ab,

- die Lieferbindungen von Entwicklungshilfeleistungen auf solche Länder und Projekte zu beschränken, die kaum oder überhaupt keinen Zugang zu Marktfinanzierungen haben,
- eine Liste von Kriterien an die Hand zu geben, mit deren Hilfe die entwicklungspolitische Priorität der jeweiligen Projekte und Programme bewertet werden kann,
- spezielle Bestimmungen für die gegenseitige Projektvorprüfung und die Anwendung internationaler Submissionsverfahren für Großprojekte festzulegen und
- Verfahrensregeln hinsichtlich Notifizierung, Transparenz, Konsultation und Prüfung der Praktiken der Mitgliedsländer zu definieren (OECD 1994).

Derzeit dürften die meisten Projekte zur Nutzung erneuerbarer Energieträger - mit Ausnahme größerer Wasserkraftwerke - außerhalb der Regeln des OECD-

Konsensus finanzierbar sein, eine staatliche Exportförderung für derartige Techniken also nicht im Widerspruch zu diesen Vereinbarungen stehen. Hauptgrund dafür ist die Tatsache, daß solche Projekte in der Regel nicht als "wirtschaftlich selbsttragend (commercially viable)" eingestuft werden können. Für Windkraftwerke bzw. Windparks wäre jedoch - sollte sich die bisherige Entwicklung fortsetzen - in nächster Zeit damit zu rechnen, daß diese Argumentation nicht mehr trägt, diesbezügliche Exporte sich also zu Marktbedingungen finanzieren müßten.

Es wäre zu diskutieren, ob im Falle des Überschreitens der Wirtschaftlichkeitsschwelle bei Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger darauf hingewirkt werden sollte, diese aus den allgemeinen Regelungen des OECD-Konsensus herauszunehmen und stattdessen den bereits bei kommerziellen Kraftwerken üblichen Sonderregelungen für Exportfinanzierungen zu unterwerfen.

### **Weitere Maßnahmen der Außenwirtschaftsförderung der Bundesregierung**

Die Bundesregierung will in enger Abstimmung mit der Wirtschaft dafür sorgen, daß den deutschen Unternehmen auch in Zukunft ein modernes und im internationalen Vergleich leistungsfähiges Instrumentarium der Außenwirtschaftsförderung zur Verfügung steht. Zentrales Ziel ihrer Außenwirtschaftspolitik ist die Stärkung der Anpassungs- und Innovationskraft der deutschen Wirtschaft und damit die Sicherung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit.

Die Bundesregierung setzt für die Außenwirtschaftsförderung auf ein "Drei-Säulen-System" aus Botschaften, Auslandshandelskammern und der Bundesstelle für Außenhandelsinformation. Es soll die Geschäftsbeziehungen von Firmen zu Partnern im Ausland über die diplomatischen und berufskonsularischen Vertretungen durch die Förderung von Kontakten zu staatlichen Stellen der Gastländer unterstützen. Die Auslandsvertretungen bieten der deutschen Wirtschaft ein weltweites Netz, das die Anliegen der Unternehmen im Ausland politisch unterstützen und gegenüber den Entscheidungsträgern des Gastlandes vertreten kann. Die Bereitstellung verlässlicher Informationen über die politischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen im Gastland sowie die konkrete Unterstützung gegenüber staatlichen Stellen sind dabei die wichtigsten Hilfen. Darüber hinaus setzen sich die Auslandsvertretungen für die Verbesserung der Marktzugangsbedingungen ein und koordinieren die verschiedenen Förderungsinstrumente vor Ort.

Ergänzt wird die Außenwirtschaftsförderung durch die Arbeit der privatwirtschaftlich organisierten deutschen Außenhandelskammern sowie durch die Bundesstelle für Außenhandelsinformation. Die Auslandshandelskammern bieten vor allem kleinen und mittleren Unternehmen eine breite Palette von Dienstleistungen an; insbesondere in Osteuropa, Asien und Lateinamerika ist das Netz der Auslandshandelskammern in den vergangenen Jahren den expandierenden Märkten angepaßt worden. Mit der Bundesstelle für Außenhandelsinformation verfügt die deutsche Wirtschaft zudem über ein Fachinformationssystem, das derzeit vor allem die regionale Berichterstattung über die Auslandsmärkte ausbaut. Ergänzt wird dieses System durch die Förderung der Beteiligung an Auslandsmessen.

## **2. Exportförderung im Zusammenhang mit Maßnahmen der Entwicklungshilfe - Die Entwicklungszusammenarbeit des Bundes**

Entwicklungshilfeprogramme fördern bis zu einem bestimmten Grade auch nationale Exporte:

- durch direkten Rückfluß, d.h. wenn mit Entwicklungshilfemitteln Produkte und Dienstleistungen im Geberland eingekauft werden,
- wenn durch nationale Entwicklungshilfegelder Firmen in die Lage versetzt werden, an Programmen multilateraler Organisationen zu partizipieren,
- wenn die Nutzung bestimmter Güter und Dienstleistungen aus einem Geberland zu langfristigen Handelsbeziehungen mit dem Empfänger führt.

Das Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit (BMZ) ist der Hauptträger der Entwicklungszusammenarbeit des Bundes. Daneben werden öffentliche Entwicklungshilfeprogramme in geringerem Umfang auch aus Mitteln anderer Ressorts und aus Mitteln der Länder finanziert.

Das BMZ führt selbst keine Projekte und Programme der Entwicklungszusammenarbeit durch. Es sieht seine Aufgaben vielmehr auf den Gebieten

- Planung, Abstimmung und Verhandlungen mit Entwicklungsländern,
- Finanzierung, Steuerung und Kontrolle der bi- und multilateralen Zusammenarbeit,
- entwicklungspolitische Zusammenarbeit mit nichtstaatlichen Organisationen und
- Kontrolle der Verwendung der Mittel

## Finanzielle Zusammenarbeit

Die Finanzielle Zusammenarbeit - auch als Kapitalhilfe bezeichnet - ist dem Volumen nach das bedeutendste Instrument der entwicklungspolitischen Zusammenarbeit. Mittel werden überwiegend in Form günstiger Darlehen gewährt, den ärmsten Entwicklungsländern ("least developed countries (LDC)") werden sie seit 1978 als nicht rückzahlbarer Zuschuß zur Verfügung gestellt.

Typischerweise wird die Durchführung von Entwicklungshilfeprojekten durch die Regierung des jeweiligen Entwicklungslandes angeregt. Diese stellt bei der Bundesregierung einen Antrag auf Finanzierung eines bestimmten Projektes. Die aus Mitteln der Finanziellen Zusammenarbeit geförderten Vorhaben werden vom BMZ gemeinsam mit dem Partner nach entwicklungspolitischen Gesichtspunkten ausgewählt und über die Kreditanstalt für Wiederaufbau abgewickelt. Dabei "achtet die Bundesregierung in allen entwicklungspolitisch geeigneten Fällen darauf, daß Anbieter aus der Bundesrepublik Deutschland entsprechend berücksichtigt werden, ohne die Prinzipien des internationalen Wettbewerbs zu vernachlässigen" (Jahresbericht des BMZ 1994). Auch die KfW ist im Rahmen ihres Prüfungsverfahrens bestrebt, "die Stärken deutscher Anbieter (...) besonders zu berücksichtigen" (Koch 1996). Werden die Darlehen allein aus dem Bundeshaushalt finanziert, liegt der Zinssatz bei 0,75% bei einer Laufzeit der Kredite von 30 bis 40 Jahren.

Weitere Formen der Finanzierung entwicklungspolitisch bedeutsamer Vorhaben sind die Mischfinanzierung und die Verbundfinanzierung. Bei beiden werden über die Mittel der Entwicklungszusammenarbeit hinaus Finanzquellen erschlossen.

Im Rahmen von Mischfinanzierungen, die ebenfalls über die Kreditanstalt für Wiederaufbau abgewickelt werden, werden Mittel der Finanziellen Zusammenarbeit mit Mitteln der KfW gemischt. Die Gesamtkonditionen eines solchen Mischkredits liegen zwar über den üblichen Konditionen für die Gewährung von Mitteln der Finanziellen Zusammenarbeit, bleiben aber immer noch deutlich unter Marktkonditionen. Im Energiebereich werden für die KfW-Mittel üblicherweise eine 10-jährige Laufzeit und Zinssätze zwischen 7 und 8% festgelegt, so daß ein Mischzinssatz zwischen 3 und 4% resultiert. Die Mischfinanzierung ist ein Instrument, das sich vorzugsweise für rentable - d.h. Zinsen und Tilgung selbst tragende - Projekte eignet. Mischfinanzierungen sind stets liefergebunden, allerdings ist aufgrund der Regelungen des OECD-Konsensus,

wonach "rentable" Projekte nur noch zu Marktbedingungen finanziert werden können, der Spielraum dafür enger geworden.

Den Entwicklungsländern steht seit Mai 1994 mit dem Verbundkredit ein weiteres Finanzierungsinstrument im Rahmen der Finanziellen Zusammenarbeit zur Verfügung. Bei Verbundfinanzierungen werden niedrig verzinsliche Mittel der Finanziellen Zusammenarbeit mit langer Laufzeit sowie höher verzinsliche Marktmittel der KfW mit kürzerer Laufzeit zusammen eingesetzt. Der Verbundkredit kann sowohl liefergebunden als auch lieferungebunden vergeben werden, wobei der OECD-Konsensus zu beachten ist. Verbundfinanzierungen werden "zur Finanzierung entwicklungspolitisch förderungswürdiger Projekte der Infrastruktur und der Industrie in Ländern ohne erkennbare Verschuldungsprobleme eingesetzt" (KfW 1995). An die Stelle der Hermes-Bürgschaft der Mischfinanzierung tritt eine Bürgschaft aus einem eigens für die Marktmittel der Verbundfinanzierung von der Bundesregierung geschaffenen Bürgschaftsrahmen. Einen Teil des Ausfallrisikos übernimmt die KfW.

Im Rahmen der Finanziellen Zusammenarbeit wurden in den letzten Jahren Mittel in der Größenordnung von 3 Mrd. DM p.a. zur Verfügung gestellt. 1995 wurden davon rund **12% für Vorhaben im Energiebereich** verwendet. Mit Ausnahme von Vorhaben im Bereich Wasserkraftnutzung haben erneuerbare Energien hier bisher eine untergeordnete Rolle gespielt. Nach Ansicht der KfW können erneuerbare Energien jedoch in Zukunft "zu einem Schwerpunkt der Entwicklungszusammenarbeit werden, wobei Umweltschutz- und Entwicklungsanliegen oft mit deutschen Lieferinteressen einhergehen dürften" (Koch 1996). Derzeit prüft die KfW die Förderung von Windenergievorhaben in Marokko, Ägypten, China und Indien mit einem Gesamtvolumen von etwa 100 Mio. DM.

## Technische Zusammenarbeit

Die Technische Zusammenarbeit ist eine zweite Säule der Entwicklungszusammenarbeit des Bundes. In ihrem Rahmen werden u.a. folgende Leistungen erbracht:

- Entsendung oder Finanzierung von Beratern, Ausbildern, Sachverständigen, Gutachtern oder sonstigen Fachkräften,
- Lieferung oder Finanzierung von Ausrüstungen und Material für die Ausstattung von geförderten Einrichtungen und der entsandten Fachkräfte, wo-

bei der Lieferung oder Finanzierung von Ausrüstung, Material oder Produktionsmitteln nicht an die Entsendung von Fachkräften gebunden ist,

- Aus- und Fortbildung von Fach- und Führungskräften im Entwicklungsland selbst, in anderen Entwicklungsländern oder in der Bundesrepublik Deutschland,
- Zuschüsse zu Ausbildungsmaßnahmen, die von Unternehmen in Entwicklungsländern durchgeführt werden,
- Finanzierungsbeiträge zu Projekten und Programmen leistungsfähiger Träger in den Entwicklungsländern.

Die Technische Zusammenarbeit wird unentgeltlich gewährt. Mit der Durchführung von Maßnahmen im Rahmen der Technischen Zusammenarbeit beauftragt die Bundesregierung überwiegend die "Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH". Wenngleich es kein Auftrag der GTZ ist, die Exportchancen deutscher Produkte zu fördern, ergibt sich doch häufig eine solche Wirkung aus ihrer jeweiligen Projektarbeit. Bei der Nutzung von erneuerbaren Energiequellen sind nach Ansicht der GTZ "die entwicklungspolitischen Ziele der Bundesregierung mit den Lieferinteressen der deutschen Industrie für eine Reihe von Anwendungen verträglich" (GTZ 1996).

Insgesamt hat das BMZ im Zeitraum 1974 bis 1994 im Rahmen der Technischen Zusammenarbeit 499 Mio. DM für Projekte zur Nutzung erneuerbarer Energieträger in Entwicklungsländern bewilligt. Davon entfielen 54% auf den Bereich Solarenergie, 25% auf Biomasse und Biogas, 15% auf Klein- und Kleinstwasserkraft und 6% auf den Bereich Windenergie. Von der Gesamtsumme flossen 50% als Sektormittel in das sogenannte Sonderenergieprogramm (SEP) zur Finanzierung der ersten zehn Länderprogramme und zur Planung der weiter vorgesehenen 19 Programme. Das Sonderenergieprogramm ("Sonderprogramm zur Förderung der Nutzung nicht-erschöpflicher Energiequellen in Entwicklungsländern") wurde im Mai 1979 - unter dem Eindruck der zweiten Ölpreiskrise aufgelegt. Die ersten Maßnahmen in seinem Rahmen wurden in den frühen achtziger Jahren eingeleitet. Das Programm wurde inzwischen weitgehend abgeschlossen (GTZ 1995).

### **Zielkonflikte zwischen Entwicklungspolitik und Exportförderung**

Aus dem Blickwinkel der Exportförderung ist das primäre Ziel die Erschließung ausländischer Märkte für deutsche Hersteller. Die Hauptziele der Entwick-

lungspolitik liegen dagegen darin, Beiträge zur Armutsbekämpfung und zur Sicherung der Grundversorgung zu leisten und in den Entwicklungs- und Schwellenländern einen selbsttragenden Entwicklungsprozeß anzustoßen. Inwiefern beide Ziele in Konflikt stehen, hängt unter anderem vom Spezialisierungsmuster des belieferten Entwicklungs- oder Schwellenlandes ab. Seine Entwicklung wird besonders dann untergraben, wenn eine landeseigene Produktion im gleichen Bereich angestrebt wird, der auch unter die Exportförderpolitik Deutschlands fällt. Da durch die Exportförderung der Angebots- und Wettbewerbsdruck verstärkt wird, behindert dies den Aufbau einer landeseigenen Produktion in den Abnehmerländern selbst. Sind dagegen die Spezialisierungsmuster des Import- und des Exportlandes eher komplementär, so sind die negativen Auswirkungen der Exportförderung geringer. In günstigen Fällen kann die Exportförderung auch aus entwicklungspolitischer Perspektive sehr vorteilhaft für das Abnehmerland sein.

Ein zweiter Diskussionsstrang läuft unter dem Schlagwort "angepaßte Technologien", die als Zwischenstufe des Übergangs von traditionellen zu modernen Technologien gesehen werden (Hemmer 1988). Kritisiert wird hier, daß technische Lösungen, die in Industrieländern entwickelt werden, häufig am eigentlichen "Pflichtenheft" des Abnehmers vorbeigehen, d.h. nicht den örtlichen Gegebenheiten und Anforderungen gerecht werden. Häufig äußert sich das darin, daß die Anlagen keine weitere Verbreitung finden, weil sie z.B. zu teuer und nur durch starke Bezuschussung für die potentiellen Nutzer finanzierbar sind. Ein weiteres damit in Zusammenhang gebrachtes Problem ist die oft äußerst mangelhafte Performance der Systeme nach der Installation, die auf Defiziten bei der Installation selbst, aber auch bei Wartung und Betrieb beruht. Das Konzept der angepaßten Technologien will diese Defizite dadurch vermeiden, daß Anlagen und Maschinen von vornherein so konzipiert sind, daß Ersatzteile möglichst im Land produziert und flexibel bereitgestellt werden können und Installations-, Wartungs- und Reparaturarbeiten möglichst mit lokalem Know-how bewerkstelligt werden können.

Aus Sicht des Exports ist dies eine sehr einseitige Lösung, der viele Technologien eventuell nicht gerecht werden. Hier jedoch allein negative Auswirkungen für das Entwicklungspotential zu sehen, ist zu kurz gegriffen. Denn bei längerfristiger Betrachtung schlagen die mangelnden Projekterfolge auf die Exportmöglichkeiten zurück - zum einen direkt dadurch, daß sie das Image der Technologie und des Herstellerlandes schädigen; zum anderen wird die Wirtschaftskraft des Abnehmerlandes und damit seine Kaufkraft und Zahlungsfähigkeit für ausländische Produkte geschwächt. Tatsächlich wird durchaus von

einzelnen Exporteuren diese systemare Sichtweise vertreten. Wenn die Einsicht wächst, daß in den Balance-of-System-Komponenten, der Erbringung der notwendigen Rahmenleistungen und der Bereitstellung eines funktionsfähigen Gesamtsystems weitere Exportmärkte liegen, die insbesondere in Kooperation mit Herstellern vor Ort gut erschlossen werden können, kann der Gegensatz zwischen Exportförderung und Entwicklungspolitik wesentlich entschärft werden.

### **3. Exportförderung für Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger in anderen Staaten - Zwei Beispiele**

#### **Organisierte Zusammenarbeit staatlicher und privatwirtschaftlicher Einrichtungen in den USA**

In den USA existiert mit dem "Committee on Renewable Energy Commerce and Trade (CORECT)" eine interbehördliche Arbeitsgruppe von 14 Ministerien und Bundesbehörden unter Vorsitz des Energieministeriums (DoE). Neben dem DoE gehören ihr das Außenministerium, das Innenministerium, das Wirtschaftsministerium (DoC), das Verteidigungsministerium (DoD) und das Finanzministerium, die Umweltschutzbehörde EPA, die staatliche Entwicklungshilfeorganisation USAID, das Office of the U.S Trade Representative, die U.S. Small Business Administration (SBA), die U.S. Trade and Development Agency (TDA), die Export-Import Bank der Vereinigten Staaten (Ex-Im-Bank), die Overseas Private Investment Corporation (OPIC) und die U.S. Information Agency an. CORECT wurde 1984 mit der Annahme des Renewable Energy Industry Development Act durch den Kongreß gegründet. Die ursprüngliche Aufgabe bestand in der Koordination staatlicher Aktivitäten, die den weltweiten Handel mit Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger berühren. Diese Rolle wurde 1989 mit der Annahme des Renewable Energy and Energy Efficiency Technology Competiveness Act erweitert. Heute hat CORECT das Mandat,

- einen Plan zur Steigerung des Exportes von Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger aus den USA zu erarbeiten,
- Richtlinien zur Finanzierung dieser Exporte zu entwickeln,
- amerikanischen Firmen, die Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger exportieren, die Bewerbung um Mittel zu erleichtern und
- diesen Firmen geeignete Exportmärkte zu empfehlen.

Dabei wird CORECT nur in geringem Umfang selbst fördernd tätig (die Ausgaben 1993 betragen etwa 2 Mio. US-\$), seine zentrale Aufgabe besteht vielmehr in der Koordination der Tätigkeit staatlicher Einrichtungen sowie der Abstimmung privatwirtschaftlicher Interessen mit staatlichen Aktivitäten.

CORECT arbeitet eng mit dem U.S. Export Council for Renewable Energy (US/ECRE) zusammen. US/ECRE ist ein 1982 gegründetes Konsortium aus sieben amerikanischen Verbänden (American Wind Energy Association, National Geothermal Association, National Association of Energy Services Companies, National Hydropower Association, National Bioenergy Industries Association, Renewable Fuels Association und Solar Energy Industries Association), die ihrerseits mehr als 1000 im Bereich der erneuerbaren Energieträger aktive Unternehmen repräsentieren.

Seit 1993 gibt es einen Richtungswechsel bei CORECT. Anstelle der bisher praktizierten Unterstützung individueller, auf einzelne Techniken fixierter Projekte, entwickelt und unterstützt man - teilweise gemeinsam mit US/ECRE, mit anderen amerikanischen und ausländischen Regierungsstellen sowie mit nicht-staatlichen Organisationen- umfassende Regionalprogramme, die weitgehend technikoffen sind und Barrieren für eine weitergehende Nutzung erneuerbarer Energieträger identifizieren und reduzieren sollen. Beispiele dafür sind:

- das Programm "Renewable Energy in the Americas (REIA)" für Lateinamerika und die Karibik, wo die Firmen einen Markt von 8,5 Mrd. \$ in den nächsten Jahren entstehen sehen,
- die Unterstützung des 1993 von US/ECRE gegründeten "Renewable Energy & Efficiency Training Institute (REETI)", das Dienstleistungen im Bereich der Ausbildung anbietet bzw. vermittelt,
- das Programm "Renewable Energy for African Development (REFAD)", in dem kurz- und mittelfristig übertragbare Projektideen identifiziert und entwickelt und langfristig ein der Nutzung von Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger und von Effizienztechnologien förderliches soziales, finanzielles und technisches Umfeld herausgebildet werden soll,
- die Beteiligung am "International Fund for Renewable Energy and Energy Efficiency (IFREE)", der Pre-Feasibility-Studien unterstützt und internationalen Finanzierungsorganisationen technische Expertise anbietet,
- die Mitarbeit im "Americas 21st Century Program (A21)", in dessen Rahmen in Zusammenarbeit mit dem DoE, dessen National Labs sowie der Privatwirtschaft in Lateinamerika und der Karibik Märkte für Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger und Effizienztechnologien aufgebaut

und der Export diesbezüglicher amerikanischer Güter gesteigert werden soll.

### **Die dänischen Hersteller von Windkraftanlagen im zeitlichen Vorlauf**

Dänische Hersteller haben bis einschließlich 1995 Windkraftanlagen mit einer Gesamtleistung von ca. 3.050 MW gefertigt, ihr Weltmarktanteil liegt bei über 30%. Sie sind zugleich - mit einem Exportanteil der Produktion von mehr als 80% - **die wichtigsten Exporteure auf dem Weltmarkt**. Dies ist das Ergebnis einer engen Zusammenarbeit zwischen Industrie und Politik, wobei letztere die Entwicklung der Windenergie nicht nur unter energiepolitischen Gesichtspunkten betrieben, sondern sehr stark auch industriepolitische Aspekte berücksichtigt hat. Neben der technischen Kompetenz dänischer Unternehmen und einer funktionierenden Exportstrategie ist Dänemarks starke Wettbewerbsposition auch durch die Tatsache bedingt, daß die dänischen Firmen länger als andere Anbieter im internationalen Geschäft sind und über die besseren Verbindungen zu Entscheidungsträgern in Abnehmerländern verfügen.

Aufgrund ihres früh aufgebauten, relativ großen inländischen Referenzmarktes waren dänische Hersteller von Windkraftanlagen in der Lage, bereits deutlich am Boom der Windkraft in den USA (Kalifornien) Anfang der achtziger Jahre zu partizipieren. Das Auslaufen der Steuervergünstigungen in den USA hatte allerdings drastische Konsequenzen für die dänischen Hersteller; fast alle gerieten in finanzielle Schwierigkeiten, viele mußten das Geschäft aufgeben.

Vor allem diese Erfahrung führte zu einer klaren Strategie der dänischen Hersteller, die sie mit massiver politischer Unterstützung umgesetzt haben. Diese Strategie war von der Maxime bestimmt, den Markt für das Produkt Windkraftanlage zu entwickeln und berechenbar zu machen sowie Risiken zu reduzieren. Auf technischer Seite wurde dies erreicht durch die permanente Weiterentwicklung des Anlagenkonzepts in vergleichsweise kleinen Schritten; wissenschaftlich unterstützt durch das staatliche Riso National Laboratory. Auf der politischen Ebene wurde zum einen im Inland der Ausbau der Windkraft weiter gefördert. Dies wurde unter anderem durch den Beschluß des dänischen Energieministeriums, daß Versorgungsgesellschaften die Windenergienutzung (z.B. durch Windparks) verstärkt ausbauen sollten (Projekte mit bis zu 100 MW Leistung) und viele Forschungs-/Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben realisiert. Mit den Offshore-Anlagen wurde frühzeitig die Erschließung eines weiteren Marktsegmentes ermöglicht. Weitere begleitende Maßnahmen sind gün-

stige Kredite für Investitionen sowie Kredite aus einem Fonds der Hersteller, dem "Danish Wind Turbine Guarantee A/S-Fond" (Hoppe-Kilpper 1995). Zudem wurde gemeinsam mit der dänischen Entwicklungshilfeagentur DANIDA ein Konzept der Markterschließung erarbeitet, daß nach einem klaren Schema abläuft, welches in einigen Entwicklungsländern erfolgreich umgesetzt wurde.

DANIDA - formal eine Unterabteilung des Außenministeriums - ist sowohl für die Finanzielle als auch die Technische Zusammenarbeit Dänemarks zuständig. Sie arbeitet eng mit dem Riso National Laboratory zusammen, dessen Mitarbeiter in einem ersten Schritt die Entwicklungsländer als Berater bei der Identifizierung von geeigneten Windregionen unterstützen. Sind diese gefunden, werden in der Regel komplette Windparks im Bereich von mehreren MW finanziert, um die Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit der Technik zu demonstrieren. Teilweise werden von DANIDA bei solchen Projekten die kompletten Devisenkosten (dies entspricht erfahrungsgemäß etwa 75% der gesamten Projektkosten) übernommen. Danach folgen dann langfristig angelegte Kooperationsverträge beim Aufbau einer eigenen Windkraftindustrie im Entwicklungsland, Unterstützung beim Aufbau eines nationalen Testfeldes und die Beratung bei der Gestaltung von notwendigen politischen Rahmenbedingungen (Jargstorf 1996).

Daneben steht DANIDA auch noch das Instrument der Exportförderung zur Verfügung. Auf Antrag können Windkraftanlagen mit bis zu 35% staatlichem Zuschuß rechnen, der in der Regel über einen Mischkredit mit 10-jähriger Laufzeit gegeben wird. Solche Praktiken wirken natürlich wettbewerbsverzerrend, da andere Anbieter ohne derartige Unterstützung bei entsprechenden Projekten deutlich im Nachteil sind.

In den letzten Jahren hat DANIDA ihre Unterstützung für Windenergieprojekte erhöht. Derzeit ist sie vor allem in Kap Verde, Indien und vor allem in Ägypten aktiv, wo im Rahmen eines Dreijahresprogrammes 60 MW Windkraftleistung errichtet und der Technologietransfer für den Bau von Windturbinen in Ägypten unterstützt wird. Für Anlagen in China wurden Mischkredite gewährt (DANIDA 1995).

#### 4. Die Kritik der deutschen Anbieter an den Maßnahmen zur Exportunterstützung und Wünsche zu ihrer Verbesserung

Die dominierende Bedeutung der Schwellen- und Entwicklungsländer unter den aktuellen und künftigen Absatzmärkten bedeutet in der Regel niedrige Zahlungsfähigkeit und -bereitschaft und bringt das **Problem der Finanzierung** mit sich. Deshalb sind die Absatzmöglichkeiten stark gekoppelt mit Projekten, die von Internationalen Entwicklungsinstitutionen wie der Weltbank, UNDP oder UNEP bzw. regionalen Entwicklungsinstitutionen wie der Asian Development Bank durch Vergabe von Zuschüssen und "soft loans" unterstützt werden. Traditionell ist dies besonders bei großen Wasserkraftprojekten von Bedeutung. Daneben haben deutsche Anbieter in einigen weiteren Bereichen gute Chancen, bei supranationalen Programmen, die eine exportfördernde Wirkung besitzen (z.B. die durch die Global Environmental Facility finanzierten Förderprogramme zur CO<sub>2</sub>-Reduktion), zum Zuge zu kommen. Dies gilt vor allem für die Windkraftanlagen, aber auch für "solar home systems" und Geothermie-Projekte.

Auch die bilaterale Entwicklungspolitik, hier insbesondere die Aktivitäten der GTZ und der KfW, haben direkten Einfluß auf die Exportmärkte. Allerdings ist hierbei einem Zielkonflikt zwischen **industrie- und entwicklungspolitischen Interessen** zu begegnen.

Mitarbeiter des TAB und des ISI haben Vertreter vor allem der mittelständischen Unternehmen, die im Bereich Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger tätig sind, zu ihrer Meinung zum System der staatlichen deutschen Außenwirtschaftsförderung und zu Verbesserungswünschen befragt. Die Auswahl der befragten Personen war zufällig, die Aussagen können nicht als repräsentativ im Sinne der empirischen Sozialforschung gelten. In den Gesprächen wurden einige Feststellungen wiederholt geäußert:

- Kleine und mittlere Unternehmen haben oft Probleme, Kontakte zu ausländischen Abnehmern zu knüpfen.
- Für kleine und mittlere Unternehmen ist die Vorfinanzierung bei Aufträgen aus dem Ausland sowie von Marketing durch Präsentation und Demonstration vor Ort ein wesentliches Problem. Kredite dafür sind von den Banken kaum zu bekommen. Einige Firmen berichteten zudem von Schwierigkeiten, für die exportierten Güter auch tatsächlich eine Bezahlung zu erhalten, wes-

halb sie bei Auslandsgeschäften inzwischen nur noch gegen Vorkasse liefern.

- Die staatlich unterstützten Förderinstrumente (z.B. Exportfinanzierung der KfW, Hermes-Bürgschaften des Bundes) sind aufgrund der niedrigen Finanzvolumina ihrer Exportprojekte und den damit verbundenen, unverhältnismäßig hohen Abwicklungskosten für viele Hersteller beispielsweise kleiner Wasserkraftanlagen und Windkraftanlagen kaum zugänglich. Aber auch die Hersteller größerer Wasserkraftanlagen stellen teilweise einen Rückgang der Unterstützung durch die KfW fest, was unter anderem durch Veränderungen beim OECD-Konsensus begründet sein könnte.
- Kleineren und mittleren Unternehmen fehlt - im Unterschied zu Großunternehmen - häufig die Fähigkeit (sowohl personell als oft auch inhaltlich), sich an Ausschreibungen um Fördermittel oder öffentlich unterstützte Aufträge mit Aussicht auf Erfolg zu beteiligen. Zwar bieten Unternehmensberatungen diese Dienstleistung an, allerdings seien sie in Anbetracht des erwarteten Geschäftsvolumens meist viel zu teuer. Große Unternehmen verfügen über eigene Stäbe für die Akquisition, weshalb sie in diesem Bereich wesentlich häufiger zum Zuge kämen. Unterstützt wird dieser strukturelle Vorteil noch durch einige Ausschreibungspraktiken. Als Beispiel wurde hier angeführt, daß seitens der Entwicklungshilfeorganisationen den Nachweis des mindestens zehnjährigen Betriebs einer Wartungsinfrastruktur im betreffenden Gebiet gefordert würde, was für die jungen mittelständischen Unternehmen der Branche völlig unrealistisch sei und de facto einer Marktzutrittsschranke gleichkäme.
- Das Programm zur Förderung der Beteiligung an Auslandsmessen ist der Mehrzahl der befragten Unternehmen bekannt, jedoch sind auch die bezuschuften Standgebühren vielen kleinen Unternehmen zu hoch.
- Statt einzelner Pilotprojekte ohne Begleitmaßnahmen sollten - in Abstimmung zwischen Wirtschaft und Industrie und in Zusammenarbeit mit der Wissenschaft - durchgängige länderspezifische Strategien entwickelt werden, mit denen Märkte vorbereitet werden können.

Der Bundesverband der Deutschen Industrie e.V. (BDI) hat im April d. J. die Ergebnisse einer Befragung von ca. 700 Unternehmen aller Größen zur Beurteilung des staatlichen deutschen Außenwirtschaftsförderungssystems veröffentlicht (BDI 1996). Die Einschätzungen sind nicht branchenspezifisch aufgeschlüsselt. Viele Aussagen der BDI-Studie decken sich jedoch im Grundsatz mit Einschätzungen, die gegenüber Mitarbeitern des TAB und des ISI geäußert wurden.

TAB

## **VI. Optionen zur Steigerung der Exporte von Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen**

In Deutschland (Exportland Nr. 2 nach den Vereinigten Staaten) gibt es zahlreiche erfolgreiche Maßnahmen und Einrichtungen zur Unterstützung der Exportgeschäfte. Dazu zählen Informations- und Beratungsstellen, staatliche Förderung von Exportberatungen, Hilfen bei Anbahnung und Durchführung des Exportgeschäftes, der Exportfinanzierung, Versicherungsfragen, z.B. Exportkreditversicherung, staatliche Wechselkursversicherung, und anderes mehr (BMWi 1993b).

Die im folgenden niedergelegten Optionen setzen diese genannten hilfreichen Maßnahmen voraus und widmen sich ausschließlich den speziellen Aspekten der Exportförderung für Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energien. Hierbei ist der unterschiedliche "Exportreifegrad" dieser Techniken zu beachten und zwischen technikübergreifenden und -spezifischen Maßnahmen zu unterscheiden. Die Optionen berücksichtigen auch Aspekte der Globalisierung der Produktionsstandorte (vgl. Kap. VI.3). Zudem werden Hinweise gegeben, wie die analytischen Defizite der Bestimmung der Exportpotentiale für Techniken erneuerbarer Energiequellen vermindert werden könnten (vgl. Kap. VI.4).

Die hier aufgeführten Optionen sind nicht als konsistente Strategie zur Verbesserung deutscher Exportmöglichkeiten bei Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger zu verstehen. Sie sollen vielmehr das Spektrum von Handlungsmöglichkeiten in diesem Bereich aufzeigen. Auch erforderte die Umsetzung vieler Optionen nicht nur parlamentarische und ministerielle Aktivitäten, sie setzte auch ein aktives Mitwirken seitens der Wirtschaft und ihrer Interessenverbände voraus.

## 1. Technikübergreifende Maßnahmen

### 1.1 Nachfrageorientierte Maßnahmen

Märkte für Techniken zur Nutzung von erneuerbaren Energiequellen lassen sich regional nicht nur quantitativ, sondern auch qualitativ für einzelne Produktsegmente kategorisieren. Maßnahmen zur Exportförderung, die auf den Bedarf und die Rahmenbedingungen der importierenden Länder genauer abgestimmt sind, können in ihrer Wirksamkeit entscheidend verbessert werden, wenn sie die **Gegebenheiten und Erwartungen in den Einfuhrländern berücksichtigen**. Manche Exporthemmnisse sind allerdings auch technik- bzw. länderübergreifend wirksam, wie z.B. die niedrige Kaufkraft in Entwicklungs- und Schwellenländern, aber auch in Osteuropa und den GUS-Staaten, hohe Importzölle oder ungeklärte zukünftige Eigentumsverhältnisse und die offene weitere Entwicklung der Energiewirtschaft im Einfuhrland. Ein Abbau dieser Hemmnisse und die Verbesserung der strukturellen Bedingungen für Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger auf Auslandsmärkten wirken zwar weitgehend unspezifisch in bezug auf die zur Deckung der Nachfrage in Betracht kommenden Exporteure und damit auf die nationalen Exportchancen; sie sind zugleich aber wichtige Voraussetzungen für eine wachsende Nachfrage nach derartigen Techniken und für das Erschließen neuer Exportmöglichkeiten.

Betrachtet man die Exportpotentiale in den **OECD-Ländern**, so wird man neben der Tatsache festgefügtter und etablierter Strukturen in der Energieversorgung die Bedeutung umweltschutzgeprägter Motive bei Marketing und Vertrieb zu beachten haben. Insbesondere in dieser Ländergruppe relevante Maßnahmen sind:

- Bei der **Liberalisierung des Strommarktes**, wie sie jetzt auf EU-Ebene angestrebt wird, wäre es förderlich, wenn die Marktregeln so gestaltet würden, daß durch die Öffnung des Stromerzeugermarktes sowohl faire Chancen für zusätzliche Anbieter (z.B. auch unabhängige Anbieter) als auch Anreize für Investitionen in Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen entstehen. Diese Regeln müßten auch die Interessen der in manchen Technikbereichen aktiven Dienstleister und Betreibergesellschaften berücksichtigen (z.B. Windkraftanlagen, revitalisierte Wasserkraftwerke, Nahwärmesysteme).

- In liberalisierten Märkten wären für **unabhängige Stromerzeuger** (Independent Power Producers, IPP), die Strom aus erneuerbaren Energien einspeisen, geeignete Anreize durch eine angemessene Vergütung des erzeugten Stroms sowie Preise für Spontan- und Wartungsreserve zu schaffen bzw. auszuweiten; beispielsweise könnte es hilfreich sein, eine dem deutschen Stromeinspeisungsgesetz vergleichbare Regelung oder ein der Praxis der kalifornischen Regulierungsbehörde entsprechendes Vorgehen der nationalen Aufsichtsbehörden zu etablieren.
- Von Vorteil für eine verstärkte Nutzung erneuerbarer Energieträger wäre eine **harmonisierte weitere Anhebung von Energiesteuern oder CO<sub>2</sub>-Abgaben**. Ein solches Vorgehen würde den externen Kosten konventioneller Energiewandlung mehr Rechnung tragen und die ökologischen Vorteile erneuerbarer Energieträger zumindest partiell in betriebswirtschaftliche Kostenrechnungen einfließen lassen. Sollte die EU hier vorangehen, könnte dies Herstellern und Dienstleistern einen technischen und zeitlichen Vorsprung gegenüber den Wettbewerbern in anderen OECD-Ländern ermöglichen.

Eine zweite Kategorie bilden die **mittel- und osteuropäischen Staaten** sowie die **GUS-Staaten**, in denen zur Zeit eine Umstrukturierung der Energieversorgung vonstatten geht, die mit nicht unbeträchtlichen Problemen verbunden ist.

- Mit wachsender wirtschaftlicher Prosperität werden in Zukunft auch Umweltaspekte bei energiewirtschaftlichen Entscheidungen in diesen Staaten wachsende Bedeutung erlangen. In diesem Zusammenhang könnten auch erneuerbare Energieträger eine größere Rolle spielen. Die EU und die Bundesregierung fördern gegenwärtig in größerem Umfang Maßnahmen zur rationellen Energieverwendung in den Staaten Mittel- und Osteuropas. Die daraus erwachsenden Kontakte und Erfahrungen könnten auch genutzt werden, um deutschen Anbietern von Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energien einen Zugang zu diesen Märkten zu eröffnen bzw. zu erleichtern.

**Entwicklungs- und Schwellenländer** repräsentieren zwei weitere Marktkategorien. Beide Ländergruppen, vor allem aber die Schwellenländer, sind durch ein starkes Wachstum der Nachfrage nach Elektrizität gekennzeichnet, so daß der Anreiz zur Nutzung des Potentials auch der erneuerbaren Energiequellen vergleichsweise hoch ist.

- Nicht selten ist die Zahlungsfähigkeit, wenn auch in sehr unterschiedlichem Ausmaß, ein beschränkender Faktor für den Export in diese Länder. Des-

halb sind **bi- oder multilaterale Zuschüsse und verbilligte Kredite** an diese Abnehmerländer oder **Bürgschaften** für die Exporteure ein wichtiges Förderinstrument, das im übrigen auch aus globalen Umwelt-, insbesondere aus Klimaschutzgründen, gerechtfertigt werden kann. Derartige Maßnahmen müssen für einige Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger **im Einklang mit dem OECD-Konsensus und den WTO-Regeln** erfolgen ("World Trade Organisation" mit integriertem Schlichtungssystem für alle Streitfälle in den Abkommen GATT, Allgemeines Zoll- und Handelsabkommen, GATS, Allgemeines Abkommen über den Handel mit Dienstleistungen und TRIPS, Abkommen zum Schutz geistiger Eigentumsrechte; BMZ 1995), der politische Spielraum für eine Exportförderung durch lukrative Finanzierungen ist aber oft beträchtlich. Derartige Finanzierungen spielen auch bei der Unterstützung der Exporte der jeweiligen nationalen Hersteller durch ausländische Regierungen eine wachsende Rolle.

- Für die Erschließung des Marktes in attraktiven Importländern ist die **Erforschung der Diffusionsprozesse und Implementationshemmnisse** auf technischer, sozialer und kultureller Ebene bei verschiedenen Anwendungen erneuerbarer Energien notwendig. Deshalb wäre zu überprüfen, wie diese Hemmnisse und Gegebenheiten in wichtigen Einfuhrländern systematisch dargestellt und für interessierte deutsche Hersteller zugänglich gemacht werden könnten (z.B. über die Fachverbände oder die Bundesstelle für Außenhandelsinformation).
- Auch in vielen Entwicklungsländern werden Transformations- und Deregulierungsprozesse künftig kommerzielle Energieerzeugung und Energiedienstleistungen ermöglichen. Bei absehbar steigender Nachfrage müssen Marktmechanismen und privatwirtschaftliche Finanzierungswege entwickelt und genutzt werden. Die GTZ sieht hier Chancen insbesondere für flexible Unternehmen, die neben Einzeltechniken auch das Systemmanagement mit anbieten können. Für diese wäre eine gezielte Unterstützung des Marktzuganges in Entwicklungsländern erforderlich (GTZ 1996).
- Häufig existieren bei Entscheidungsträgern in potentiellen Importländern nur geringe Kenntnisse über die Leistungsfähigkeit von Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energien. Zudem fehlen Erfahrungen mit Planung, Betrieb und Wartung entsprechender Anlagen. Darauf gerichtete **Beratungs- und Fortbildungsprogramme**, die in den Abnehmerländern und in Deutschland erarbeitet und durchgeführt werden, würden neben einer Verbesserung des Wissensstandes ein vertieftes Bewußtsein für die energie- und umweltpolitische Rolle erneuerbarer Energieträger schaffen und einen **Beitrag zur**

**Marktvorbereitung** leisten. Eine Beteiligung der öffentlichen Haushalte an derartigen Aktivitäten wäre hilfreich.

- Je nach den Markt- und Bedarfserfordernissen würde die **Entwicklung standardisierter innovativer Techniken und Systeme für spezielle Einsatzzwecke** in den Importländern (wie zum Beispiel "stand-alone"-Photovoltaik-Systeme, Meerwasser-Entsalzungsanlagen mit Windenergie, solarthermische Fischtrocknungsanlagen) die Exportmöglichkeiten verbessern. Gegebenenfalls wäre eine Unterstützung diesbezüglicher Entwicklungsvorhaben mittels **Förderung durch Bundesministerien** zu erwägen.
- Generell gilt, daß **Rahmenmaßnahmen zur Stärkung der Umweltpolitik**, gerade auch in den Ländern, wo der Zielkonflikt mit anderen Politikfeldern noch stärker ausgeprägt ist als in den Industrieländern, den Einsatz erneuerbarer Energiequellen begünstigen. Ein Einwirken auf die Anpassung der energierelevanten umweltbezogenen Gesetzgebungen in einzelnen Ländern an strengere, internationalen Standards entsprechende Auflagen seitens der Bundesregierung und der EU hätte darum mittelbar auch Auswirkungen auf die Nachfrage nach Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger.

## 1.2 Vermittelnde Maßnahmen

- Ein wichtiger Bereich liegt in der **Bereitstellung und Vermittlung von Finanzierungen**. In der herkömmlichen deutschen Exportförderpolitik haben sich die Hermes-Bürgschaften und die Exportfinanzierung durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau bewährt. Oft sind diese Optionen aber für Exportvorhaben im Bereich erneuerbarer Energien nicht verfügbar oder unpassend, z.B. wegen zu kleiner Projektvolumina. Hier müßte deshalb nach Möglichkeiten gesucht werden, wie Garantieleistungen und Finanzierungsangebote auch auf diesen Bereich übertragen werden können. Gerade mittels der **Übernahme von Garantien durch staatliche Stellen** könnten zusätzliche Kapitalressourcen z.B. auch aus der deutschen Industrie, in die Finanzierung eingebunden werden.
- Um das **Überschreiten der kritischen Masse** für die Inanspruchnahme der Exportförderung zu gewährleisten, könnten auch Mechanismen für die **Bündelung mehrerer kleinerer Exportvorhaben** etabliert werden. Hierzu wären insbesondere Aktivitäten der Unternehmen und ihrer Verbände erforderlich. Die **Entwicklung von Finanzierungsmechanismen für Projekte**

mit **kleinem Volumen** wird bereits von der GEF (Global Environmental Facility) vorangetrieben.

- Vertreter von Bundesregierung und Landesregierungen haben nicht selten die Gelegenheit, anlässlich von Kontakten mit ausländischen Regierungen die Interessen deutscher Hersteller zu vertreten. Diese vermittelnden Maßnahmen werden hauptsächlich für traditionelle Produktbereiche genutzt, während sie für relativ neue Produkte und Dienstleistungen häufig vernachlässigt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Attraktivität der Märkte mit subventionierten Energiepreisen für die Exporteure geringer ist als diejenige von Ländern, deren Energiepreise an den Weltmarktpreisen orientiert sind.
- Die markt- bzw. nachfrageorientierte Entwicklung bestimmter Technologien leitet bereits zu den vermittelnden Maßnahmen seitens öffentlicher Institutionen über. In der Tat werden FuE-Kooperationen mit Abnehmerländern, insbesondere zwischen Industrie- und Entwicklungsländern z.B. auch von Seiten internationaler Entwicklungsinstitutionen empfohlen und gefördert.
- Auf der Ebene des Marketing bieten sich noch weitere Maßnahmen an, bei denen der Bund unterstützend wirken könnte. Dazu zählen insbesondere die **stärkere Einbeziehung** der Export-Industrie für regenerative Energietechniken in **bilaterale Wirtschaftsgespräche** auf Regierungsebene sowie **Vermittlungsdienste zwischen Herstellern und ausländischen Kunden**. Unter anderem wäre wünschenswert, daß die deutschen Botschaften in den Abnehmerländern verstärkt die Marketinganstrengungen deutscher Unternehmen unterstützen und beim Anbahnen von Gesprächs- und Geschäftskontakten mit potentiellen Kunden behilflich wären.
- Für energietechnische Projekte in Entwicklungsländern werden in der Regel **Vor- und Machbarkeitsstudien** erarbeitet, die häufig aus nationalen und internationalen Entwicklungshilfemitteln finanziert oder mitfinanziert werden. Erfahrungen mit solchen Projekten zeigen, daß Anbieter aus den bei der Finanzierung beteiligten Ländern bei der Umsetzung der Projekte nicht selten im Vorteil sind. Daher wird eine Angleichung an internationale Akquisitionspraktiken bei der Sicherung der Ausgangsposition deutscher Hersteller empfohlen. (Beispielsweise finanzieren die USA in ihrem IFREE-Programm Vor- bzw. Machbarkeitsstudien aus Mitteln von USAID, dem US Department of Energy, der Environmental Protection Agency und der Rockefeller Foundation und verbinden dies gleichzeitig mit einem Marketing für US-Leistungen (Terrado 1995)). Deutsche Regierungsstellen und beauftragte Agenturen und Unternehmen könnten inländischen Unternehmen hel-

fen, an entsprechenden Projektvorstudien **mitzuwirken**, um die darin erarbeiteten Planungen mit höherer Wahrscheinlichkeit durch deutsche Hersteller realisieren zu können.

- Von Bedeutung ist die **Repräsentanz gegenüber wichtigen Akteuren der internationalen Entwicklungspolitik**: Bei der Projektbewilligung beispielsweise durch die Weltbank geht auch der Stand der vorgesehenen Technik in die Bewertung ein. Großfirmen setzen deshalb teilweise eigene Lobbyisten ein. Für Märkte, die wesentlich von kleineren und mittleren Unternehmen bedient werden, wären Maßnahmen für die Verbesserung der Repräsentanz gegenüber wichtigen Akteuren der internationalen Entwicklungspolitik zu entwickeln. Offen ist, ob dies allein staatlicherseits oder mit der staatlichen Unterstützung eines privatwirtschaftlich organisierten Gremiums zu leisten wäre (Beispielhaft könnte hier das US/ECRE sein).
- Wichtig ist auch die **Unterstützung** der verstärkten Präsentation deutscher Hersteller von Energiebereitstellungslösungen mit erneuerbaren Energiequellen auf wichtigen **Ausstellungen und anlässlich von Wirtschaftskonferenzen** sowie regionalen Energie- und Umweltkonferenzen im Ausland.

### 1.3 Angebotsorientierte Maßnahmen

Einige Exporthemmnisse ergeben sich aus der zum Teil mittelständischen Struktur der deutschen Hersteller im Bereich der Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen. Dazu gehört auch die geringe Kapazität für Marktforschungs- und Lobby-Aktivitäten in diesen Teilmärkten. Während auf letztere bereits oben eingegangen wurde, bestehen in puncto Marktforschung noch weitere Förderoptionen.

- Über die Bundesstelle für Außenhandelsinformation (BfAI) oder Auslandspräsentationen der deutschen Wirtschaft könnten zusätzliche, **gezielte Marktinformationen** angeboten werden. Dies schließt ein, daß die BfAI noch offensiver als bisher für die von ihr angebotenen Dienstleistungen werben muß, da ihr Leistungsspektrum bei kleinen und mittleren Unternehmen oft nur ungenügend bekannt ist.
- **Anbieter verschiedener Techniken** zur Nutzung erneuerbarer Energien sollten die Möglichkeiten einer verstärkten **Kooperation** prüfen. Die dadurch entstehende Bündelung der Kompetenz bei einem Ansprechpartner vermindert die Akquisitionskosten der deutschen Hersteller und könnte dem Ab-

nehmer im Ausland die Vorauswahl für seinen speziellen Anwendungsfall erleichtern. Denkbar wäre auch die Bildung einer privatwirtschaftlich organisierten Institution, die Exportaktivitäten insbesondere der KMU unterstützt. Dazu zählen beispielsweise das Kumulieren von kleinen Volumina von Einzelprojekten, um Förder- und Finanzierungsschwellen zu überschreiten sowie das Wahrnehmen von Beratungsaktivitäten und Lobby-Aufgaben.

- Gerade mittelständische Anbieter konzentrieren sich in der Regel eher auf Einzeltechniken. Von seiten der Käufer werden jedoch oft Systemlösungen, z.B. Wind-Diesel-Hybridsysteme oder komplette Dorfstromversorgungen, nachgefragt. Unternehmen sollten ihre Bemühungen darauf ausrichten, hier in Zukunft verstärkt auch als **Systemanbieter** tätig zu werden. Gegebenfalls wäre eine öffentliche Förderung entsprechender Entwicklungsarbeiten in Betracht zu ziehen.
- Für die marktorientierte Weiterentwicklung der Technologien bedarf es weiterhin der **Innovations- bzw. FuE-Förderung**. Dies sollte auch Demonstrationsvorhaben mit einschließen. Die Tatsache, daß teilweise Anwendungsbereiche eine Rolle spielen, die in Deutschland u.a. wegen der z.T. relativ ungünstigen natürlichen Verhältnisse weniger relevant sind, unterstreicht die Notwendigkeit, **Demonstrationsmärkte** nicht nur im Inland, sondern auch **in den für den Export prädestinierten Abnehmerregionen** zu schaffen ("Schaufensterprojekte", stärkere Nutzung der EU-Mittelmeerpolitik auch durch Deutschland, z.B. solarthermisches Demonstrationskraftwerk in Marokko oder Ägypten, Photovoltaiksysteme in abgelegenen Orten im Nahen Osten).

Häufig werden die angebotsorientierten Maßnahmen technikspezifische Maßnahmen sein, die auf verbesserte technische Merkmale oder Kostenreduktionen abzielen.

## 2. Technikspezifische Maßnahmen

Im folgenden wird eine Reihe technikspezifischer Optionen genannt, die im wesentlichen aus den Bedingungen und Perspektiven der einzelnen Techniken abgeleitet werden und über die in Kap. VI.1 genannten Optionen hinausgehen.

Für den Bereich der nationalen und internationalen Politik wäre zu prüfen, welche Rolle die verschiedenen Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energien

in den kommenden Jahrzehnten spielen könnten und sollten. Diese Klärung müßte sowohl in den G-7-Ländern als auch in denjenigen OECD-Ländern vorangetrieben werden, die an den jeweiligen Märkten partizipieren (z.B. Verbreitung der Solarkollektoren zur Warmwasserbereitung, Sicherung des Marktes für Windenergieanlagen, Schaffung eines Marktes für solar-fossile Hybridkraftwerke zur Stromerzeugung im Sonnengürtel der Welt oder Beschleunigung des Wachstums auf dem PV-Markt vom heutigen 100 MW-Bereich in den Gigawatt-Bereich).

### Windkraftanlagen

- Für die Exporte von Windkonvertern und deren Komponenten bedarf es z.T. spezifischer Anwendungsentwicklung (z.B. für den Transport zerlegbare Rotorblätter, Fernüberwachung und -steuerung), die teilweise mit öffentlichen FuE-Zuschüssen beschleunigt werden könnte, um mit ausländischen Herstellern gleichzuziehen oder einen "Know-how"-Vorsprung der deutschen Hersteller zu erreichen.

### Photovoltaik

- Es wäre nachteilig, wenn die Auslagerung der **PV-Modulherstellung** aus Deutschland dazu führte, daß die durch öffentlich geförderte FuE erzielte Technologieführerschaft auf dem Gebiet der kristallinen Silizium-Technik aufs Spiel gesetzt würde. Zur Vermeidung kurzfristiger Verluste seitens der deutschen Hersteller ist diese Entscheidung der Produktionskonzentration an einem Standort mit günstigeren einheimischen Kosten- und Marktverhältnissen durchaus verständlich. Möglicherweise beschleunigt diese Produktionszusammenlegung in den USA sogar die Preisdegressionen von Photovoltaik-Modulen und damit die PV-Nachfrage. Deshalb sollten die deutschen Hersteller von PV-Systemkomponenten darauf bedacht sein, alle notwendigen Vorbereitungen zur Produktionsausweitung der **übrigen Systemkomponenten** nach den jeweils neuesten Verfahrens- und Marktkenntnissen vorzubereiten.
- Eine zu gravierenden Rücknahme der öffentlichen FuE in die Photovoltaiksysteme würde die zukünftige Marktposition deutscher Unternehmen deutlich schwächen, eine stärkere **Orientierung auf spezifische Anwendungen**

**und Systemlösungen** sowie eine finanzielle Beteiligung der Produzenten bei den FuE-Arbeiten könnte jedoch für eine Stärkung der Exportfähigkeit förderlich sein. Damit verbunden wäre die Notwendigkeit, die Physik und Fertigungstechnik der Photovoltaik auch in Deutschland weiterhin intensiv zu fördern, um Standortchancen für die Fertigungsanlagen der nächsten Generation im Inland zu sichern.

- Vor dem Hintergrund der Auslagerung der PV-Modulherstellung durch deutsche Hersteller wird noch einmal darauf hingewiesen, daß nur aus einem **starken und vielfältigen Inlandsmarkt** für die Photovoltaik heraus ein konkurrenzfähiger Export entstehen kann. Denn ein solcher Inlandsmarkt liefert aufgrund der Vielfalt der Anwendungen erst die notwendige Erfahrung mit den neuen Techniken, die zu qualitativ hochstehenden Systemen und Dienstleistungen führt und stellt zudem ein wichtiges "Schau-fenster" für Auslandskunden dar.

### **Thermische Solarkollektorsysteme**

- Kostengünstige, genau anzeigende **Wärmemeßgeräte, intelligente Regeleräte und hocheffiziente Umwälzpumpen** bieten für deutsche Hersteller die besten Chancen im internationalen Wettbewerb, um hochwertige solartermische Kollektorsysteme auszurüsten. Deshalb sollten die deutschen Komponenten- und Systemhersteller an diesen Komponenten Verbesserungen anstreben, um insbesondere in den Ländern der gemäßigten Zonen (ihre Hauptkunden) Systeme mit hohen Jahresnutzungsstunden anbieten zu können.

### **Solarthermische Kraftwerke**

- Da Deutschland maßgeblich bei der Entwicklung solarthermischer Kraftwerke beteiligt ist, bieten sich für einige deutsche Hersteller einzelner Komponenten gute Chancen für die Beteiligung an ersten kommerziell betriebenen solarthermischen Kraftwerken in Nordafrika, Mexiko oder Indien (auch hier ist das IPP-Modell wichtig und politisch und finanziell unterstützenswert). Hilfreich wäre politische Unterstützung durch die Bundesregierung, um die Errichtung erster Anlagen dieser neuen Technologie mit einer

Förderung aus dem Regionalfond der Europäischen Union oder der Global Environmental Facility voranzubringen.

Im Hinblick auf das Entwicklungspotential einiger Bauformen der solarthermischen Kraftwerke scheint aber weiterhin eine FuE-Förderung und Demo-Förderung notwendig, um die Lücke zwischen "proven technology" und Entwicklungsergebnissen zu schließen.

## Wärmepumpen

- Im Anwendungsbereich der Wärmepumpen besteht die Gefahr, daß deutsche Hersteller auf diesem Technikfeld ins Hintertreffen geraten, weil der Binnenmarkt zur Zeit sehr klein ist. Die inländische Nachfrage ist relativ gering, weil die Strompreise relativ hoch und die Brennstoffpreise, die die Wärmeerzeugungskosten aus Kesselanlagen bestimmen, relativ niedrig sind. Es wird deshalb angeregt, die im Jahre 1996 laufende Evaluation zum Förderprogramm für erneuerbare Energiequellen dahingehend auszuwerten, welche **Voraussetzungen** als besonders wichtig für eine **verstärkte Nutzung der Wärmepumpentechnik** erwogen werden sollten. Weiterhin sollte angestrebt werden, die Systeme der Wärmepumpenanlagen so auszulegen, daß sie im Winter als Wärmepumpen und im Sommer als Kälteanlagen betrieben werden können.

## Geothermie

Wie bei anderen Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energien, die als umweltfreundlich und klimaschonend eingestuft werden, sind auch bei der Geothermie günstige energie- und förderpolitische Rahmenbedingungen (hier ferner geeignete geologische Bedingungen) Voraussetzung für die positive Entwicklung des Binnenmarktes bzw. der Auslandsaktivitäten. Derzeit und mittelfristig sind unter den deutschen Bedingungen nur Potentiale für Niedrigtemperaturanwendungen zu erkennen. Insbesondere die Senkung der spezifischen Investitionskosten (z.B. **Standardisierung** der Hauptausrüstungen), die **Beschleunigung der Genehmigungsverfahren**, die Kooperation mit der Energiewirtschaft und die weitere **Verteilung des Risikos der Prospektion** sind von großer Bedeutung (Schneider et al. 1995).

- Im Hinblick auf die Ebene der internationalen Kooperation wird von der Geothermischen Vereinigung eine deutsche **Beteiligung am "IEA-Implementing Agreement on Geothermal Energy"** für notwendig erachtet (Bußmann 1996a), um gerade auf den derzeit wirtschaftlich interessanten Auslandsmärkten besser bekannt und präsent sein zu können.

### 3. Maßnahmen im Zusammenhang mit der Globalisierung der Produktionsstandorte

- In der Globalisierung der Produktion wird häufig die Möglichkeit der Verlagerung von Produktionsstätten in Schwellen- oder Entwicklungsländer bzw. Niedriglohnländer mit der Gefahr gesehen, daß davon negative Effekte für Volkseinkommen und Beschäftigung im Inland einhergehen. Insgesamt ist hier jedoch eine differenziertere Sicht nötig, um dem Problem gerecht zu werden. Zunächst sind zumeist "Low-Tech"-Komponenten von der Verlagerung betroffen. Die deutschen Hersteller sollten sich deshalb **eher auf die heimische Produktion von High-Tech-Komponenten konzentrieren**.
- Außerdem ist es häufig ratsam, sich **durch internationale Kooperationen**, beispielsweise als "Joint Venture" mit einem im jeweiligen Land ansässigen Unternehmen oder in Form einer Zusammenarbeit mit interessierten Unternehmen zur Präsenz auf Drittmärkten, **den Marktzugang zu sichern**. Insbesondere Dienstleistungen, z.B. anspruchsvollen Wartungsarbeiten, lassen sich gut über Auslandskooperationen abdecken.
- Auch die Gründung von **eigenen Auslandsniederlassungen** kann durchaus positive Rückwirkungen auf die Absatzmöglichkeiten deutscher Exporteure haben. So ist beispielsweise die Unterscheidung zwischen Fertigungs- und Vertriebstöchtern von Bedeutung, denn letztere können eine wichtige Rolle bei der Vermarktung vor Ort übernehmen. Eine bessere statistische Erfassung der Verlagerungen und ihrer Auswirkungen wird hier empfohlen, um auch mit längerfristiger Perspektive eindeutiger Rückschlüsse ziehen zu können.

Wenn die Verlagerung arbeitsintensiver Produktionsschritte tatsächlich zu einer Verbilligung des Produkts führt, kann dies die **Marktdiffusion der betreffenden Technik insgesamt beschleunigen**. Sieht man die für die Verlagerung relevanten Niedriglohnländer gleichzeitig als potentielle Abnehmerländer an, kann diese Entwicklung noch dadurch verstärkt werden, daß die Produktion

dort **zusätzliches Einkommen und damit Kaufkraft in den Abnehmerländern** generiert. Die Nachfrage nach High-Tech-Komponenten und technologieunspezifischen Komponenten, z.B. aus der Elektrotechnik, kann sich dadurch u.U. soweit erhöhen, daß ein positiver Nettoeffekt für Beschäftigung und Einkommen in Deutschland resultiert. Weitet man die Sicht noch stärker aus und nimmt die bei einer Verlagerung neu zu gründenden Produktionsanlagen mit in den Blick, könnten hier auf indirektem Wege **neue Exportmärkte im Anlagenbau** entstehen.

#### 4. Maßnahmen auf der analytischen Ebene

Bei den Untersuchungen im Rahmen dieser Studie ist eine Reihe von Defiziten bei der statistischen Datenbasis, aber auch bei Forschungsergebnissen deutlich geworden. Eine Beseitigung dieser Defizite würde die Aussagefähigkeit zukünftiger Arbeiten in diesem Bereich verbessern, zudem würde die Entscheidungsfindung in Wirtschaft und Politik erleichtert.

- Von großer Bedeutung wäre eine möglichst **schnelle Anpassung der Außenhandelsstatistik** an die Erfordernisse der betroffenen Exporteure sowie von Politik und Wissenschaft. Für Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger bedeutet dies zur Zeit eine **separate Erfassung** ausgewählter Einzeltechniken (Solarabsorber und unterschiedliche Kollektorsysteme; Photovoltaikzellen, -module und -systeme inklusive spezieller Anwendungen wie z.B. solare Wasserpumpen; Wärmepumpen, wie dies bis 1992 der Fall war; Motoren und BHKW für Deponie-, Klär- und Biogasnutzung) sowie die **Neuerfassung von Windkonvertern** nach Größenklassen und nach Komponenten (Masten, Getriebe, Rotorblätter, Regler u.ä.).
- In der Produktionsstatistik sollte eine **differenzierte Reihe für Preisindices** einzelner Techniken der erneuerbaren Energiequellen veröffentlicht werden, die infolge von Lernkurven und Mengen-Kostendegressionen nicht mit dem Preisindex der übergeordneten Warengruppe inflationsbereinigt werden können.
- Sollte Interesse an einer tiefergreifenden **Analyse der Exportpotentiale** und -strategien ausländischer Hersteller für Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen bestehen (die zum einen Rückschlüsse auf die internationale Wettbewerbssituation zuließe, zum anderen das Auswerten der Erfahrungen von Wettbewerben ermöglichen würde), so wären detaillierte Be-

fragungen bei deutschen Herstellern und ausländischen energiewirtschaftlichen Instituten durchzuführen. Diese Befragungen sollten **technik- und länderspezifisch** sein und die Ergebnisse anhand eines Kriterienkatalogs bzgl. der Innovations- und **Diffusionsschwierigkeiten** und **günstigen Verbreitungsbedingungen** bewertet werden.

- Anhand dieser Bewertung könnten auch die Kooperationen von Staat und Wirtschaft **wichtiger Wettbewerbsländer** (z.B. USA, Japan) analysiert werden mit dem Ziel zu klären, welche technischen und regionalen Schwerpunkte diese Exportländer zur Zeit setzen. Aufgrund dieser Ergebnisse wäre die Konzentration deutscher Exportschwerpunkte auf bestimmte Techniken und Regionen (z.B. Europa, Rußland, Indien und ausgewählte afrikanische Regionen) weiter einzugrenzen.
- Für diese Regionen und Techniken könnte ein **jeweils angepaßtes Konzept** zwischen Regierung (BMWi, BMBF, BMZ und Auswärtiges Amt) und den betroffenen Wirtschaftsverbänden bzw. Unternehmen entwickelt werden, das jene Empfehlungen fallweise aufgreift, die im BMWi-Gesprächszirkel (1995) genannt wurden (z.B. Einbezug in bilaterale Wirtschaftsgespräche, Unterstützungen von Ausstellungen, Förderung von Demonstrationsanlagen, Personalausbildung).
- **Erfolgreich gestaltete Rahmenbedingungen** zur Diffusion der Anwendung erneuerbarer Energiequellen könnten **anhand vergangener Erfahrungen in einzelnen Ländern und für einzelne Technologien** recherchiert und dokumentiert werden (z.B. thermische Solarkollektoren in Israel, Biomassenutzung in Österreich, Windenergienutzung in Dänemark, Windenergienutzung und Kleinwasserkraft sowie Deponie- und Klärgasnutzung in Deutschland, Photovoltaiknutzung in Japan).

## Literatur

Nicht namentlich gekennzeichnete Meldungen in Tageszeitungen sowie Agenturmeldungen sind nicht als Zitat ausgewiesen.

ALLNOCH, N. (1993): Windkraftnutzung in Deutschland. In: Windkraftanlagen Marktübersicht 1993. Interessenverband Windkraft Binnenland e.V., Osnabrück, S. 116-120

ALLNOCH, N. (1995): Zur Lage der Windkraftnutzung in Deutschland. Herbstgutachten 1995/96. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen 45, S. 665 - 668

ALLNOCH, N. (1996): Interview mit der Nachrichtenagentur "The Associated Press", Münster (AP), 29.01.

ARVIDSON, A. (1995): From candles to electric light: Can poor people afford solar electricity? In: Renewable energy for development 8 (4), Dezember

AWEA (1995): American Wind Energy Association; The US wind energy industry. Washington, February

BDI (1996): Bundesverband der Deutschen Industrie e.V.; Beurteilung des staatlichen deutschen Außenwirtschaftsförderungssystems - Ergebnisse und Empfehlungen aus einer Unternehmensbefragung. Köln, April

BGR (1995): Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 1995. Hannover, Mai

BMBF (1995): Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie; Erneuerbare Energien. Stand - Aussichten - Forschungsziele (Redaktion: Dr. Armin Räuber, FhG/ISE). Bonn

BMWi (1993a): Bundesministerium für Wirtschaft; Erneuerbare Energien - verstärkt nutzen. Bonn (Autoren: M. Meliß und Mitarbeiter)

BMWi (1993b): Bundesministerium für Wirtschaft; Exportfibel. Bonn

BMWi (1994): Bundesministerium für Wirtschaft; Energieeinsparung und erneuerbare Energien. Dokumentation Nr. 361, Bonn

BMZ (1995): Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit; Unternehmerhandbuch. Erfolgreich mit Partnerländern zusammenarbeiten. Bonn

BUßMANN, W., KABUS, F., SEIBT, P. (Hg.) (1991): Geothermie. Wärme aus der Erde, Karlsruhe

BUßMANN, W. (1995): Global im Trend. In: EnergieSpektrum, Heft 10, S. 38-44

BUßMANN, W. (1996a): Persönliche Mitteilung

BUßMANN, W. (1996b): Erfolge trotz Gegenwinds. In: EnergieSpektrum, Heft 2, S. 32-35

- BWK (1996): Umbruch in der Energiewirtschaft verlangt neue Konzepte. In: BWK 48 (1/2), S.6-7
- CHAPMAN, CH., WARD, ST. (1996): Valuing the flexibility of alternative sources of power generation. In: Energy Policy 24 (2), February, S.129-136.
- DANIDA (1995): Ministry of Foreign Affairs, Danida; Denmark's development assistance. December
- DFS (1994): Deutscher Fachverband Solarenergie e.V.; Kollektorstatistik 1992/1993. Freiburg, Schreiben vom 24.10.
- DFS (1996a): Deutscher Fachverband Solarenergie e.V.; Stellungnahme für das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Freiburg, 18. März
- DFS (1996b): Deutscher Fachverband Solarenergie e.V.; Kollektorstatistik 1992-1995. Freiburg, 21. Februar
- DIEKMANN, J. et al. (1995): Fossile Energieträger und erneuerbare Energiequellen, Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien (IKARUS). Monographien des Forschungszentrums Jülich, Band 15, Jülich
- DIW/ISI (1991): Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung; Kostenaspekte erneuerbarer Energiequellen. München, Wien
- EIA (1995): Energy Information Agency, US Department of Energy; Renewable energy annual 1995. DoE/EIA-0603, Washington, December
- EIA (1996a): Energy Information Agency, US Department of Energy; Annual energy outlook 1996. DoE/EIA-0383, Washington, January
- EIA (1996b): Energy Information Agency, US Department of Energy; International energy outlook 1996. DoE/EIA-0484, Washington, May
- EISENBEIß, G., SCHLAICH, J. (1996): Welches Solarkraftwerk ist das Beste? Interview in Bild der Wissenschaft 3, S. 91-93
- ENQUETE-KOMMISSION (1995): Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre"; Schlußbericht zum Thema: Mehr Zukunft für die Erde - Nachhaltige Energiepolitik für dauerhaften Klimaschutz. Bonn
- FGW (1995): Fördergesellschaft Windenergie e.V.; Untersuchung zur Förderung und Weiterentwicklung von WKA in Deutschland und Europa (Projektleitung: Prof. W. Rieß, Projektkoordination: V. Litzka, Bearbeitung: M. Hoppe-Kilpper, V. Klose, V. Litzka, W. Rieß). Brunsbüttel
- FhG-ISI (1996): Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung; Exportchancen für ausgewählte Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen. Karlsruhe, April
- FIZ (1994): Fachinformationszentrum Karlsruhe; Potential for medium and large sized industrial heat pumps in Germany (Bearbeiter: H.J. Laue, J. Reichert). Eggenstein-Leopoldshafen

- FLADE, F. (1995): Initiativen zur Marktbelebung. Markterfolg durch Marketing-Öffentlichkeitsarbeit und Werbung für die Wärmepumpen-Technologie. Bericht VDI-Tagung "Wärmepumpen: Energieeinsparung und Umweltschutz" in Kassel (16.5.), Düsseldorf
- FOLEY, G. (1995): Photovoltaik applications in rural areas of the developing world. World Bank Technical Paper No. 304, Energy Series, Washington
- GAO (1995): United States General Accounting Office; Export finance: comparative analysis of US and European Union export credit agencies. GAO/GGD-96-1, Washington, October
- GEF (1995): Quarterly operational report. December, Washington
- GIPE, P. (1996): Persönliche Mitteilung
- GOMES, ROD, ZAHN (1995): Einsatz Erneuerbarer Energien in Europa. Manuskript
- GOODLAND, R. (1994): Sectoral environmental assessment is needed for power sectors - and the big dams debate. Entwurf, Weltbank, Washington
- GRAWE, J., WAGNER, E. (1993): Nutzung erneuerbarer Energien durch die Elektrizitätswirtschaft, Stand 1992. In: Elektrizitätswirtschaft 92, S. 1511-1515
- GRAWE, J., WAGNER, E. (1995): Nutzung erneuerbarer Energien durch die Elektrizitätswirtschaft, Stand 1994. In: Elektrizitätswirtschaft 94, S. 1600-1616
- GTZ (1995): Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH; 15 Jahre Sonderenergieprogramm - eine Rückschau. Eschborn, Juli
- GTZ (1996): Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH; Schreiben vom 28.05.
- GÜNTHER-POMHOFF, C., WAGNER, U. (1995): Einsatzpotentiale der Wärmepumpentechnik. Bericht VDI-Tagung "Wärmepumpen: Energieeinsparung und Umweltschutz" in Kassel (16.5.), Düsseldorf
- HARTMANN, H., STREHLER, A. (1995): Die Stellung der Biomasse im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern aus ökologischer, ökonomischer und technischer Sicht. Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe", Band 3, Münster
- HARTMANN, H. (1995): Untersuchung zu Struktur und Umfang des Absatzes von Biomassefeuerungsanlagen in Deutschland. Abschlußbericht der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik der TU München-Weihenstephan, C.A.R.M.E.N. e.V., Rimpar, Oktober
- HEMMER, H.-R. (1988): Wirtschaftsprobleme der Entwicklungsländer. München
- HERMES KREDITVERSICHERUNGS-AG (1995): Geschäftsbericht 1994. Hamburg
- HEROLD, H. (1995): Export- und Projektfinanzierung von Windkraftanlagen. Kongreßband Husum Wind '95, Husum
- HOFMANN, R. (1995): Strom aus solarthermischen Anlagen. In: VDI Nachrichten, 3.11., S.30

- HOPPE-KILPPER, M. (1995): Untersuchung zur Förderung und Weiterentwicklung von Windkraftanlagen in Deutschland und Europa. Kongreßband Husum Wind '95, Husum
- HOPPE-KILPPER, M. (1996): Windenergie. Marktentwicklung und Exportchancen. In: Sonnenenergie und Wärmetechnik, Heft 1, S.22-27
- HUENGES, E. (1995): Nutzung der Erdwärme. In: Regenerative Energien - die umweltfreundliche Lösung? Teil II, Journalistenseminar der Information Umwelt, Band 16, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Oberschleißheim
- IEA/OECD (1994a): International Energy Agency; International heat pump status and policy review. IEA Heat Pump Centre, Sittard
- IEA/OECD (1994b): International Energy Agency; Implementing agreement on photovoltaic power systems. Annual report, Paris
- IZW (1995): Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik; Förderprogramme und Unterstützungsmaßnahmen zum Wärmepumpeneinsatz, Eggenstein-Leopoldshafen
- JARGSTORF, B. (1995): Auslandsmärkte und ausgesuchte Ländererfahrungen. Kongreßband Husum Wind '95, Husum
- JARGSTORF, B. (1996): Export von Windkraftanlagen - Gegenwärtige Situation und künftige Märkte. Kongreßband Deutscher Kongreß Erneuerbare Energie '96, Hannover, April
- JAYADEV, J. (1995): Harnessing the wind. In: IEEE Spectrum, November, S. 78-83
- JUNG, R. et al. (1994): Erschließung permeabler Rißzonen für die Gewinnung geothermischer Energie aus heißen Tiefengesteinen. 3. Geothermische Fachtagung Geothermische Energie, Schwerin, Oktober
- JUNGWIRTH, H. (1995): Verwertung von Holzabfällen. In: Entsorgungs-Technik 6, S. 22
- KAPPELMEYER, O. (1996): Strom und Wärme überall und für alle Zeiten: Hot-Dry-Rock - Die Energie aus dem Kernkraftwerk Erde. Kongreßband Deutscher Kongreß Erneuerbare Energie '96, Hannover, April
- KELLER, G., LAROCHE, R. (1991): Untersuchungsbericht SNE, Band 3, 1989-1990, Karlsruhe, (1. Band: März 1988; Band 2, 1987-1988: November 1989)
- KLINGER, H.M. (1995): Neue Märkte im Ausland erschließen. In: Wind Energy Aktuell, Heft 9
- KLOSE, V. (1994): Untersuchung zur Förderung und Weiterentwicklung von Windkraftanlagen in Deutschland und Europa. Studienarbeit, Universität Hannover, Hannover, Bildanhang

- KOCH, A. (1996): Finanzierung von Windkraftprojekten durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau. Kongreßband Deutscher Kongreß Erneuerbare Energie '96, Hannover, April
- KOTTKAMP, R. (1995): Entwicklungsstand und Perspektiven der Windenergienutzung am Beispiel Niedersachsens. Tagungsband Deutscher Kongreß Erneuerbare Energie '95, Hannover
- KREDITANSTALT FÜR WIEDERAUFBAU (1994): Langfristige Exportfinanzierung der Kreditanstalt für Wiederaufbau, Frankfurt/Main
- KREDITANSTALT FÜR WIEDERAUFBAU (1995): Bericht über das Geschäftsjahr 1994, Frankfurt/Main
- KRÜDER (1996): Schreiben der AN Maschinenbau und Umweltschutzanlagen GmbH, Bremen vom 05.06.
- LANDIS, G.A., YOUNGER, P.R. (1979): IEEE-CHMT-2, No. 3, S. 350 (siehe auch Maycock, P., Proc. 13, IEEE PV SC (1978), S. 5 und McCormack, M., Proc. 13. IEEE PV SC (1978), S. 1)
- LAUE, H.J. (1995a): Aufgaben für die Zukunft. Bericht VDI-Tagung "Wärmepumpen: Energieeinsparung und Umweltschutz" in Kassel (16.5.), Düsseldorf
- LAUE, H.J. (1995b): Schlußbetrachtungen und Ausblick, Förderprogramme und Unterstützungmaßnahmen zum Wärmepumpeneinsatz. Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik (IZW), Eggenstein-Leopoldshafen
- LÜBBERT, E. (1995): Statement. VDI-Tagungsband Solarthermische Kraftwerke II, Düsseldorf
- MATTHIES, H.G. et al. (1995): Study of offshore wind energy in the EC. Studie im Rahmen des JOULE-I-Programmes (JOUR 0072)
- MATTHIES, H. G., NATH, C. (Germanischer Lloyd, Hamburg) (1995): Möglichkeiten für Offshore-Windparks in Deutschland. Tagungsband "Deutscher Kongreß Energie '95" (WINKRA-RECOM), Hannover
- MELIß, M. (1995): Regenerative Energiequellen. In: BWK 47, S. 134 - 141
- MOLLY, J.P. (1990): Windenergie - Theorie, Anwendung, Messung. Karlsruhe
- MOLLY, J.P. (1996): Persönliche Mitteilung
- NAVA, P. (1995): Status aktueller Projektentwicklungen für Parabolrinnenkraftwerke. VDI-Tagungsband Solarthermische Kraftwerke II, Düsseldorf
- NITSCH, J. (1996): Persönliche Mitteilung
- OECD (1994): Entwicklungshilfe-Handbuch. DAC-Grundsätze für wirksame Entwicklungshilfe, OECD, Paris
- OSWALD (1996): Persönliche Mitteilung

- OTA (1992): Office of Technology Assessment, US Congress; Fueling development: Energy technologies for developing countries; OTA-E-516, Washington D.C., April
- OTA (1995): Office of Technology Assessment, US Congress; Renewing our energy future; OTA-ETI-614, Washington D.C., September
- Otto, K.-W.(1995): Regenerative Kraftwerke aus der Sicht der deutschen Stromwirtschaft. VDI-Tagungsband Solarthermische Kraftwerke II, Düsseldorf
- PHOTOVOLTAIC INSIDER'S REPORT (1996): Vol. XV, No. 2, Feb.
- PROGNOS (1991): Die energiewirtschaftliche Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahre 2010 unter Einbeziehung der fünf neuen Bundesländer. Basel
- PROGNOS (1996): Energiereport II: Die Energiemärkte Deutschlands im zusammenwachsenden Europa - Perspektiven bis zum Jahr 2020. Stuttgart
- PV NEWS: Photovoltaic News (ed.: Paul D. Maycock); World PV module survey, Casanova, USA, verschiedene Jahrgänge
- RÄUBER, A. (1995a): Entwicklungstendenzen der Photovoltaik. Energie-Dialog, Heft 4
- RÄUBER, A. (1995b): Bericht 10. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Kloster Banz, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), 15.-17.3., S.27
- RÄUBER, A. (1996): Persönliche Mitteilung
- RAVE, K. (1995): Unterstützung der Exportaktivitäten der schleswig-holsteinischen Windkraftanlagen-Hersteller durch die Landesregierung. Kongreßband Husum Wind '95, Husum
- REHFELDT, K. (1995): Windenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland, Stand: 30.06. In: DEWI Magazin 7, August, S.17 - 27
- REHFELDT, K. (1996): Windenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland, Stand: 31.12.1995. In: DEWI Magazin 8, Februar, S. 18 - 28
- REHFELDT, K., SCHWENK, B. (1996): Entwicklung der Energieerzeugungskosten von Windenergieanlagen. In: DEWI Magazin 8, Februar, S. 36 - 44
- RICHTER, B. (1995): Technische Anforderungen an Windkraftanlagen für den Export. Kongreßband Husum Wind '95, Husum
- ROTH, W. (1995): Bericht 10. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Kloster Banz, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), 15.-17.3., S.27
- RUMMEL, F., KAPPELMEYER, O. (1993): Erdwärme - Energieträger der Zukunft? Karlsruhe
- SAUER, H.D. (1996): Begrenzte Perspektiven. In: EnergieSpektrum, Heft 1, S. 26-29

- SCHAEFER, H. (1995): Statement zum Einsatz von Wärmepumpen. Bericht VDI-Tagung Wärmepumpen: Energieeinsparung und Umweltschutz in Kassel (16.5.), Düsseldorf
- SCHMIDT, A. (1995): Ökonomische Auswirkungen rationeller Energieverwendung und erneuerbarer Energiequellen in den Bereichen Produktion und Außenhandel in Deutschland, 1976 - 1993. Diplomarbeit an der TH Darmstadt
- SCHMIDT-GOEB, M. (1995): Zitat aus E&M vom 1.10. (Solarkraftwerk ist angebotsreif)
- SCHNELL, P. (1995): Möglichkeiten der energetischen Nutzung von Biomasse. In: Biomasse Special
- SCHNEIDER, H. et al. (1995): Geothermie - hydrothermale Erdwärmennutzung in Deutschland. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen 45, S. 788-794
- SIEMENS (1995): Mit der Sonne ... gegen die Sonne. In: Siemens Standpunkt 8 (3), S. 28
- TECHNOLOGIE-NACHRICHTEN (Management-Informationen) (1995): Bundesregierung zur Lage der Solarzellenindustrie. Nr.659 vom 20. November, S. 2
- TECHNOLOGIE-NACHRICHTEN (Management-Informationen) (1996): Biomassepotential in Deutschland. Nr. 664, 30. Januar, S. 6
- TENZER, H., BUßMANN, W. (1996): Geothermie - Der Joker im Energiepoker. Kongreßband Deutscher Kongreß Erneuerbare Energie '96, Hannover, April
- TERBRACK, E. (1996): "Solartechnik ist nicht zu teuer". Interview in: Sonnenenergie und Wärmetechnik 1, S.8-9
- TERRADO, E. (1995): Financing renewable energy: The World Bank's solar initiative". Outline of presentation. Industry & Energy Department, The World Bank, Washington
- THOROE, C. (1995): Voraussetzungen für den wirtschaftlichen Betrieb von Biomasseanlagen. Tagungsband "Deutscher Kongreß Erneuerbare Energie '95", Hannover
- VOERMANS, R. (1995): Bericht 10. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Kloster Banz, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut (OTTI), 15.-17.3., S. 93
- VOIGTLÄNDER, P. (1995): Marktpotential für fossil befeuerte Kraftwerke in Kopplung mit Solarthermie. VDI-Tagungsband Solarthermische Kraftwerke II, Düsseldorf
- WALTER, J. (1996): Außenhandel im ersten Halbjahr 1995 sowie endgültige Ergebnisse 1994. In: Wirtschaft und Statistik 2, S. 97-104
- WEBER, R. (1995): Webers Taschenlexikon Erneuerbare Energie, Vaduz
- WELTBANK (1992): Development and the environment. World Development Report, Washington D.C.

WELTBANK (1995a): Energy strategies for rural and poor people in the developing world. Washington D.C.

WELTBANK (1995b): The solar initiative. Washington D.C.

WETTWER, B. (1996): Branchen-Telegramm Windkraftanlagen. In: Wirtschaftswoche Nr. 5, 25.1., S.57

WINTZER, D. et al. (1993): Technikfolgenabschätzung zum Thema Nachwachsende Rohstoffe. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Angewandte Wissenschaft, Sonderheft, Münster

WORLD ENERGY COUNCIL (1993): Energy for tomorrow's world. London

WORLD ENERGY COUNCIL (1994): New renewable energy resources. A guide to the future. London

## Weiterführende Literatur

ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, Frankfurt am Main, verschiedene Jahrgänge

ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR SPARSAMEN UND UMWELTFREUNDLICHEN ENERGIEVERBRAUCH e.V. (1993), (Hg.: ASUE): BHKW-Marktübersicht, Hamburg

BMFT (1992): Erneuerbare Energien (Hg.: Der Bundesminister für Forschung und Technologie). Bonn sowie aktualisierte Versionen (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie)

BMWi, Bundesministerium für Wirtschaft (Hg.): Energiedaten. Bonn, verschiedene Jahrgänge

BMZ: Jahresberichte, Bonn, verschiedene Jahrgänge

BMZ (1992): Förderung erneuerbarer Energien in Entwicklungsländern. Bonn

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, DG XVII (1992): Energy in Europe. A view to the future. Luxembourg

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (1994): The european renewable energy study. Brüssel, Luxembourg

ENQUETE-KOMMISSION (1990): Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestages (Hg.): Energie und Klima. Bonn

ERLER, B. (1990): Tödliche Hilfe. Köln

EUROSOLAR e. V. (1994): Das Potential der Sonnenenergie in der EU. Bonn

FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE e.V. (1994): Thermische Nutzung von Biomasse. Tagungsband (Stuttgart 14./15.04.), Stuttgart

- GEHRKE, B., GRUPP, H. (1994): Innovationspotential und Hochtechnologie. Heidelberg
- GRUPP, H., LEGLER, H. (1986): Spitzentechnik, Gebrauchstechnik, Innovationspotential und Preise. Köln
- HAU, E. (1988): Windkraftanlagen - Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit. Heidelberg, New York
- HUSUM WIND '95 (1995): Kongreßband und Fachmesse für Windenergie (13.-17.9.). Veranstalter: Husumer Wirtschaftsgesellschaft, Husum
- INFORMATIONSZENTRUM WÄRMEPUMPEN UND KÄLTETECHNIK (1995): Förderprogramme und Unterstützungsmaßnahmen zum Wärmepumpeneinsatz. Fachinformationszentrum Karlsruhe, Eggenstein-Leopoldshafen
- IEA/OECD: International Energy Agency; Energy policies of IEA countries. Paris, verschiedene Jahrgänge
- IEA/OECD: International Energy Agency; Energy balances of OECD countries. Paris, verschiedene Jahrgänge
- IEA/OECD: International Energy Agency; Energy statistics and balances of non-OECD countries. Paris, verschiedene Jahrgänge
- IEA/OECD: International Energy Agency; World energy outlook. Paris, verschiedene Jahrgänge
- IEA/OECD (1987): International Energy Agency; Renewable sources of energy. Paris
- IEA/OECD (1992): International Energy Agency; Global energy. The changing outlook. Paris
- IEA/OECD (1994): International Energy Agency; Energy in developing countries - a sectoral analysis. Paris
- JOCHEM, E. et al. (1991): Umweltpolitik. Eine vergleichende Analyse der in den Berichten der Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" und in den Beschlüssen der Bundesregierung ausgewiesenen CO<sub>2</sub>-Minderungspotentiale und Maßnahmen. Bonn
- JOHANSSON, T. et al. (1993): Renewable energy. Washington D.C.
- KALTSCHMITT, M., WIESE, A. (1993): Erneuerbare Energieträger in Deutschland. Potentiale und Kosten. Berlin, Heidelberg
- KALTSCHMITT, M., FISCHEDICK, M. (1995): Wind- und Solarstrom im Kraftwerksverbund. Heidelberg
- KALTSCHMITT, M., WIESE, A. (Hg.) (1995): Erneuerbare Energie-Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. Berlin, Heidelberg
- KLEEMANN, M., MELIß, M. (1988): Regenerative Energiequellen. Berlin, Heidelberg, New York

- LUTHER, J., NITSCH, J. (1990): Energieversorgung der Zukunft. Berlin, Heidelberg, New York
- ÖKO-INSTITUT FREIBURG (1992): Thermische Solaranlagen, Marktübersicht. Freiburg i. Br., verschiedene Jahrgänge
- OTA (1993): Office of Technology Assessment, US Congress; Development assistance, export promotion and environmental technology. Background paper; OTA-BP-ITE-107, Washington D.C., August
- PERTZ, K. (1988): Nutzung erneuerbarer Energiequellen in Entwicklungsländern. Köln
- PERTZ, K. (1993): Study on competition between conventional and renewable energy systems in developing countries, Phase I. GTZ, Eschborn
- PISCHINGER, F. (1995): Entwicklungstendenzen von Blockheizkraftwerken. In: BWK 47, S.458-460
- SCHAEFER, H. (Hg.) (1987): Nutzung regenerativer Energiequellen. Düsseldorf
- SCHULZ, R. (1991): Nutzung von geothermischer Energie - ein Überblick. Karlsruhe
- STATISTISCHES BUNDESAMT: Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland. Wiesbaden, verschiedene Jahrgänge
- STATISTISCHES BUNDESAMT: Statistisches Jahrbuch für das Ausland. Wiesbaden, verschiedene Jahrgänge
- STATISTISCHES BUNDESAMT (1992): Fachserie 4, Reihe 4.3.2 Kostenstruktur der Unternehmen im Investitionsgüter produzierenden Gewerbe. Wiesbaden, S. 7 - 12
- STATISTISCHES BUNDESAMT: Fachserie 4, Reihe 3.1, Produktion im produzierenden Gewerbe des In- und Auslands. Wiesbaden, verschiedene Jahrgänge
- STATISTISCHES BUNDESAMT: Fachserie 7, Reihe 2, Außenhandel nach Waren und Ländern. Wiesbaden, verschiedene Jahrgänge
- STATISTISCHES BUNDESAMT: Fachserie 7, Reihe 7, Außenhandel nach Ländern und Gütergruppen der Produktionsstatistik (Spezialhandel). Wiesbaden, verschiedene Jahrgänge
- STATISTISCHES BUNDESAMT: Fachserie 17, Reihe 8, Preise und Preisindizes für den Außenhandel. Wiesbaden, verschiedene Jahrgänge
- STATISTISCHES BUNDESAMT: Fachserie 17, Reihe 2, Preise und Preisindizes für gewerbliche Güter. Wiesbaden, verschiedene Jahrgänge
- UNITED NATIONS: Energy statistics yearbook. U.N., New York, verschiedene Jahrgänge
- VDEW (1995): Analyse der Eurosolar-Studie: "Das Potential der Sonnenenergie in der EU". VDEW-Argumente vom 19.4., Frankfurt am Main
- VDI (1993): VDI-Berichte 1024. Regenerative Energien. Tagungsband, Düsseldorf

VDI (1995): VDI-Berichte 1177. Wärmepumpen: Energieeinsparung und Umweltschutz. Tagungsband, Düsseldorf

VDI (1995): VDI-Berichte 1200. Solarthermische Kraftwerke II. Tagungsband, Düsseldorf

VIK (Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e. V.): Statistik der Energiewirtschaft. Essen, verschiedene Jahrgänge

WELTBANK : Weltentwicklungsbericht. Washington D.C., verschiedene Jahrgänge

TAB

# Anhang

## Glossar und Abkürzungsverzeichnis

Quellen: BMWi 1993a, BMBF 1995, Weber 1995.

### **BHKW: Blockheizkraftwerke**

Kleine, dezentral beim Verbraucher angeordnete Energieanlagen mit Antrieb durch Verbrennungsmotoren oder Gasturbinen (BHKW) können den kombinierten Energiebedarf eines Versorgungsobjektes an Strom und Wärme decken (Nutzungsgrade der eingesetzten Brennstoffenergie von 80 - 90%; Pischinger 1995).

### **Biomasse**

allgemein: die gesamte durch Pflanzen und Tiere anfallende/erzeugte organische Substanz. Bei der Nutzung von Biomasse zu energetischen Zwecken ist zwischen nachwachsenden Rohstoffen oder Energiepflanzen und organischen Reststoffen zu unterscheiden.

### **Bundesstelle für Außenhandelsinformation (BfAI)**

Die zum Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft gehörende BfAI (Köln, Berlin) unterrichtet die deutsche Wirtschaft über alle außenwirtschaftlichen Bereiche.

Vielfältige Publikationen z.B. Nachrichten für Außenhandel, Märkte der Welt, Der Binnenmarkt, Recht, Zoll und Verfahren, Wirtschaftsdaten aktuell, Geschäftspartner, Tips zur Handelsvertreter suche, Verkaufen im Ausland, Branchenbilder und Marktanalysen, Branchenservice Ost, BfAI-Unternehmerbriefe, Geschäftswünsche, Außenhandels-Vorschriften, Schritte zum EG-Binnenmarkt, Zoll- und Handelsinformation, Dokumente sowie BfAI-Datenbanken (vier Wirtschaftsdatenbanken "Märkte im Ausland", "Auslandsanfragen", "Auslandsausschreibungen" und "Projektfrühinformationen").

### **Einheiten**

kWh = Kilowattstunde, J = Joule, t SKE = Steinkohleneinheit, der Heizwert einer Tonne Steinkohle, Mtoe = Millionen Tonnen Rohöleinheiten, Bezeichnung von größeren Einheiten:  $10^6$  = Mega,  $10^9$  = Giga,  $10^{12}$  = Tera,  $10^{15}$  = Peta,  $10^{18}$  = Exa, Umrechnungen:  $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$ ;  $1 \text{ t SKE} = 29,3 \text{ GJ}$ ;  $a = 1 \text{ Jahr}$ .

### **Erneuerbare Energien (regenerative Energien, "Erneuerbare")**

Energiequellen, die nach den Zeitmaßstäben des Menschen "unendlich" lange zur Verfügung stehen: Solarstrahlung, Erdwärme (Geothermie), Gezeitenkraft.

### **Geothermie (oder Erdwärme)**

die Wärmeenergie des Erdinnern.

**Hermes Kreditversicherungs-AG**

Federführende Körperschaft für die Verwaltung der von der deutschen Bundesregierung (Bundesministerium der Finanzen) zur Exportförderung übernommenen Ausfuhrgarantien und -bürgschaften etc. zur Deckung der mit dem Export (Warenlieferungen und Dienstleistungen) verbundenen wirtschaftlichen und politischen Risiken (zusammen mit der C & L Treuarbeit Deutsche Revision AG, Frankfurt am Main; rechtliche Grundlage: Gesetz über die Feststellung des Bundeshaushalts).

**Hybridsysteme**

Systeme, die auf zwei oder mehr verschiedenen Energiequellen basieren (Erhöhung der Versorgungssicherheit).

**hydrothermal**

Erdwärmenvorkommen, die an das Vorhandensein von Wasser gebunden sind (Warm- und Heißwasservorkommen sowie Naß- und Trockendampfvorkommen).

**Insel-System**

Energie- (meist Strom-) versorgungssystem für meist abgelegene einzelne Verbraucher ohne Anschluß an das Netz.

**Kollektor**

"Sammler" für Sonnenstrahlungsenergie oder Vorrichtung zur Umwandlung von Sonnenenergie in Wärme. Diese Nutzwärme wird an ein Wärmeträgermedium, z.B. Wasser, abgegeben. Möglichkeiten zur Verminderung der Wärmeverluste sind einfache oder mehrfache Glasabdeckung, Wärmedämmung der Rückseite, Evakuierung des Luftraums über dem Absorber (Vakuumröhrenkollektoren) oder durch selektive Absorber.

**Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)**

Die KfW (Frankfurt am Main) übernimmt die langfristige Finanzierung von deutschen Exporten langlebiger Investitionsgüter und damit im Zusammenhang stehender oder auch selbständiger Leistungen wie Engineering/Consulting. Voraussetzungen sind meist die Bürgschaft oder Garantie des Bundes (HERMES-Deckung) für eine Kreditlaufzeit von mindestens vier Jahren sowie die Vereinbarung von Zahlungsbedingungen im Ausfuhrvertrag, die An- und Zwischenzahlungen von mindestens 15% und einen zu kreditierenden Teil von maximal 85% des Auftragswertes.

**PV: Photovoltaik**

Direkte Umwandlung von Sonnenstrahlung in elektrische Energie durch Halbleiterbauelemente ("Solarzellen").

**Solarenergienutzung (aktiv, passiv)**

Systeme zur "aktiven" Energieumwandlung der Sonnenenergie in Wärme (Solarkollektoren) oder Strom (Solarzellen), Systeme zur "passiven" Energienutzung wie Wärmedämmung und Gebäudeausrichtung.

**Wärmepumpen**

und Abwärme (Absorptionswärmepumpen).

**Windkraftanlagen**

Unter Windkraftanlagen (Windenergieanlagen, Windenergiekonvertern) werden hier im engeren Sinne Anlagen zur Umwandlung von Windenergie in elektrische Energie (Windkraftwerk) verstanden.

## Mitarbeit an diesem Sachstandsbericht

**Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB):**

T. Fleischer (Projektleitung), K.-M. Nigge

**Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI) Karlsruhe:**

Dr. E. Jochem, W. Mannsbart, K. Ostertag, V. Ott, J. Reichert, A. Bühler, B. Kalfaß, J. Schlindwein, I. Sieb

**Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) Freiburg:**

Prof. Dr. W. Wettling

**Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), Forschungszentrum Karlsruhe:**

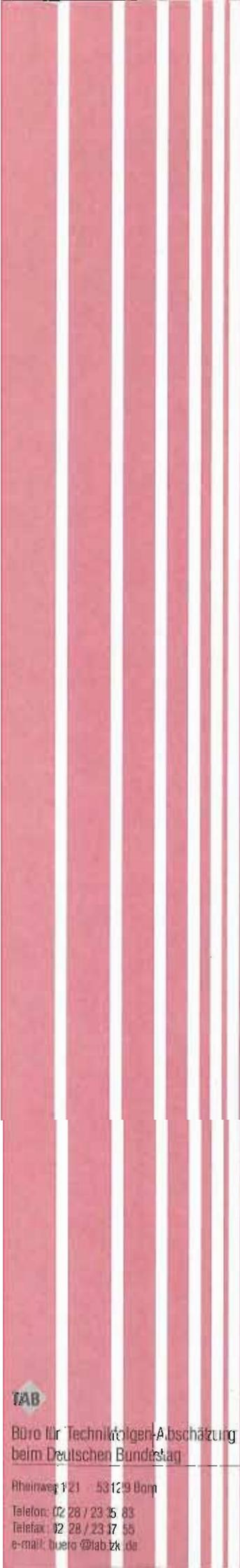
Chr. Rösch, Dr. D. Wintzer

Für Informationen und die kritische Durchsicht des Manuskripts danken wir W. Bußmann, Geothermische Vereinigung e.V.; M. Hoppe-Kilper, Institut für Solare Energieversorgungstechnik e.V. Kassel; J. P. Molly, Deutsches Windenergie-Institut; Dr. J. Nitsch, Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt, G. Oelert und Dr. R. Posorski, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) e.V.; G. Stryi-Hipp, Deutscher Fachverband Solarenergie e.V. sowie Mitarbeitern des Bundesverbandes Solarenergie e.V. und der Unternehmen AN Maschinenbau und Umweltschutzanlagen GmbH, Siemens Solar GmbH, Tacke Windtechnik GmbH und Voith Hydro GmbH.

Die Verantwortung für den Inhalt dieses Sachstandsberichtes liegt beim TAB.



TAB



**TAB**

Büro für Technfolgen-Abschätzung  
beim Deutschen Bundestag

Rheinweg 121 · 53129 Bonn

Telefon: 02 28 / 23 35 83

Telefax: 02 28 / 23 37 55

e-mail: buero@tab.bk.de