

# Stromerzeugung aus Sonne und Wind – Marktchancen aus deutscher Sicht

von Frithjof Staib,  
Martin Hoppe-Kilpper,  
Joachim Nitsch und  
Franz Trieb

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Frithjof Staib ist Leiter des Fachgebiets Systemanalyse im Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Stuttgart.

Dipl.-Ing. Martin Hoppe-Kilpper ist Leiter der Projektgruppe Windenergie im Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET), Kassel.

Dr.-Ing. Joachim Nitsch ist Leiter und Dr.-Ing. Franz Trieb ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung der Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR), Stuttgart.

## Überblick

Die Umwandlung von Solarstrahlung und Wind in Elektrizität zählt zu den Schlüsseltechnologien, um mittel- und langfristig eine umweltverträgliche Stromversorgung zu realisieren. Obwohl sich Photovoltaikanlagen, solarthermische Kraftwerke und Windenergieanlagen hinsichtlich ihrer Anwendungsbereiche und Einsatzgebiete, des erreichten Entwicklungsstandes und der Kosten erheblich voneinander unterscheiden, ist ihnen aus deutscher Sicht eines gemeinsam: Wissenschaft und Industrie haben in der Vergangenheit technologisch eine internationale Spitzenstellung aufgebaut. Es gilt heute, dieses Know-how mit wettbewerbsfähigen Produkten auf einem sich rasch entwickelnden Weltmarkt umzusetzen. Die deutsche Energie- und Wirtschaftspolitik muß die Voraussetzungen schaffen, daß die wachsende Produktion technologisch anspruchsvoller Energieanlagen mit der Schaffung heimischer Arbeitsplätze verbunden wird und damit nicht nur ein Beitrag für eine zukunftsfähige Energieversorgung sondern auch zur langfristigen Sicherung des Wirtschaftsstandortes Deutschland geleistet wird.

Electricity production from solar and wind energy is one of the most relevant options for a sustainable energy supply in the medium and longterm. Although photovoltaic systems, solar thermal power plants and wind energy converters are considerably different regarding their applications, their present stage of development and costs, from the German perspective, have one thing in common: science and industry have reached an international top position in technology. Today, this know-how has to be converted into competitive products for a rapidly developing world market. The German energy and economic policy has to provide the preconditions that the growing production of high-tech energy conversion systems will lead to domestic employment and therefore not only provides a substantial contribution for a sustainable energy supply but also secures Germany's international industrial competitiveness.

## 1. Einleitung

Die Umwandlung von Solarstrahlung und Wind in Elektrizität erfolgt heute mit Photovoltaikanlagen (PV), solarthermischen Kraftwerken und Windenergieanlagen (**Abbildung 1**). Innerhalb dieser Technologien existieren verschiedene technische Konzepte: Bei PV-Anlagen sind dies vor allem unter-

schiedliche Solarzellenmaterialien, die bislang von kristallinem und amorphem Silicium (praktisch nur im Konsumerbereich) dominiert werden. Bei den solarthermischen Konzepten stehen Parabolrinnen-Kraftwerke, Solarturm-Kraftwerke und sog. Dish-Anlagen zur Verfügung. Im Unterschied zur PV, bei der Solarstrahlung direkt in elektrischen Strom umgesetzt wird, erfolgt die Umwandlung hier über eine thermische Zwischenstufe. Alle Konzepte arbeiten mit konzentrierenden Spiegelsystemen, um die für den thermischen Prozeß notwendige Energiedichte zu erreichen. Diese wird in Parabolrinnen- und Solarturm-Kraftwerken anschließend einem konventionellen Kraftwerksprozeß (Dampf oder Gas- und Dampf) zugeführt, bei Dish-Anlagen hingegen einem Stirling Motor (Gasmotor) oder einer Gasturbine. Bei den Windenergieanlagen haben sich in den vergangenen Jahren Rotoren mit horizontaler Achse gegenüber Darrieus-Rotoren mit vertikaler Achse durchgesetzt.

## 2. Der bisher erreichte Status

Von allen Technologien ist die Nutzung der Windenergie am weitesten in die kommerzielle Anwendung vorgedrungen. Insbesondere in Deutschland hat sie seit 1990 einen weltweit einzigartigen Boom erlebt, den niemand erwartet hatte. Bis 1995 wurden mehr als 3.000 Anlagen errichtet, die zu einem Anwachsen der installierten Leistung von etwa 20 MW (1990) auf über 1.100 MW führte (**Abbildung 2**). Damit ist Deutschland hinter den USA heute weltweit der zweitgrößte Stromproduzent aus Windenergie. Entscheidend für diesen Erfolg waren zwei politische Maßnahmen: das Stromspeisungsgesetz, nach dem seit 1991 jede in das öffentliche Stromnetz eingespeiste Kilowattstunde Windstrom mit einem Wert in Höhe von 90% der durchschnittlichen Stromkosten aller Endverbraucher vergütet werden muß (1996: 17,21 Pf/kWh) und das zunächst auf 100 MW angelegte, später auf 250 MW ausgeweitete Windförderprogramm des Bundesforschungsministeriums (zusätzliche Förderung entsprechend etwa 6 Pf/kWh). Damit waren die Voraussetzungen für einen rentablen Betrieb von WKA zunächst an guten, küstennahen Standorten gegeben. Mit

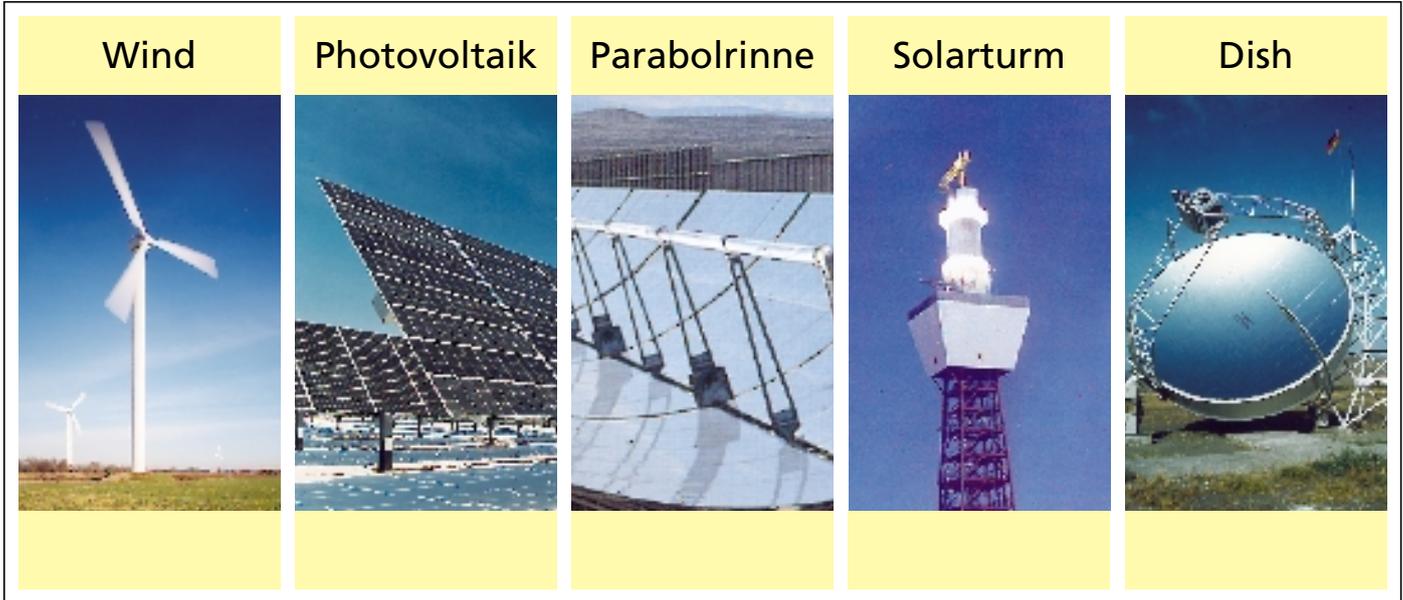
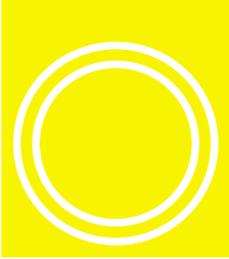
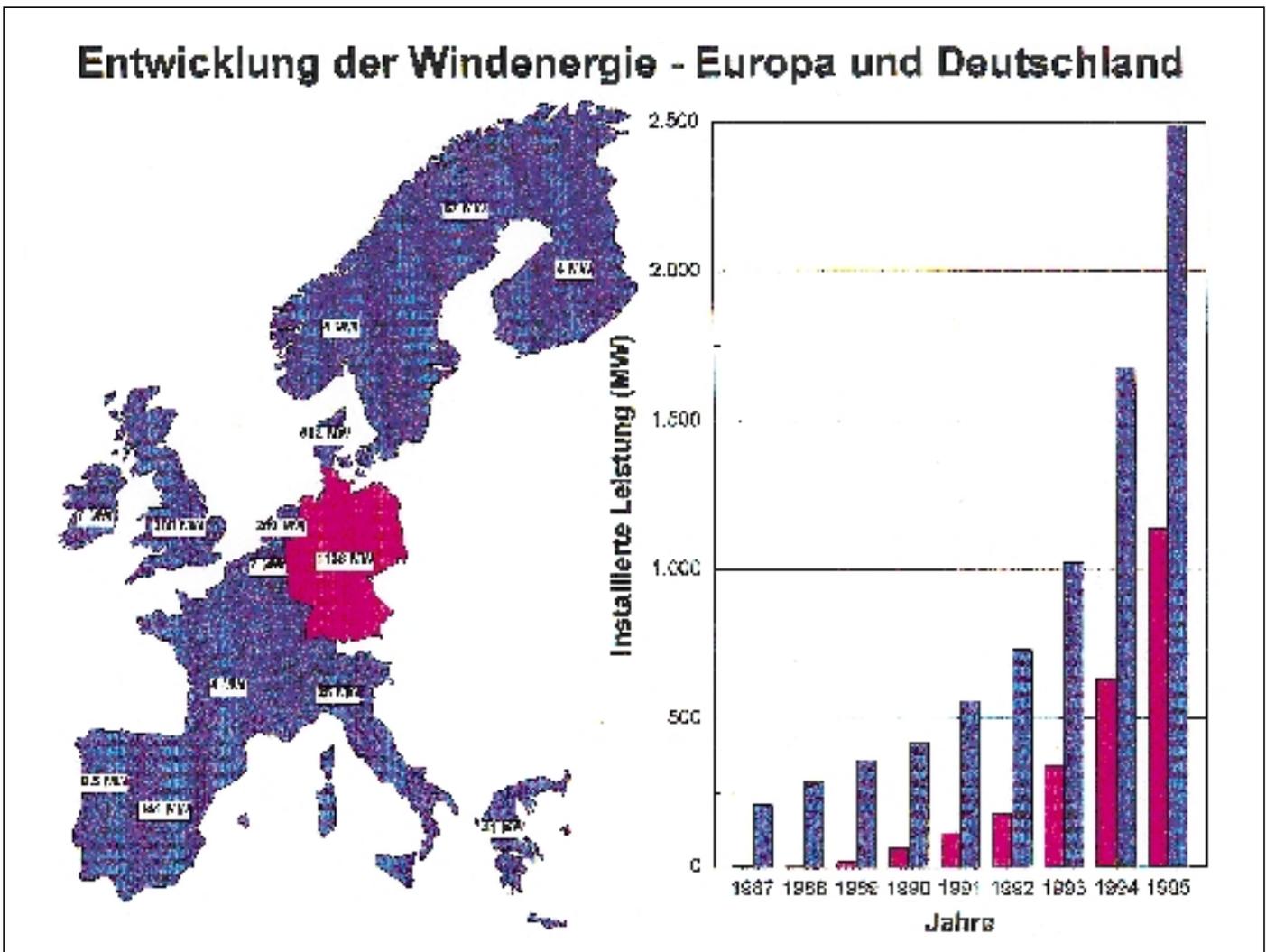
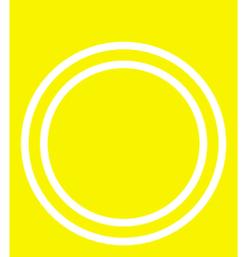


Abbildung 1: Umwandlung von Wind- und Sonnenenergie mit Windenergieanlagen, Photovoltaikanlagen sowie solarthermischen Parabolrinnen-Kraftwerken, Solarturm-Kraftwerken und Dish-Anlagen (von links nach rechts)

Abbildung 2: Zeitliche Entwicklung der installierten Leistung von Windenergieanlagen in Deutschland und Vergleich mit dem europäischen Ausland





der parallel stattfindenden Weiterentwicklung der Anlagen, die einen starken Trend zu größeren Anlagen mit spezifisch niedrigeren Investitionskosten und höherem Energieertrag aufwies, konnten die Stromgestehungskosten um mehr als 30% reduziert werden. Damit wurde zunehmend auch die Erschließung windschwächerer Standorte möglich. Mit Stromgestehungskosten von etwa 18 Pf/kWh an guten Standorten lassen sich heute, auch nach dem Auslaufen des 250 MW-Förderprogramms, Windenergieanlagen allein über das Stromeinspeisungsgesetz rentabel betreiben. Das mit den Markteinführungsmaßnahmen verbundene politische Ziel, neben einem Umweltnutzen auch Arbeitsplätze in einem zukunftsträchtigen Technologiebereich zu schaffen, kann zumindest bislang als erreicht betrachtet werden. Denn es gelang, innerhalb eines Zeitraumes von nur 6 Jahren mehr als 5.000 neue Stellen zu schaffen, die mehr als 1 Mrd. DM Umsatz erwirtschaften. Derzeit sind Anlagen der Leistungsklasse 500/600 kW Stand der Technik. Daraus weiterentwickelte Anlagen der Megawattklasse (1,5 MW) befinden sich in der Testphase.

Im Vergleich zur Windenergie befindet sich die PV insgesamt in einem deutlich früheren Entwicklungsstadium. Wie in anderen Ländern, so sind auch in Deutschland trotz enormer technischer Potentiale – rein rechnerisch könnten über 15% des Strombedarfes gedeckt werden, wenn allein die ohnehin vorhandenen Dachflächen der Gebäude genutzt würden – die Energiebeiträge aus der PV bislang marginal. Mit einer installierten Leistung von etwa 10 MW liegt sie in ihrer Bedeutung um mehr als zwei Größenordnungen unterhalb der Windenergienutzung. Ursache sind primär die hohen Stromgestehungskosten, die in Deutschland zur Zeit 1–2 DM/kWh betragen und damit um den Faktor 10 über den Preisen aus konventionellen Kraftwerken liegen. Trotzdem sprechen gute Gründe für eine langfristig angelegte Strategie, die parallel zu weiterer Forschung und Entwicklung die konsequente Kommerzialisierung anstrebt, um mit den Rückkopplungen des Marktes zusätzliche Kostensenkungspotentiale auszuschöpfen (Abbildung 3). Denn eine der heraus-

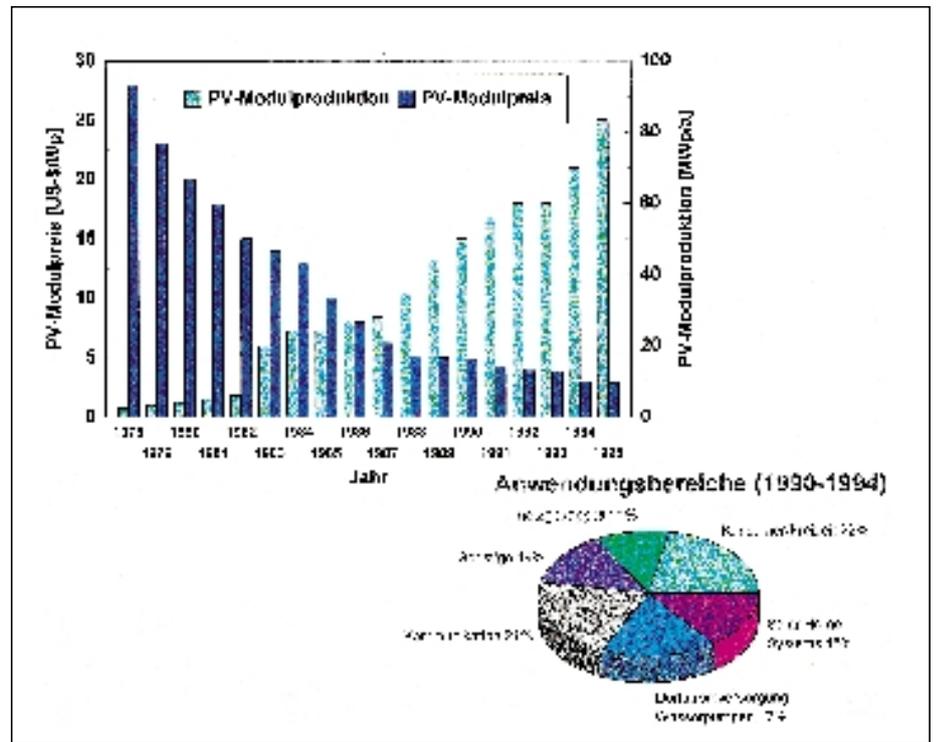
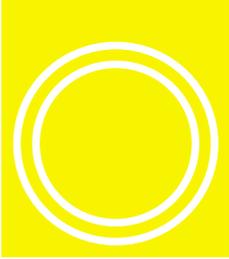


Abbildung 3: Jahresproduktion und Preisentwicklung für Photovoltaik-Module weltweit

ragendsten Eigenschaften der PV besteht in einer außergewöhnlichen Modularität, die es erlaubt, Kleinstsysteme wie solare Armbanduhren oder Taschenrechner ebenso zu realisieren wie solare Kraftwerke im Megawatt-Bereich. Damit kann sich die PV wie keine andere Energietechnologie sukzessive aus lukrativen Marktnischen heraus entwickeln. Es handelt sich heute um Konsumeranwendungen und Kleinsysteme zur dezentralen Energieversorgung in Entwicklungs- und Schwellenländern, die den kommerziellen PV-Markt weitgehend bestimmen. Demonstrationsprogramme wie das 1000-Dächer-Photovoltaik-Programm in Deutschland leisten zusätzlich einen wichtigen Beitrag, um mit größeren netzgekoppelten Anlagen, die langfristig den Markt tragen sollen, Erfahrungen zu sammeln und die eigene Leistungsfähigkeit nach außen zu demonstrieren.

Bei allen Systemen zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen hängen der erzielbare Energieertrag und damit die Energiegestehungskosten direkt von der Ressourcenverfügbarkeit an einem Standort ab. Trotz der im Vergleich zu anderen Energiequellen gleichmäßigen globalen Verteilung des Solarenergieangebotes besteht ein deutliches

Süd-Nord-Gefälle (bzw. auf der Südhalbkugel der Erde Nord-Süd-Gefälle), das aus wirtschaftlichen Gründen vor allem eine Nutzung im Sonnengürtel der Erde nahelegt. So sind beispielsweise die Bedingungen im Mittelmeerraum mit Einstrahlungswerten bis zu 2.500 kWh/m²a (global horizontal) um den Faktor 2-3 günstiger als in Mitteleuropa. Entsprechend reduzieren sich die Kosten der Stromerzeugung aus PV auf Werte z.T. deutlich unter 50 Pf/kWh. Das Süd-Nord-Gefälle ist jedoch nicht nur für die Ökonomie der PV entscheidend, sondern in viel stärkerem Maße für solarthermische Kraftwerke. Der Grund besteht darin, daß hochkonzentrierende Spiegelsysteme nur die direkt von der Sonne auf die Erdoberfläche auftreffende Strahlung nutzen können. An Standorten, die wie Deutschland häufig bewölkt sind, kommt ihr Einsatz daher nicht in Frage. Ein technisch sinnvoller Betrieb ist erst ab einer Einstrahlung von etwa 1.800 kWh/m²a sinnvoll, in Europa also südlich einer Linie Madrid-Neapel-Ankara. Folglich wurde auch das europäische Solar-testzentrum, das gemeinsam von der Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR) und der spanischen CIEMAT betrieben wird, im Süden Spaniens errichtet.



Die am weitesten entwickelte Technik solarthermischer Kraftwerke stellen Parabolrinnen-Kraftwerke dar. Während der 80er Jahre wurden insgesamt 9 kommerzielle Anlagen mit einer Gesamtleistung von 354 MW in den USA errichtet. Parallel wurden Solarturm-Kraftwerke entwickelt, von denen insgesamt acht Experimental- und Demonstrationskraftwerke im Leistungsbereich von 0,5-10 MW gebaut wurden. Solarthermische Kraftwerke für den kommerziellen Einsatz werden im Leistungsbereich von wenigen 10 MW bis etwa 200 MW konzipiert. Aufgrund der relativ großen Leistungen, kommen die Kraftwerke – anders als PV- und Windenergieanlagen – nur für den Einsatz in zentralen Stromnetzen in Frage und konkurrieren damit immer mit konventionellen Kraftwerken. Sie haben jedoch den Vorteil, daß es sich um thermische Anlagen handelt, die es erlauben, Schwankungen im solaren Energieangebot durch thermische Energiespeicher und/oder eine fossile Zusatzfeuerung (Hybridisierung) auszugleichen. Dadurch kann mit solarthermischen Kraftwerken die gleiche Leistungsverfügbarkeit garantiert werden wie bei konventionellen Kraftwerken, was den Wert der produzierten Elektrizität deutlich erhöht. Die Möglichkeit der Hybridisierung ist auch aus zwei weiteren Gründen von großer Bedeutung: zum einen, weil in den meisten der in Frage kommenden Standortländer (primär Schwellen- und Entwicklungsländer) der Strombedarf rasch wächst und vor allem Grundlastkraftwerke benötigt werden. Zum anderen können kapitalintensive Komponenten wie Dampferzeuger, Turbinen und Generator durch eine Hybridisierung besser ausgelastet und niedrigere Stromkosten erreicht werden. **Abbildung 4** zeigt exemplarisch für ein 80 MW Parabolrinnen-Kraftwerk die erreichbaren Stromgestehungskosten bei unterschiedlichen solaren und fossilen Anteilen. Im rein solaren Betrieb können schon heute Kosten unter 30 Pf/kWh realisiert werden (obere Kurve). Die Auslastung der Anlagen hängt dabei vom Verhältnis der Leistung des Solarfeldes im Vergleich zur Leistung der Dampfturbine ab (solar multiple SM). SM 1 bedeutet in etwa, daß bei maximaler Einstrahlung das Solarfeld ausreicht, um die Dampfturbine bei Nennleistung zu betreiben. Solarvielfache größer 1 erlau-

ben den Betrieb thermischer Speicher, um die Auslastung der Anlage auch im rein solaren Betrieb zu erhöhen, bei Solarvielfachen kleiner 1 ist eine entsprechende Menge an fossilen Brennstoffen einzusetzen. Die Stromgestehungskosten des Hybridkraftwerkes nähern sich bei zunehmendem fossilen Anteil den Kosten des rein fossilen Vergleichskraftwerkes.

Im Gegensatz zu Parabolrinnen- und Turm-Kraftwerken kommen solarthermische Dish-Anlagen mit Leistungen von 10 bis etwa 400 kW pro Einheit primär für die dezentrale Stromversorgung in Frage. Bei miteinander verschalteten Anlagen bis max. etwa 10 MW ist jedoch auch die Kopplung an mittelgroße Versorgungssysteme möglich. Dish-Anlagen befinden sich heute im Demonstrationsstadium, haben jedoch ihre Einsatzreife in zahlreichen Projekten unter Beweis gestellt. Eine besonders interessante Alternative der Stromerzeugung dürften sie vor allem dann sein, wenn die zur Zeit entwickelte Hybridisierung der Systeme gelingt.

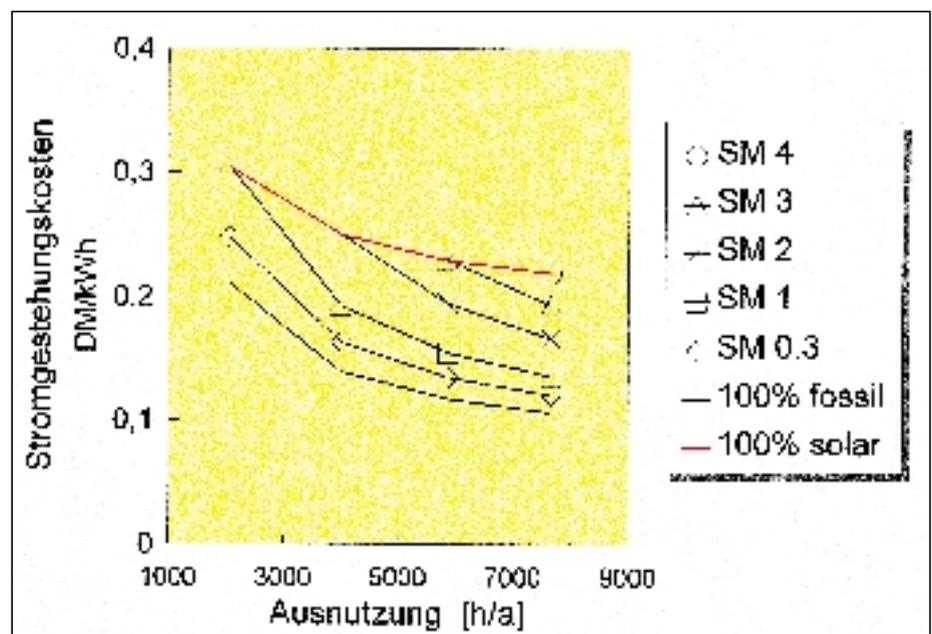
### 3. Märkte der Zukunft

Der weltweite Bedarf an Elektrizität wird in den nächsten Jahren und Jahr-

zehnten sehr stark ansteigen. Schon heute werden jedes Jahr rund 50.000 MW an zusätzlicher Kraftwerksleistung installiert. Die Internationale Energieagentur [1] und der Weltenergieerwartungsrat [2] gehen davon aus, daß die weltweite Stromnachfrage bis zum Jahr 2010 um mehr als 60% zunehmen und sich bis zum Jahr 2020 etwa verdoppeln wird. Der Schwerpunkt des Wachstums wird in den Schwellen- und Entwicklungsländern liegen, die gleichzeitig auch über erhebliche Potentiale an erneuerbaren Energiequellen verfügen. Neben großen Kraftwerken besteht hier ein erheblicher Bedarf an kleinen bis mittelgroßen, dezentralen Anlagen für die ländliche und regionale Elektrifizierung. Die Weltbank geht davon aus, daß hier innerhalb des nächsten Jahrzehnts 15.000 MW elektrische Leistung errichtet werden müssen [3]. Damit werden erneuerbare Energiequellen in diesem Bereich nicht nur aus ökologischen, sondern auch aus ökonomischen Gründen zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Die Frage, wie sich die Stromerzeugung aus Solarstrahlung und Wind in den nächsten Jahren entwickeln wird, läßt sich am präzisesten für die Nutzung der Windenergie beantworten, für die relativ belastbare Prognosen vorliegen (**Abbildung 5**). Die installier-

*Abbildung 4: Stromgestehungskosten solarthermischer Parabolrinnen-Kraftwerke mit 80 MW Leistung an Standorten in Äquatornähe mit einer Direktstrahlung von 2.370 kWh/m<sup>2</sup>a in hybrider und rein solarer Betriebsweise (Brennstoffkosten 6 DM/GJ, Abschreibungszeit 20 Jahre, Zinssatz 8%)*



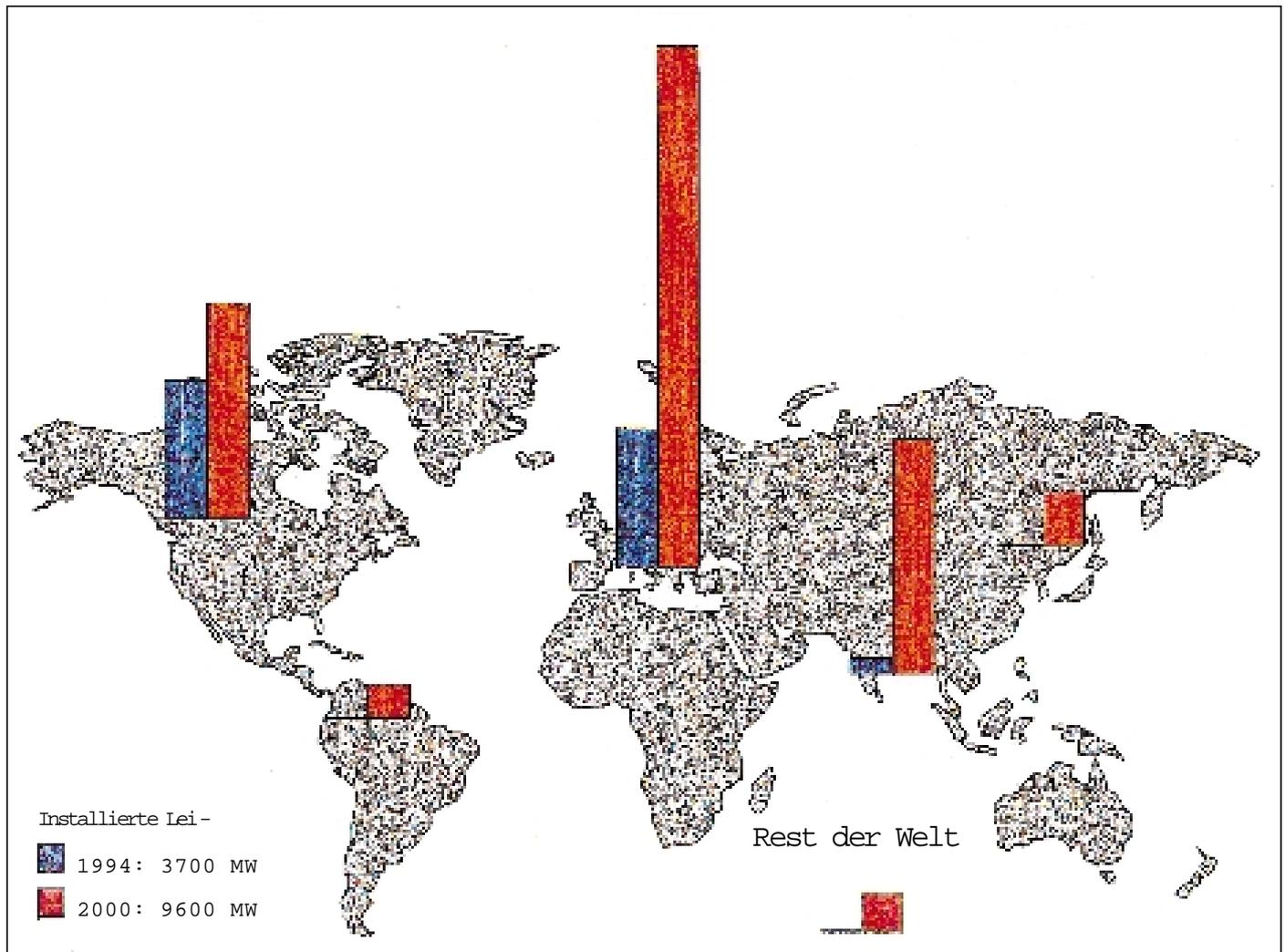
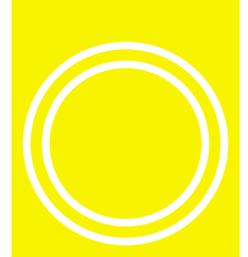


Abbildung 5: Erwartete Entwicklung der installierten Leistung von Windenergieanlagen bis zum Jahr 2000 (in MW) [4]

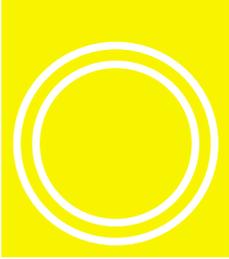
te Leistung wird sich danach bis zum Ende des Jahrzehnts auf 10.000 MW mehr als verdoppeln, was einer Absatzsteigerung von 17% entspricht. Mit einem Absatz von rund 2.000 MW im Jahr 2000 wird die Windenergieindustrie voraussichtlich 4 Mrd. DM umsetzen. Wichtigster Markt wird bis dahin noch Europa bleiben, jenseits des Jahres 2000 liegen die Marktchancen jedoch eindeutig im außereuropäischen Ausland.

Auch der Weltmarkt für photovoltaische Systeme wird sich in den nächsten Jahren rasch entwickeln. Bei deutlich sinkenden Kosten für Module und Systemkomponenten ist davon auszugehen, daß die Produktion an PV-Modulen von heute 80 MWp auf etwa 150-200 MWp bis zum Jahr 2000 zunehmen wird und damit das jährliche Wachstum von 15% der vergangenen 10 Jahre beibehalten oder

überschritten werden kann. Damit würde der Umsatz der Branche auf etwa 2,5 Mrd. DM ansteigen. Wichtigste Säulen dieser Entwicklung werden neben den Kleinanwendungen Programme zur ländlichen Elektrifizierung in Schwellen- und Entwicklungsländern sein. Denn wie [Abbildung 6](#) zeigt, besteht für netzunabhängige Systeme zur Elektrifizierung ländlicher Haushalte (sog. solar home-Systeme), Wasserpumpensysteme, Kommunikationssysteme etc. ein enormes Potential von mehreren tausend Megawatt. Langfristig wird das Wachstum jedoch auch davon abhängen, in welchem Umfang Anwendungsbereiche für netzgekoppelte PV-Anlagen wirtschaftlich erschlossen werden können. Dazu zählen dezentrale Inselnetze, PV-Anlagen zur Stützung schwacher Netze und gebäudeintegrierte Anlagen. Voraussetzung für die Wettbewerbsfähigkeit der PV in diesen Berei-

chen ist, daß die Kosten durch den Aufbau großer Fertigungsanlagen und die Umsetzung technischer Innovationen (z.B. effiziente Dünnschicht-Solarzellen) deutlich gesenkt werden.

Im Gegensatz zur Windenergie und PV verfügen solarthermische Kraftwerke derzeit nicht über Marktnischen, in denen sie unter den gegebenen energiewirtschaftlichen Randbedingungen wettbewerbsfähig sind. Zudem erfordern sie aufgrund der vergleichsweise großen Leistungen hohe absolute Investitionen. Dennoch kommt ihnen für internationale Programme zum Klimaschutz ein beachtlicher Stellenwert zu. Entsprechend groß ist das Interesse internationaler Organisationen wie der Weltbank und der Global Environmental Facility. Aber auch für eine Reihe von potentiellen Standortländern ist die Technologie attraktiv, nicht zuletzt um sich langfristig von Ener-



gieimporten unabhängiger zu machen. Zunehmender politischer Handlungsdruck und die vielversprechenden Ergebnisse mehrerer umfangreicher Machbarkeitsstudien für verschiedene Länder (u.a. Brasilien, Indien, Jordanien, Marokko, Spanien, Griechenland), haben dazu geführt, daß die Weltbank beabsichtigt, innerhalb kurzer Zeit eine Anlage zu realisieren. Von diesem Projekt kann eine erhebliche Signalwirkung ausgehen, die den Bau weiterer Anlagen stimuliert. Denn der potentielle Markt ist enorm: Wie **Abbildung 7** zeigt, ist zu erwarten, daß allein bis zum Jahr 2010 die Nachfrage nach Elektrizität weltweit um etwa 8.000 TWh (gegenüber 1992) zunehmen wird. Die Wachstumsregionen sind vor allem China und Südostasien, aber auch in Mittel- und Südamerika, Afrika und dem Nahen Osten besteht ein erheblicher Bedarf für neue Kraftwerke. Allein hier wird sich die zusätzlich zum bestehenden Kraftwerkspark neu zu errichtende Kraftwerksleistung (ohne Ersatz alter Anlagen) auf etwa 800.000 MW belaufen, wovon annähernd die Hälfte auf Kohle und ein weiteres Viertel auf Öl und Erdgas entfallen. Ein großer Teil dieses Kraft-

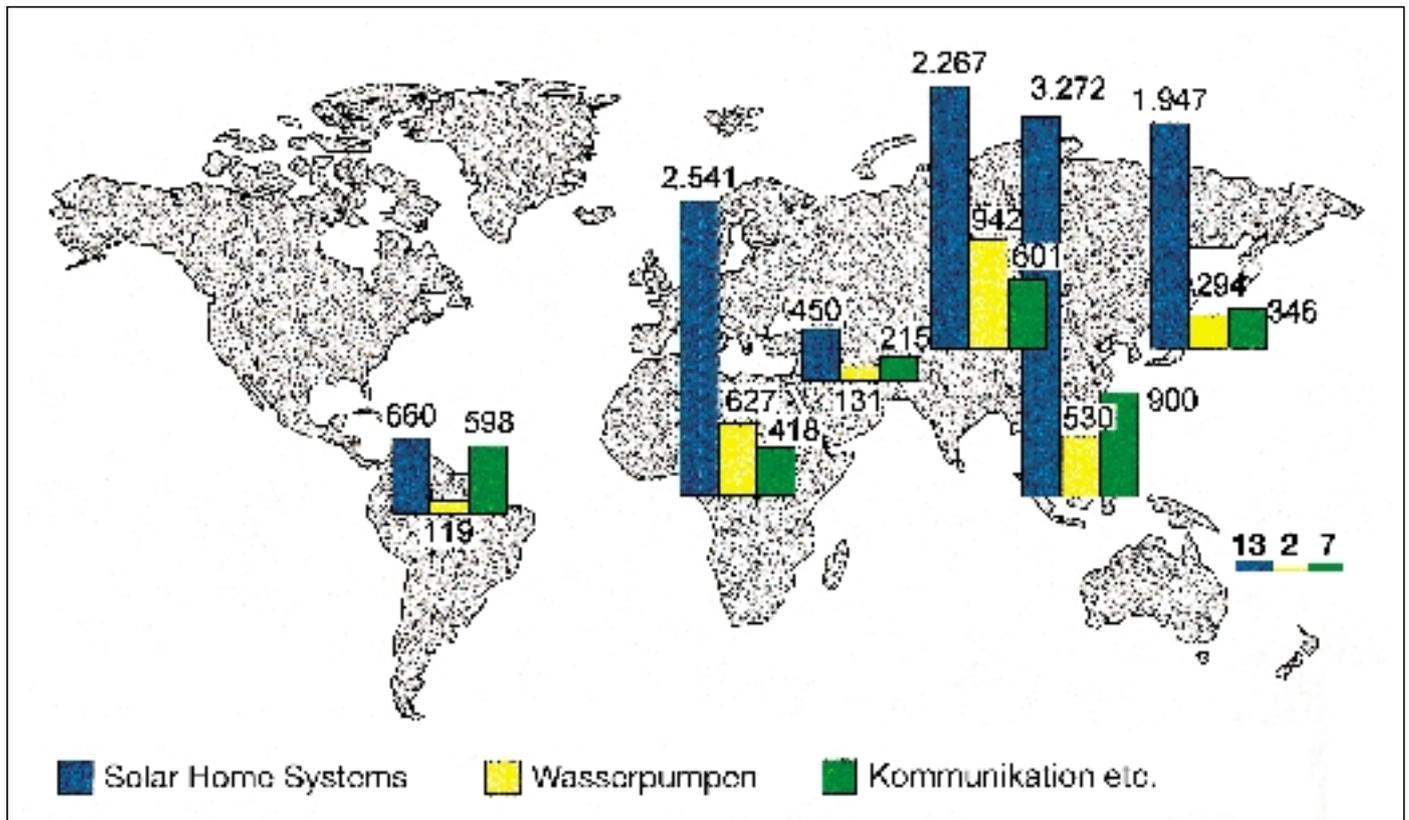
werksbedarfes entfällt auf Länder im Sonnengürtel der Erde und ließe sich damit durch unterschiedliche Konfigurationen solar-fossiler Hybridkraftwerke realisieren. Sollte die internationale Klimaschutzpolitik die richtigen Weichen stellen, kann sich daraus rasch ein Milliardenmarkt entwickeln. Auch für die deutsche Energie- und Klimaschutzpolitik können solarthermische Kraftwerke langfristig eine wichtige Rolle spielen. Denn durch das zunehmende Zusammenwachsen der internationalen Stromnetze (ein Seekabel von Marokko nach Spanien befindet sich im Bau, weitere Verbindungen von Tunesien nach Italien und von der Türkei nach Griechenland sind geplant) wird bereits heute ein Teil der Infrastruktur geschaffen, die langfristig auch den Import solarer Elektrizität aus dem südlichen Mittelmeerraum nach Mitteleuropa ermöglicht. Trotz der damit verbundenen Transportaufwendungen könnte solare Elektrizität langfristig für etwa 20 Pf/kWh in Mitteleuropa bereitgestellt werden.

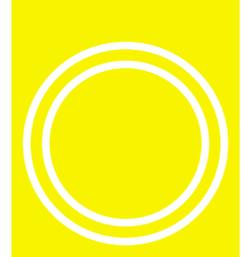
#### 4. Technologische und wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands

Die technologische Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands kann Dank der geleisteten umfangreichen Forschung, Entwicklung und Demonstration heute bei allen drei Technologien als sehr gut bezeichnet werden (**Tabelle 1**). Im Bereich der PV gehört Deutschland neben den USA und Japan zu den Technologieführern. Dies gilt auch für den Bereich der solarthermischen Kraftwerkstechnik, bei der außer Deutschland nur die USA, Israel und Spanien heute eine solche solare Großanlage bauen können. Bei der Nutzung der Windenergie konnte der technologische Rückstand gegenüber Dänemark aufgeholt werden. Die Einführung drehzahlvariabler Anlagenkonzepte – auch ohne Getriebe – hat dazu beigetragen, daß Deutschland bei diesen Konzepten die Systemführerschaft besitzt. Allerdings könnten bei Schaffung entsprechender Rahmenbedingungen in den USA, Japan und den Niederlanden aus diesen Ländern, neben Dänemark, starke Konkurrenz erwachsen.

Sehr viel wichtiger als die Frage der technologischen Wettbewerbsfähigkeit ist die Frage, ob Deutschland auch

Abbildung 6: Potential für netzunabhängige Photovoltaikanlagen in Entwicklungs- und Schwellenländern (in MW<sub>p</sub>)





kommerziell wettbewerbsfähig ist. Denn bei der Stromerzeugung aus Sonne und Wind geht es heute nicht mehr allein um die umweltfreundliche Energiebereitstellung, sondern darum,

wer sich auf einem mit zweistelligen Wachstumsraten expandierenden Weltmarkt, der schon heute die Milliardengrenze überschritten hat, Marktanteile sichern und langfristig be-

haupten kann. Andernfalls wird man über kurz oder lang auch die Technologieführerschaft einbüßen. Aus deutscher Sicht ist dies gerade für die genannten Technologien wichtig, bei

Abbildung 7: Entwicklung des Strombedarfes bis zum Jahr 2010 [1]

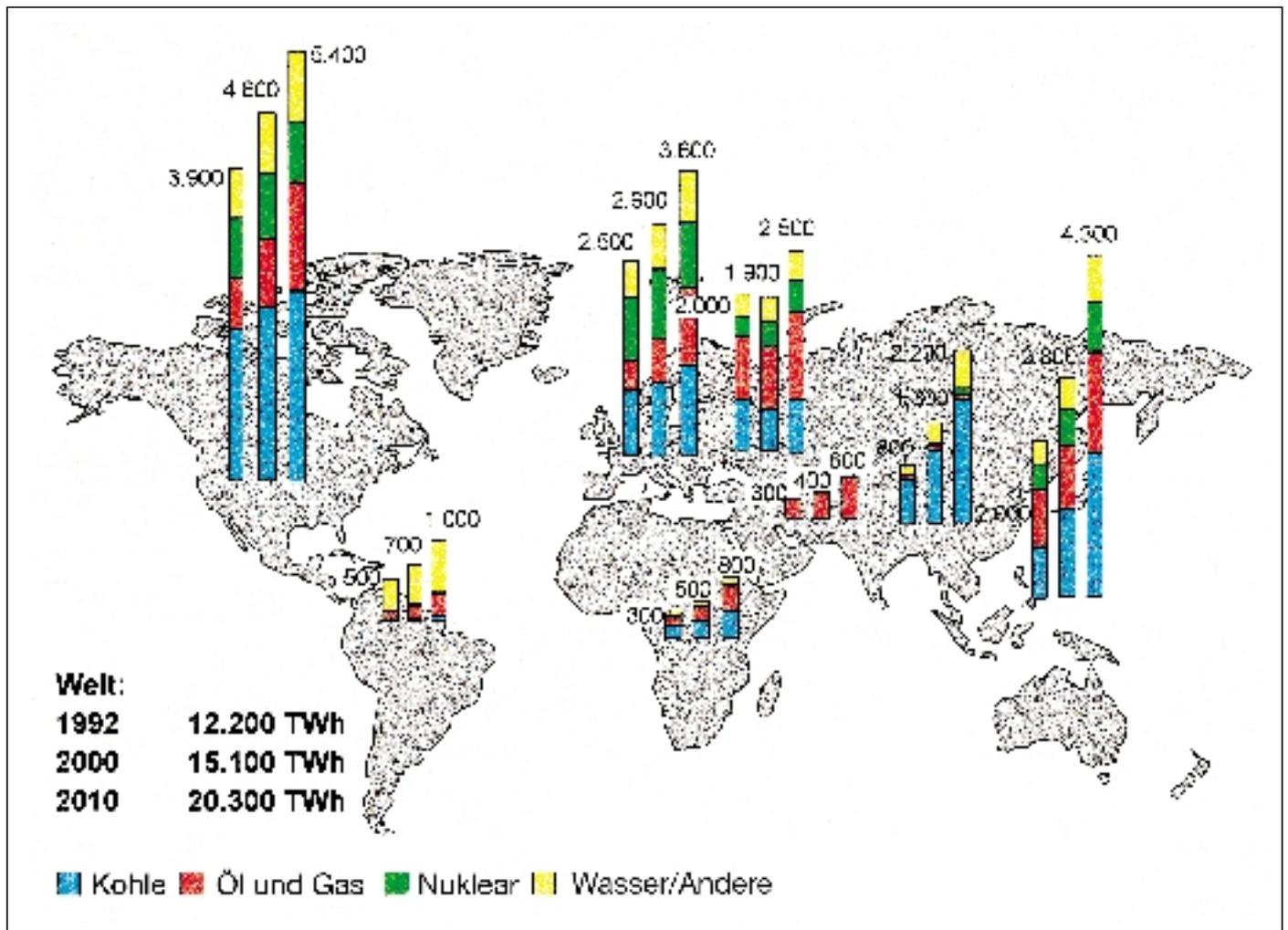
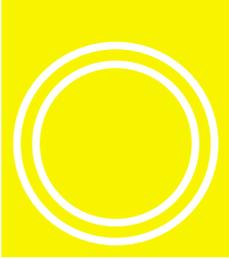


Tabelle: Erwartetes Marktvolumen und momentane Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands bei den Technologien zur Stromerzeugung aus Sonne und Wind.

Technologie	Jährliches Marktvolumen im Jahr in MW; DM	Produktionskapazität in Deutschland 1996	Momentane Wettbewerbsfähigkeit zu anderen Ländern	Hauptkonkurrenten im internationalen Vergleich
Windenergie	1995: ~1.200 MW ~2,5 Mrd. DM 2000: ~2.200 MW ~4 Mrd. DM	350 MW, mehrere Unternehmen, 5.000 Beschäftigte, Umsatz 1995 1,2 Mrd. DM	technologisch sehr gut, im Export bedingt konkurrenzfähig	derzeit Dänemark, mittelfristig auch USA, Japan, Niederlande
Solarthermische Kraftwerke	1995: 0 MW 2000: unter günstigen Randbedingungen erreichbar ~100 MW/ 0,5 Mrd. DM	zwei Unternehmen fähig	technologisch sehr gut, kommerziell gut	USA, Israel, Spanien
Photovoltaik	1995: ~80 MW <sub>p</sub> >1 Mrd. DM 2000: ~200 MW <sub>p</sub> ~2,5 Mrd. DM	~Modulproduktion 1 MW <sub>p</sub> , mehrere Unternehmen	technologisch sehr gut, kommerziell bedingt	derzeit USA, Japan



denen 50% und mehr der Investitionskosten auf high-tech-Produkte entfallen (z.B. PV-Module, Solarfeld und Kraftwerkstechnik bei solarthermischen Kraftwerken, Rotorblätter, Getrieb und Generatoren bei Windenergieanlagen).

Im einzelnen läßt sich die momentane Situation wie folgt skizzieren:

- Bei der Nutzung der Windenergie konnten Dank des sich rasch entwickelnden Binnenmarktes in sehr kurzer Zeit nennenswerte Produktionskapazitäten aufgebaut werden. Dänemark als Hauptkonkurrent am Weltmarkt besaß jedoch bereits sehr viel früher einen funktionierenden Binnenmarkt als Schaufenster, so daß Deutschland bislang hinsichtlich des Exportes noch eine untergeordnete Rolle spielt. Bedingt durch die begrenzten Standortflächen im Inland wird sich die Überlebensfähigkeit der deutschen Industrie aber besonders an ihrer Durchsetzungsfähigkeit am Weltmarkt entscheiden.
- Im Bereich der PV sind deutsche Unternehmen international wettbewerbsfähig, nicht zuletzt seit Siemens Solar 1991 den damals größten Anbieter in den USA, Arco Solar, übernommen hat und heute einen Weltmarktanteil von etwa 20% hält. Bedenklich für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands ist, daß Investitionen in große Produktionsanlagen zur Zeit ausschließlich im Ausland (z.B. USA) erfolgen und die Produktion in Deutschland bis auf etwa 1 MW<sub>p</sub> nahezu aufgegeben wurde.
- Bei den solarthermischen Kraftwerken werden alle drei genannten Konzepte von deutschen Unternehmen angeboten. Diese Unternehmen sind zum Teil in der Lage, die Anlagen als Generalunternehmer zu errichten. Aufgrund der zur Zeit fehlenden Marktnachfrage kann die Lieferfähigkeit jedoch nicht umgesetzt werden. Damit befinden sie sich in der gleichen Situation wie ausländische Anbieter. Es ist abzusehen, daß diese Qualifikation nur aufrecht erhalten werden kann, wenn in absehbarer Zeit konkrete Projekte umgesetzt werden.

## 5. Handlungsbedarf

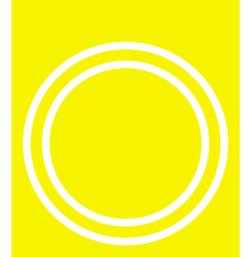
Die Ausführungen zeigen, daß die technologische bzw. die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands im internationalen Markt nur aufrechterhalten werden kann, wenn die sich entwickelnden Märkte konsequent erschlossen werden und speziell im Bereich der solarthermischen Kraftwerke die Marktöffnung vorangetrieben wird. Diese Notwendigkeiten wurden offensichtlich von den jeweiligen Konkurrenten, im Windenergiebereich Dänemark, im solaren Bereich USA und Japan erkannt und die entsprechenden Konsequenzen bereits gezogen.

Bei den Herstellern von **Windenergieanlagen** handelt es sich ausschließlich um kleine und mittelständische Unternehmen, die zumeist nicht über ein globales Informations- und Vertriebsnetz verfügen. Sie bedürfen daher besonderer Unterstützung bei der Akquisition in Entwicklungs- und Schwellenländern. Bislang wurden hier im wesentlichen zwei Programme des Bundesforschungsministeriums durchgeführt. Zum einen das zusammen mit der Kreditanstalt für Wiederaufbau durchgeführte Programm zur anwendungsnahen Erprobung kleiner Windenergieanlagen in Entwicklungsländern (bis 1993) und seit 1993 das „ELDORADO Programm Wind“, unter dem bis 1995 17 MW Windleistung in verschiedenen Windparks, u.a. in Argentinien, Ägypten, Brasilien, China und Rußland bewilligt wurden. Aufbauend auf diesen Maßnahmen ist es notwendig, die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Akquisition der deutschen Windenergieindustrie in Entwicklungs- und Schwellenländern durch sehr viel weitergehende Maßnahmen zu verbessern. Dies sind:

- F&E-Maßnahmen zur notwendigen Anpassung der Anlagen an klimatische und infrastrukturelle Rahmenbedingungen (z.B. Transportinfrastruktur, Verfügbarkeit, Kapazität und Stabilität von Stromnetzen) sowie unterschiedliche technische Vorgaben in den Zielländern.
- Absicherung eines zuverlässigen Betriebes der Anlagen durch spezielle Aus- und Weiterbildungsprogramme von technischem Personal vor Ort.

- Systematische Erstellung von Länderanalysen und Identifikation besonders vielversprechender Standortländer. Dazu zählen neben der Ermittlung der Windpotentiale und der Analyse der energiewirtschaftlichen und energiepolitischen Rahmenbedingungen auch Fragen der technischen und nichttechnischen Export- bzw. Importvoraussetzungen (z.B. Einfuhrbeschränkungen, Zölle, Kapitaltransferbestimmungen), der Finanzierung und des Technologie- und Know-how-Transfers.
- Gezielte Akquisitionshilfen der Auslandshandelskammern und Konsulate.
- Politische unterstützte Realisierung von Großprojekten im Bereich mehrerer 10 MW mit Vorzeigecharakter.

Bei der **Photovoltaik** steht zunächst im Vordergrund, wie die Voraussetzungen für den Ausbau der heimischen Produktion geschaffen werden können. Entscheidend dafür ist, mit welcher Technologie Deutschland trotz hoher Löhne international wettbewerbsfähig sein kann und wie groß die erforderliche Produktionskapazität sein muß. Der erste Aspekt ist bislang nicht endgültig entschieden, besonders gute Chancen versprechen jedoch Dünnschicht-Technologien. Die zweite Frage läßt sich leichter beantworten: Um die Rationalisierungsmöglichkeiten bei der Produktion weitgehend auszuschöpfen, muß ein Jahresausstoß von mindestens einigen 10 MW<sub>p</sub> angestrebt werden. Dieser Produktion müssen dann allerdings entsprechende Absatzmöglichkeiten gegenüberstehen, damit privates Kapital mobilisiert werden kann. Trotz aller Globalisierung dürfte nach wie vor die Nähe zu Absatzmärkten oder zu Ländern, die eine aktive und stetige Export- und Technologieförderpolitik betreiben (wie z.B. heute die USA oder Japan), bei Investitionsentscheidungen ein wichtiges Kriterium darstellen. Wichtig ist daher zum einen, daß für die Nutzung der PV in Deutschland eine langfristige Perspektive geschaffen wird. Ob der Weg dabei über ein 100.000 Dächer-Programm oder eine allgemeingültige, kostendeckende Vergütung führen muß, kann zunächst offenbleiben. Viel wichtiger ist jedoch, daß analog der Windenergie



gie klare Ziele definiert werden, welche PV Leistung zu einem bestimmten Zeitpunkt zu welchen Kosten in Deutschland installiert sein soll. Dies verlangt eine Abwägung zwischen volkswirtschaftlichem Aufwand und Nutzen. Erforderlich wird es sein, zunächst einen Markt von wenigen MW<sub>p</sub> pro Jahr abzusichern, der parallel zu sinkenden Anlagenkosten innerhalb der nächsten 5–10 Jahre auf etwa 10 MW<sub>p</sub> pro Jahr erhöht wird. Damit kann der Inlandsmarkt für die deutliche Ausweitung der PV-Produktion die wichtige Funktion eines Basismarktes erfüllen. Sehr viel bedeutender ist es allerdings, die Markterschließung in den Entwicklungs- und Schwellenländern voranzutreiben und die PV – ebenso wie die Windenergienutzung – zunehmend zum Gegenstand der Entwicklungszusammenarbeit zu machen. Eine Strategie, die von den USA und Japan bereits intensiv praktiziert wird.

Bei den **solarthermischen Kraftwerkstechniken** ist es wichtig, daß sich Deutschland an dem bevorstehenden Bau der ersten Anlage in einem Entwicklungs- und Schwellenland beteiligt, von dem erhebliche Signalwirkung ausgehen kann. Erfreulicherweise scheint dieser Schritt gemeinschaftlich von der deutschen Kreditanstalt für Wiederaufbau und der Weltbank gegangen zu werden. Zur Marköffnung für speziell diese Technologie ist es aber ebenfalls erforderlich, daß sich Deutschland auf der internationalen Ebene stark darum bemüht, nicht nur international verbindliche CO<sub>2</sub>-Minderungsziele herbeizuführen, sondern auch die Voraussetzungen dafür zu schaffen, daß die entsprechenden

Umsetzungsinstrumente (z.B. Joint Implementation) etabliert werden, die es erlauben, privates Kapital in solarthermische Kraftwerksprojekte zu lenken. Wichtig ist aber auch, daß man in Deutschland für die solarthermische Kraftwerkstechnologie zu einer gemeinsamen und abgestimmten Strategie findet. Beschlossen scheint zur Zeit, daß es sich bei dem nächsten solarthermischen Kraftwerk um ein konventionelles GuD-Kraftwerk mit kleinem Solaranteil handelt. Zu fragen ist jedoch, auf welche Weise man mittel- bzw. langfristig zu umgekehrten Energierelationen, d.h. solaren Kraftwerken mit nur noch geringfügiger fossiler Unterstützung oder rein solaren Kraftwerken mit Speichern gelangen will und welche Technik man für welchen Anwendungsbereich weiterentwickeln will. Bei Parabolrinnen-Kraftwerken handelt sich um eine seit über einem Jahrzehnt im praktischen Betrieb erprobte Technologie, der die wichtige Funktion der Marktöffnung zukommt. Während der Einsatzbereich vor allem bei solaren Dampfkraftwerken mit Gas- oder Öl-Zusatzfeuerung liegt, ist die Stärke von Solarturm-Kraftwerke die höheren erzielbaren Temperaturen, die potentiell eine Verknüpfung mit Gasturbinen erlaubt und damit die Realisierung höherer Wirkungsgrade. Da der aus Sicht der CO<sub>2</sub>-Emissionen sehr problematische Brennstoff Kohle (pro erzeugter elektrischer Kilowattstunde mindestens Faktor 2 gegenüber Erdgas) auch in Zukunft eine zentrale Rolle spielen wird, kommt der Entwicklung geeigneter solarer Konzepte in Verbindung mit Kohle sehr große Bedeutung zu. Dies würde auch die Errichtung eines ersten deutschen

bzw. europäischen Demonstrationskraftwerkes rechtfertigen.

### Fazit

Aus deutscher Sicht bieten die Technologien zur Stromerzeugung aus Sonnenenergie und Wind heute schon mehr als nur eine Perspektive für eine umweltfreundliche Energieversorgung. Sie bieten die Chance, die technologische Spitzenstellung Deutschlands bereits kurz- bis mittelfristig in qualifizierte Arbeitsplätze umzusetzen. Seitens der Energie- und Wirtschaftspolitik müssen die Rahmenbedingungen geschaffen werden, daß sich deutsche Produkte an den sich z.T. mit zweistelligen Zuwachsraten entwickelnden Märkte etablieren, bei denen die Wettbewerbsfähigkeit in den Schwellen- und Entwicklungsländern zunehmend entscheidend sein wird. Deshalb ist auch eine stärkere Ausrichtung der Entwicklungszusammenarbeit auf dieser Bereiche erforderlich. Aufgrund der unterschiedlichen Einsatzbereiche und des erreichten Entwicklungsstandes bedarf es jeweils auf die betreffende Technologie zugeschnittener Markterschließungsstrategien, die durch folgende Notwendigkeiten charakterisiert werden:

**Windenergie:** „Deutsche Unternehmen am Weltmarkt etablieren!“

**Photovoltaik:** „Technologie in heimische Arbeitsplätze umsetzen!“

**Solarthermische Kraftwerke:** „In internationaler Kooperation mit den nächsten Kraftwerken Märkte öffnen!“

### Literatur

- [1] „World Energy Outlook 1995“, OECD/IEA International Energy Agency, Paris (1995)
- [2] „Energy for Tomorrow's World“, World Energy Council, Kogan Page Ltd., London (1993)
- [3] „Capital Expenditures for Electric Power in Developing Countries in the 1990's“, Energy Series, Paper No.32, The World Bank, Washington DC (1990)
- [4] BTM Consult. Ringkøbing, Dänemark (1995)