

# Warum brauchen wir solarthermische Kraftwerke?

Dr. Gerd Eisenbeiß  
FZ-Jülich  
energie@fz-juelich.de

Dr. Robert Pitz-Paal  
DLR  
robert.pitz-paal@dlr.de

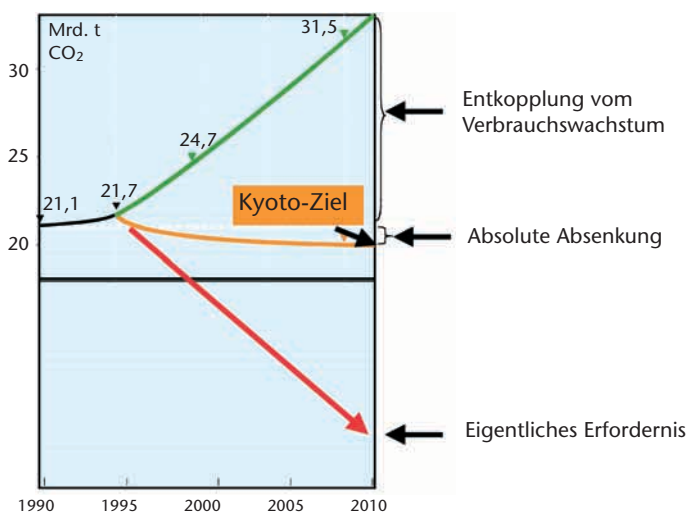
## 1 Die Herausforderungen

Man kann die Herausforderungen unserer Energie-Zukunft auf verschiedene Weise darstellen: hier sei das Bild der doppelten oder gar dreifachen Engpassituation wiederholt, das schon oft benutzt wurde:

Einerseits ist es trivial festzustellen, dass die fossilen Energievorräte endlich sind; das enthebt allerdings nicht der Notwendigkeit, die Zeitspanne ihrer Verfügbarkeit immer wieder neu abzuschätzen! Denn Forschung ist nicht gegen die Gefahr gefeit, zu früh zu starten und dann zu früh fertig zu sein. Wer zu früh startet, verschwendet materielle und geistige Ressourcen, weil er Wichtigeres verdrängt.

Andererseits hat die Klimaforschung im letzten Jahrzehnt ausreichend plausibel gemacht, dass die Atmosphäre nicht ohne Folgen zur Deponie für Verbrennungsrückstände, insbesondere das CO<sub>2</sub>, gemacht werden darf. Das Kyoto-Protokoll zeigt, dass die meisten Staaten der Welt Klimaschutz und damit Einschränkungen der Emission von Treibhausgasen befürworten und erste, allerdings unzureichende Maßnahmen ergreifen wollen (Abb.1).

Abbildung 1  
Der Kyoto-Spagat



Zum dritten führen uns nur neue innovative Lösungen und Technologien aus diesen Ver- und Entsorgungsempässen heraus. Damit wird

die Innovation zum dritten Engpass unserer Entwicklung hin zu einer nachhaltigen Energieversorgung der Zukunft.

Dieser Vortrag beschränkt sich auf die Stromerzeugung. Zwar verengt man damit die Argumentation auf die Technologie konzentrierender solarthermischer Systeme, die auch im Bereich der Prozesswärme für andere als Kraftwerkszwecke eingesetzt werden kann, aber man trägt der Tatsache Rechnung, dass der Energiesektor Strom sicher an statistischem Gewicht und damit an energiepolitischer Bedeutung noch zunehmen wird.

### 1.1 Perspektiven der Energieversorgung

Eine gute Einschätzung der Versorgungslage und ihrer Entwicklung ist schwierig. Zum einen sind die Angaben der Firmen insbesondere der Öl- und Gasbranche sicherlich von deren Interessen bestimmt, zum anderen sind die Verknappungsprognosen der Vergangenheit immer wieder durch neue Funde großer Vorkommen an Öl und Gas als zu ängstlich desavouiert worden. Vielleicht spricht die Interessenneutralität der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover dafür, ihre Darstellung ernst zu nehmen:

Hinsichtlich der Gasvorkommen ist in jüngerer Zeit immer wieder darauf hingewiesen worden, dass sich die regionale Versorgungslage Europas schneller verschlechtert als die globale. Das liegt daran, dass die nahen Erdgasquellen schneller versiegen werden als die ferneren am Kaspischen Meer und südlich davon am arabisch-persischen Golf (Abb.2).

Natürlich sind die Kohlevorkommen sehr viel reichlicher als die der Kohlenwasserstoffe, wenn man von Methanhydraten in den Ozeanen absieht, deren Gewinnbarkeit noch nicht gesichert ist. Gäbe es also nur das Problem der Brennstoffversorgung von Kraftwerken, würden über kurz oder lang nur noch Kohle-Kraftwerke gebaut,

die man übrigens hinsichtlich noxisch-toxischer Emissionen ohne prohibitive Kosten beliebig sauber betreiben kann. Erneuerbare Energie und speziell solarthermische Kraftwerke bräuchten wir dann nur, wenn sie den Strom billiger liefern könnten.

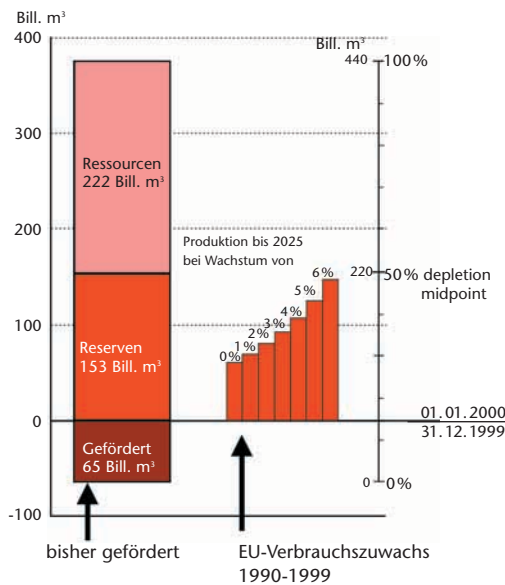
Kernkraft ist aus anderen Gründen schwer einzuschätzen, wenn eine Gesellschaft ein durchaus anspruchsvolles Sicherheitssystem auferlegt, dann aber die Kapazitäten störungsfrei bauen ließe. Die Kriterien der Nachhaltigkeit gebieten allerdings eine Weiterentwicklung dieser Technologie hin zu inhärenter Sicherheit und wesentlicher Verkürzung der Lebensdauer radioaktiver Abfälle. Wenn, wie zur Zeit in USA, die Betriebsgenehmigung bestehender Kernkraftwerke um weitere 20 Jahre verlängert wird, zeigt dies das große wirtschaftliche Potenzial. Aber wir wissen, dass in vielen Staaten und Gesellschaften die Risiken der Kernkraft als zu hoch eingeschätzt werden, sodass dort auf diese Option verzichtet wird oder ihre Nutzung beendet werden soll. Wo dies in demokratischen Prozessen ausgetragen und entschieden wird, ist dieser Verzicht eine legitime Einschränkung der Optionen. Wo autoritäre Regime demokratische Auseinandersetzung um die nuklearen Chancen und Risiken nicht zulassen, ist weder die Nutzung wirklich verantwortbar noch ihre Ablehnung legitimiert.

Wenn man nur die Versorgungslage betrachtet, dann folgt aus dem Gesagten: Wir werden zwar irgendwann alle Optionen brauchen, können uns aber mit der technisch-wirtschaftlichen Entwicklung durchaus Zeit lassen. Die soweit erforderliche energiepolitische Strategie wäre also eine Betonung kontinuierlicher Forschung zur Erschließung der Optionen ohne dramatischen Druck auf wirtschaftliche Nutzung.

### 1.2 Engpässe der Entsorgung.

Deshalb ist es so wichtig, den Ernst der Gefahren auf der Entsorgungsseite zu betrachten. Der Begriff der Entsorgung ist ja zunächst im Hinblick auf die Beseitigung nuklearer Abfälle geprägt worden. Es ist nur fair festzustellen, dass da noch nichts „entsorgt“ ist, sondern dass die Sorgen in allen Kernkraft nutzenden Staaten groß sind. Man kann zwar unter technischen Aspekten durchaus

#### Fossile Energieressourcen (Gas)



#### Fossile Energieressourcen (Öl)

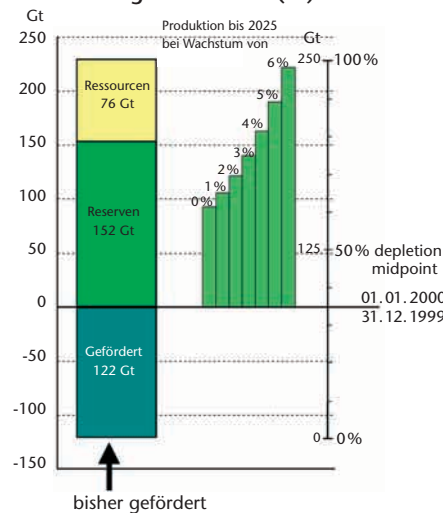


Abbildung 2  
BGR-Vorratsdarstellung für Öl und Gas

optimistisch sein, radioaktiven Müll – woher auch immer er stammt – sicher von der Biosphäre abgetrennt lagern zu können; keine Gesellschaft hat aber bisher das Problem der regionalen Akzeptanz eines solchen Endlagers gelöst. Auf die US-Erfahrungen mit dem Endlagerstandort Yucca-Mountain darf man gespannt sein.

Es hat demgegenüber lange gedauert, bis allgemein begriffen worden ist, dass es auch ein Entsorgungsproblem bei der Verbrennung fossiler Energieträger gibt. Die heute als CO<sub>2</sub> emittierten 6 Gt Kohlenstoff jährlich bleiben zu beträchtlichen Teilen (etwa einem Drittel) in der Atmosphäre, erhöhen den bereits dort befindlichen Gehalt von 400 Gt also um 0,5% und tragen damit zu einem Treibhauseffekt globaler Erwärmung bei, den wir nicht länger hinnehmen wollen und können (Abb.3).

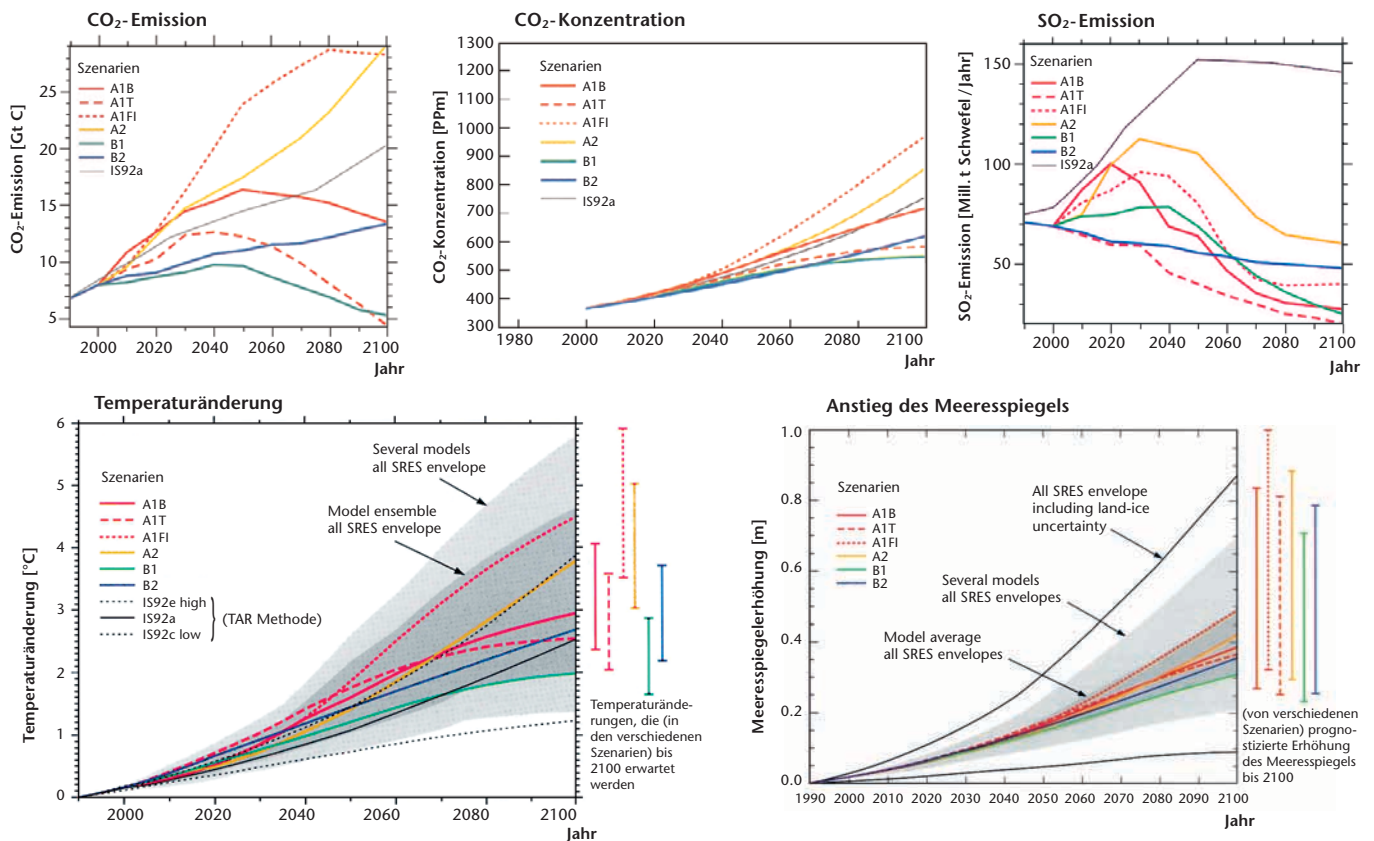


Abbildung 3  
CO<sub>2</sub> und seine Folgen  
– Klimaszenarien für  
das 21. Jahrhundert  
[1]

Von der Klimaforschung her gibt es also eine klare, ja eine dramatische Warnung und Mahnung, die Emissionen an Treibhausgasen, also auch Methan und einige andere Spezies, so rasch als vertretbar auf die Hälfte oder gar ein Viertel des heutigen Betrages zurückzufahren.

len, gesellschaftlichen Strukturen und nicht zuletzt Technologien, das nach aller menschlichen Erfahrung nicht zu leisten ist. Wir werden also mit einem Teil der Folgen unseres fossilen Energieverbrauchs ebenso leben müssen wie mit den Konsequenzen der Kernkraftnutzung. Das darf aber nicht zu Resignation führen, sondern zu einer intensiven Anstrengung, die Folgen wenigstens zu mindern.

Diese Anstrengung hat insbesondere der Forschungssektor zu leisten, finanziert von der Wirtschaft, wo immer Wettbewerbsvorteile als Motiv mobilisierbar sind, aber auch zu erheblichen Teilen vom Staat, wo die Marktkräfte nicht ausreichen, um das Notwendige zu tun. Und es reicht dabei nicht, die Forschung zu fördern, sondern es ist in dieser dramatischen Lage auch angemessen und erforderlich, die Ergebnisse solcher Forschung in Innovationen und Märkte zu überführen – wenn erfolgversprechend auch mit staatlichen Maßnahmen wie Marktanzreizprogrammen, Einspeisegesetzen etc.

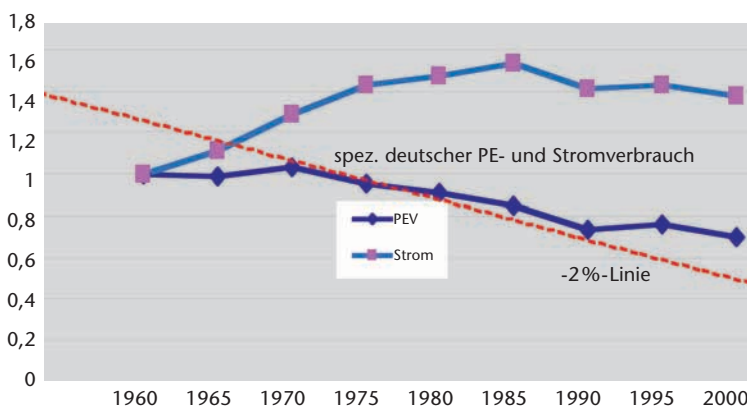


Abbildung 4  
Senkung des Primär-  
energie- (PE) und  
Stromverbrauchs in  
Deutschland

### 1.3 Innovation und Umsetzung rationellen Energieeinsatzes

Die so etablierte drastische Einschränkung unserer künftigen Energieversorgungsoptionen fordert als Antwort ein Änderungstempo von Lebenssti-

Hier muss kurz angesprochen und unterstrichen werden, dass rationeller Umgang mit Energie oft die preiswerteste und eleganteste Methode ist, Engpässen der Ver- und Entsorgung entgegen

zu wirken. Praktisch in allen Lebensbereichen, vom Privaten bis zur Produktion von Gütern und Dienstleistungen gibt es Einsparmöglichkeiten. Neue Technologien und Innovationen, mit denen der Energie- und auch der Strombedarf abgesenkt werden kann, werden entwickelt. Allerdings bringt die Informations- und Kommunikationstechnik auch neue Verbraucher in den Markt.

Es ist nach der Erfahrung der Energiekrisen in den 70er und 80er Jahren relativ viel, wenn der spezifische, also der auf das Brutto-Sozialprodukt bezogene Energieverbrauch in Ländern wie Deutschland jährlich um 2% und der Stromverbrauch um 1% sinkt (Abb.4).

In ärmeren und weniger entwickelten Ländern müssen wir sogar auf erhebliches Wirtschaftswachstum hoffen, sodass Energie- und Strombedarf steigen. Denn auch dort müssen Wohlstand und Lebensqualität Einzug halten; andernfalls dürften die krassen sozialen Unterschiede zwischen den verschiedenen Regionen Wohlstand und Frieden aller Menschen bedrohen.

Fazit dieser Überlegung ist dementsprechend, dass wir weiter große Kraftwerkskapazitäten brauchen werden, um unseren Stromverbrauch abzudecken. Ob dies eher zentrale Einheiten sein werden, die ins Hochspannungsnetz einspeisen, oder kleine dezentrale Stromquellen, die verbrauchsnahe mit dem Niederspannungsnetz verbunden sind oder gar lokal autonom, wird der Markt über die Preise und Kosten

regeln; einer speziellen Dezentralitätsideologie bedarf es dabei nicht.

## 2 Solarkraftwerke im Stromwettbewerb der Zukunft

Wenn also klar ist, dass die Menschheit in Zukunft noch mehr Strom und Kraftwerkskapazität braucht, sind solarthermische Kraftwerke technisch und vor allem ökonomisch gegen die künftig verfügbaren Alternativen abzuwägen.

### 2.1 Kohlenwasserstoffe mit CO<sub>2</sub>-Sequestrierung

Dabei ist das ökologische Urteil über die weitere Verwendung von Kohle und Kohlenwasserstoff noch nicht endgültig gesprochen. Wir müssen herausfinden, ob es nicht doch eine Möglichkeit gibt, das Verbrennungsprodukt CO<sub>2</sub> aufzufangen und für alle Zeit von der Atmosphäre fern zu halten (Abb.5):

**1. Abtrennung:** Gerade bei großen zentralen Kraftwerksblöcken sind bereits eine ganze Reihe von Verfahren studiert und teilweise erprobt worden ohne zu großen Wirkungsgradverlust. Dieser Schritt verteuert zwar die Stromproduktion, allerdings nicht um Beträge, die exorbitant wären. In USA sind Kosten von grob 200 \$/t errechnet worden, die man bis 2015 auf 10 \$/t drücken zu können glaubt.

Absorption	Adsorption	Membrantechnik	Kryogene Trennung	Biologische Verfahren
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Chemisch</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mono-ethanolamin (MEA)</li> <li>- Diethanolamine (DEA)</li> <li>- Methyl-diethanolamine (MDEA)</li> <li>- Diglycolamine (DGA)</li> </ul> </li> <li><b>Physikalisch</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rectisol</li> <li>- Purisol</li> <li>- Selexol</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Adsorber-Wirbelschichten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></li> <li>- Zeolite</li> <li>- Aktivkohle</li> </ul> </li> <li><b>Regenerative Methoden</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Druck-Schwingungsverfahren (PSA)</li> <li>- Temperatur-Schwingungsverfahren (TSA)</li> <li>- Wäscher</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Trennung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Polyphenylenoxid</li> <li>- Polydimethylsiloxan</li> </ul> </li> <li><b>Absorption</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Polypropelen</li> </ul> </li> <li><b>Keramische Systeme</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perovskite</li> </ul> </li> </ul>	?	?
Enquête-Kommission 2002: 40-100 €/t <sub>CO2</sub> oder 1,5 – 9 ct/kWh				

Abbildung 5  
Verschiedene Verfahren der CO<sub>2</sub>-Abtrennung

**2. Sequestrierung:** Der zweite Schritt, die endgültige Einlagerung – Sequestrierung genannt – gilt als noch ungelöst. Allerdings mehren sich die Stimmen, die keine Unlösbarkeit sehen, wie ein Pilotprojekt in Norwegen zeigt. Die Verpressung in ausgegaste Sedimente, teilweise mit dem Nebennutzen einer Stimulierung der Restgasförderung, gilt in manchen Betrachtungen als untersuchenswerte Option.

**3. CO<sub>2</sub>-Bindung in chemischen Verbindungen:** Untersucht werden auch Verfahren, das CO<sub>2</sub> als Karbonat zu binden; mein bisheriger Eindruck ist, dass dafür immense Mengen an Material bewegt und prozessiert werden müssen.

Der Sinn dieser Bemerkungen im Zusammenhang mit solarthermischen Kraftwerken und anderen erneuerbaren Energien ist, sich nicht zu sicher zu fühlen, dass zum Schluss jeder Preis marktfähig sein wird. Wenn die Sequestrierung bei Kohlekraftwerken eines Tages gelingen sollte, wird sie die anlegbaren Kosten jeder anderen Stromerzeugungsart bestimmen.

## 2.2 Kernkraft und Fusion

Auch die Kernkraft sollte nicht zu früh abgeschrieben werden. Unabhängig von den Entscheidungen in Deutschland wird es weitere Nutzung und weitere Entwicklung geben. Insbesondere soll hier die Aufmerksamkeit auf zwei Technologien gerichtet werden: die Entwicklung inhärent sicherer Reaktoren, die die Gefahr einer unkontrollierten Leistungsexkursion und eines Kernschmelzens ebenso ausschließen wie das Risiko einer Wasserstoffexplosion, Flugzeugabsturz oder Terrorangriff. Das Geheimnis solcher Reaktoren liegt u.a. in ihrer geringeren Baugröße bei geringerer Energiedichte im Core, ihrer Kühlung mit Gas statt Wasser und ihrer unterirdischen Baubarkeit. Natürlich sind solche Reaktoren dann teurer als die heute üblichen Leichtwasser-Reaktoren; dort, wo man diese Technologie nutzen will, kann sie allerdings den Marktpreis bestimmen, der dann von konkurrierenden Technologien erreicht werden muss.

Gegen die Entsorgungsprobleme hochradioaktiven Mülls sind ebenfalls Technologieentwicklungen im Gang, die wir wahrnehmen sollten. Es

ist richtig, die abgebrannten Brennelemente lange zwischenzulagern, bis die Spaltprodukte weitgehend zerfallen sind; eine schnelle Wiederaufarbeitung schafft nur Probleme, die uns die Zeit bei ausreichender Geduld ersparen wird. Das Stichwort ist hier Transmutation, d.h. ein Verfahren, bei dem die langlebigen Aktiniden aus dem nach langer Abklingzeit verbleibenden Abfall abgetrennt werden und in beschleunigertriebenen Spezialanlagen oder neuartigen Reaktoren in kurzlebige Nuklide transmutiert werden. Diese langfristig angelegte Entwicklung ist zwar keineswegs gesichert, aber sie könnte mit zu einer völlig neuen Beurteilung der Kernenergie beitragen.

Ebenso unreif, aber perspektivisch möglich, ist die Erzeugung großer Strommengen durch Fusionsreaktoren. Wie die eben erwähnte Transmutationsstrategie wird auch die Kernfusion in zwei bis drei Jahrzehnten beurteilungsfähig werden können; d.h. man wird voraussichtlich dann erst wissen, ob die Technologien technisch machbar und wirtschaftlich aussichtsreich genug sind, um energiewirtschaftlich mit ihnen rechnen zu können.

Der nächste größere Schritt ist, für 5 Mrd. € die Versuchsanlage ITER in globaler Kooperation zu errichten und im Betrieb zu zeigen, dass das Plasma wie geplant brennt und der Brennstoffkreislauf des erbrüteten Tritiums beherrscht wird. Die hierbei eingesetzten Werkstoffe werden aber noch deutlich geringeren Belastungen ausgesetzt sein als jene, die für einen Reaktor benötigt werden; deshalb liegen bei der Werkstoffentwicklung auch noch große offene Probleme, von deren Lösung Technik und Wirtschaftlichkeit der Fusion abhängen werden.

Aus heutiger Sicht kann man nicht ausschließen, dass Fusionsreaktoren funktionieren werden und Strom unter 10 ct/kWh liefern können, aber der Weg ist noch weit und aufwändig.

## 2.3 Regenerative Stromerzeugung

Kohle mit CO<sub>2</sub>-Sequestration, Kernenergie neuer Art und Kernfusion sind also mögliche Konkurrenten regenerativer Stromerzeugung im begonnenen Jahrhundert; allerdings wurde gezeigt, dass diese Technologien in den nächsten Jahrzehnten nicht bereit stehen, teilweise noch nicht einmal wirklich beurteilt werden können. Wir müssen also mit den Optionen handeln, die wir heute einsatzbereit haben. Und wir müssen alles Erdenkliche tun, um diese Technologien weiter zu entwickeln, damit ihre hohen Kosten gesenkt werden. Denn die Welt bleibt egoistisch; darüber können auch die positiven Elemente von Kyoto nicht hinweg täuschen, gerade weil sie so bescheiden sind.

Nur wenn neue Technologien aus eigener Kraft und Wirtschaftlichkeit Märkte erobern können, sind sie wirklich zukunftssicher. Frei nach Kasandra sollte man sich immer sagen: „Misstrauen den Regierungen, auch wenn sie Geschenke bringen“. Auch die Arbeitsplätze, die gerade in Deutschland rund um die erneuerbaren Energien entstanden sind, sind erst wirklich sicher, wenn sich die Produktion und der Absatz der Anlagen von Förderprogrammen weitgehend emanzipiert hat.

Wenn es also auf Wirtschaftlichkeit ankommt, dann haben solarthermische Kraftwerke im Sonnengürtel der Erde eine gute Perspektive neben Wasserkraft und Windparks in dafür geeigneten Regionen. Die für diese Technologie optimale Einheitsgröße in der Größenordnung von 100 MW stellt zwar einerseits ein Markteinführungsproblem dar, weil unmittelbar gegen mittlere Blöcke auf fossiler Brennstoffbasis konkurriert werden muss. Andererseits sind diese Technologien zumeist hybridisierbar (Ausnahme Aufwindkraftwerk mit seinem Niedertemperaturprozess), weil der solar erzeugte Dampf auf relativ einfache Weise mit fossil erzeugtem Dampf kombinierbar ist. Auf diese Weise lassen sich vergleichsweise risikoarme Markteinführungsstrategien entwickeln, bei denen zunächst geringe Anteile am Gesamtbrennstoffeinsatz durch Solarenergie substituiert werden. Die Möglichkeit über thermische Energiespeicher die Kapazität zu erhöhen und die Kraftwerke auch ohne

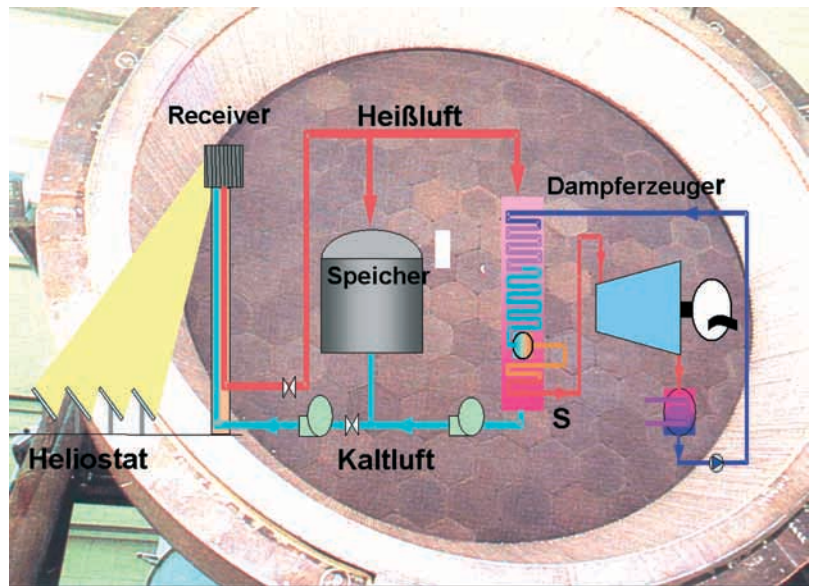


Abbildung 7 Schemabild der Luft-receivertechnik (PHOEBUS) vor Hintergrundfoto eines Receivers (PSA, Almería)

fossilen Brennstoff bedarfsorientiert zu fahren, ist eine Voraussetzung, um signifikante Anteile an der Gesamtstromversorgung eines Landes durch diese Technik zu gewährleisten. Wo konzentrierende Solarthermie anwendbar ist, gibt es zumeist keine Konkurrenz von Wasserkraft oder Biomasse; Windenergie wird wohl immer mit Priorität genutzt werden, wenn die Windverhältnisse entsprechend gut sind und die Netze ausreichende Stabilität bieten (Abb. 6).

Photovoltaik wird zwar den Strombezug aus dem Netz entlasten, wenn sie für den Anwender billig genug angeboten wird; ob das allerdings energiewirtschaftlich wesentlich sein wird, hängt von Erfolgen bei der Kostensenkung ab, deren technische Basis heute noch nicht in Sicht ist, bei Extrapolation der Lernkurven aber möglich erscheint.

### Regenerativer Strom aus Marokko

Kosten der kWh am Windpark	3 Cent
Kosten des Transports nach Deutschland (4400 km durch Spanien)	1,5 Cent
Kosten der kWh in Deutschland	4,5 Cent
<b>Kosten der kWh am Solarkraftwerk</b>	<b>6 Cent</b>
<b>Kosten des Transports nach Deutschland</b>	<b>2 Cent</b>
<b>Kosten der kWh in Deutschland</b>	<b>8 Cent</b>

Abbildung 6 Transportkosten für erneuerbaren Strom aus Marokko (Quelle: ISET)



Abbildung 8  
Jahresertrag eines  
SEGs<sup>1</sup>-Kraftwerks  
(Vergl. mit Abb. 9)

Für viele Gegenden der Welt sind solarthermische Kraftwerke daher zumindest heute die wirtschaftlich interessanteste Option, Strom in großen Mengen CO<sub>2</sub>-frei erzeugen zu können und das zu Kosten, die zur Zeit mit technologiepolitisch gerechtfertigter Anschubfinanzierung bewältigbar sein sollten. So schätzen es einige Länder des Sonnengürtels ein und insbesondere die Weltbank, die die notwendigen Zuschüsse für eine Reihe von Projekten auslobt hat. Von den EU-Staaten hat sich Spanien Anfang August entschieden, eine Prämie von 12 Cent für jede solarthermisch erzeugte kWh zu gewähren, die auf den mittleren Strompreis von etwa 3,9 ct/kWh aufgeschlagen wird.

Heute drängen drei unterschiedliche Technologien in diesen Initialmarkt der netzgekoppelten Stromerzeugung: die Parabolrinnensysteme, die amerikanische Salzturmtechnologie und die Turmkraftwerke mit Luftrezeivertechnik (z.B. PHOEBUS, Abb. 7).

Der erfolgreiche kommerzielle Einsatz der Parabolrinnen in den kalifornischen Kraftwerken und die mehr als hundert Kraftwerksjahre akkumulierte Betriebserfahrung schaffen bei den Investoren das Vertrauen, unter den geschilderten

Randbedingungen in großem Stil in diese Technologie zu investieren. Die geplante erste Anlage in Spanien hat ein Investitionsvolumen von etwa 200 Mio €. Bei 50 MW elektrischer Nennleistung hat sie mit fast 550.000 m<sup>2</sup> ein deutlich größeres Kollektorfeld als z.B. das 80 MW Kraftwerk SEGs VIII<sup>1</sup>. Die damit eingesammelte Wärmenergie der Sonne wird zum Teil in einem thermischen Energiespeicher mit 9 h Vollastkapazität abgelegt und sorgt dafür, dass das Kraftwerk nach Sonnenuntergang weiterläuft.

Dieses Konzept stellt das wirtschaftliche Optimum unter den spanischen Randbedingungen dar. Dieses Design und eine Reihe von technischen Verbesserungen am Kollektor und bei Betrieb und Wartung, erlaubt es dem Investor auch unter Einstrahlungsbedingungen in Spanien, die 20 % unter denen in Kalifornien liegen, zu sehr ähnlichen Stromgestehungskosten (etwa 15 ct/kWh) zu kommen, wie sie heute für die SEGs Kraftwerke in Kalifornien ermittelt werden (Abb. 8).

Doch der solarthermischen Industrie ist klar, dass sie die Kosten weiter senken müssen, um eine nachhaltige Marktdurchdringung zu erzielen. Im Rahmen einer internationalen Exekutiv-Konferenz am 19. und 20. 6. 2002, veranstaltet von KfW, UNEP und BMU, hat sie sich in einer Deklaration zur Kostensenkung von weiteren 20 % nach erfolgreicher Installation von 400 MW<sub>e</sub>-Solarkraftwerken sowie zur Erreichung der vollen Wettbewerbsfähigkeit nach 5000 MW<sub>e</sub> verpflichtet. [2]

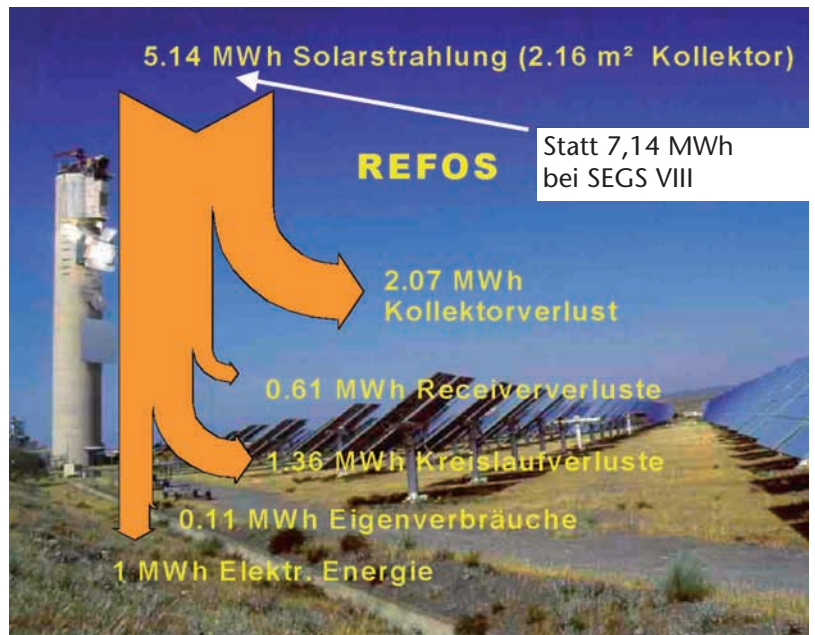
Für die Solarturm-Kraftwerke stellt die spanische Einspeisevergütung einen von mehreren Beiträgen dar, um eine kommerzielle Demonstration zu ermöglichen. Hier wird sich zeigen, ob die Erwartungen der involvierten Industrieunternehmen hinsichtlich der Wirkungsgrade, Zuverlässigkeiten, Verfügbarkeiten und Kosten sich erfüllen, sodass diese Technologie in Zukunft ernsthaft mit den Parabolrinnen in Konkurrenz treten könnten.

Dabei setzt die amerikanische Industrie auf das Konzept, Salz als Wärmeträgermedium und Speichermedium einzusetzen und somit eine kostengünstige Energiespeicheroption integriert zu haben. Erfahrungen im „Solar Two Projekt“, in dem dieses Konzept zwischen 1996 und 99 im 10 MW-Maßstab technisch demonstriert wurde, zeigen eine gewisse Anfälligkeit gegenüber technischen Störungen, geben aber auch Hinweise, wie die aufgetretenen Probleme zu lösen sind. Ein spanisch-amerikanisches Konsortium plant unter dem Namen „Solar Tres“ die technisch überarbeitete Nachfolge (mit 15 MW<sub>e</sub> Leistung, 16 h Energiespeicher und einem dreifach größeren Solarfeld als beim Vorgänger).

Ein europäisches Konsortium favorisiert aufgrund der geringen Störanfälligkeit das Konzept, Luft als Wärmeträger in einem atmosphärischen Kreislauf zu verwenden. Ein 3 MW-Systemtest auf der Plataforma Solar in Almería, hat bereits 1994 beeindruckend demonstriert, dass die Anlage auf Anhieb funktionierte. Inzwischen konnten durch weitere Forschung, die das DLR im europäischen Verbund durchführt, Wirkungsgrade von Komponenten gesteigert und Kosten für Receiver und Speicher gesenkt werden (Abb. 7 und 9).

Das 10 MW<sub>e</sub>-Solar-Kraftwerk mit dem Namen PS10 ist das kleinste der drei in Spanien geplanten Projekte mit einem Investitionsvolumen von weniger als 30 Mio. €. Die Begrenzung auf diese Größe hält das Investitionsrisiko gering, erhöht aber den Bedarf an zusätzlichen Zuschüssen. Auf der anderen Seite erhöht es aber auch die Realisierungsgeschwindigkeit des Projekts, denn bei PS10 ist bereits das Baugelände gesichert, die entsprechenden Genehmigungen erteilt, die Umweltverträglichkeitsstudie durchgeführt und die Kreditverträge weitgehend ausgehandelt. Das Konsortium geht heute davon aus, das man gegen Ende 2004 in die Inbetriebnahmephase gehen kann, während die anderen Projekte erst in 2006 damit rechnen können.

Der technische und ökonomische Erfolg dieser ersten kommerziellen Demonstrationen wird zeigen, ob die Solarturmkraftwerke die Kosten durch Komponenten- und Betriebsoptimierung



senken und ihr „thermodynamisches Potenzial“ mittelfristig ökonomisch ausspielen können. So wird daran gearbeitet, höhere Temperaturen über eine höhere Konzentration der Strahlung zu erzielen und damit die Solarenergie in hocheffiziente Gas- und Dampfturbinenkreisläufe einzukoppeln. Im Erfolgsfall könnte Solarstrom mit um 30% verringerter Spiegelfläche erzeugt werden – ein lohnendes Ziel für Investitionen und langfristig angelegte Forschung. Allerdings wird der Übergang in die industrielle Anwendung erheblich leichter werden, wenn bereits Turmkraftwerke der heutigen Generation ihren Markt finden, da wichtige Komponenten und Betriebserfahrungen übernommen werden können.

Die eingeleitete Entwicklung kann jetzt also zu einer Reihe von kommerziellen Projekten führen, die die Technik ausreifen und verbilligen werden. Die weitere Forschung wird neue Optionen zur Kostensenkung erschließen, wenn man sie ausreichend finanziert.

Ganz langfristig können solare Kraftwerke auch uns in Mitteleuropa versorgen – nicht weil sich der Sonnengürtel so weit nach Norden verschieben wird, sondern weil der Transport von Solarstrom aus Nordafrika technisch möglich und ökonomisch durchaus erschwinglich ist, wenn die konkurrierenden Kraftwerkstechnolo-

Abbildung 9  
Jahresertrag eines Solarturmkraftwerks mit Luftrezeptivertechnik (REFOS) (Vergl. mit Abb. 8)

gien durch CO<sub>2</sub>-Sequestration oder andere Effekte deutlich teurer sein werden als heute. Auch dies ist eine schlichte Frage des Kostenvergleichs.

### 3 Fazit

Ich denke, dass damit das Fragezeichen im Titel dieses Vortrags „Warum brauchen wir solare Kraftwerke?“ durch ein Ausrufezeichen ersetzt werden kann: Ja, eine nachhaltige Energieversorgung wird solare Kraftwerke brauchen! Und wir in Mitteleuropa sollten mit Forschung und Entwicklung sowie mit unserer industriellen Kompetenz helfen, diese großartige Technik in vollem Umfang marktreif zu machen. Wir brauchen alle Optionen, damit die Gesellschaft in jeder Phase entscheiden kann, was sie nutzen will, was ihr zu teuer oder was ihr zu gefährlich ist (*Abb. 10*). Windenergie ist auf einem beispiellosen Erfolgspfad. Photovoltaik dringt beachtlich in Märkte vor. Aber auch solarthermische Kraftwerke sind im Kommen; sie hatten es im letzten Jahrzehnt schwer. Vielleicht beginnt jetzt auch für sie eine vergleichbare Erfolgsgeschichte.

### Literatur

- [1] Climate Change 2001 – The scientific basis; Cambridge University Press 2001
- [2] Expanding the Market for Concentrating Solar Power – Moving Opportunities into Projects (Tagungsband der internationalen Konferenz vom 19./20. Juni 2002 in Berlin) BMU und KfW 2002

*Abbildung 10*  
Aus dem Bericht der  
Enquête-Kommission  
„Nachhaltige Energie-  
versorgung“ des Deut-  
schen Bundestages  
2002

Forderungen der Enquête-Kommission 2002		
3%/a	bessere Energie-Produktivität	bis 2022
-40%	nationale Treibhausgasemission	bis 2020
Faktor 4	Stromproduktion aus erneuerbaren Energien	bis 2020
Faktor 3,5	Nutzung von erneuerbaren Energien	bis 2020
Faktor 2	Strom aus KWK	bis 2020
3,5 bis 4	l/100 km Flottenverbrauch neuer PKW	bis 2020
30%	mehr Förderung für Energieforschung	