



## Erneuerbare Energien – die Basis einer nachhaltigen Energieversorgung

Joachim Luther

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg

Die heutigen globalen Energieversorgungssysteme sind nicht nachhaltig. Eine zügige, engagierte und strategisch langfristig angelegte Transformation dieser Systeme ist unerlässlich, um den wichtigsten Anforderungen an zukunftsfähige Energiesysteme genügen zu können:

- Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen der Menschheit,
- Beseitigung der Energiearmut in Entwicklungsländern und
- Verringerung von geopolitischen Konfliktpotenzialen.

Dies bedeutet insbesondere die Realisierung einer weltweiten Energieversorgung, die (i) schnell und drastisch die Emission klimaschädlicher Gase in die Atmosphäre verringert, die (ii) eine Versorgung von zwei Milliarden Menschen in Entwicklungsländern mit technisch hochwertiger Energie sicherstellen kann und die (iii) auf Energiequellen basiert, die weitgehend überall auf der Welt wo Menschen leben in hinreichendem Umfang lokal - d.h. ohne Import - zur Verfügung stehen.

Selbst bei einem sehr starken globalen ökonomischen Wachstum kann eine solche nachhaltige Energieversorgung auf der Basis erneuerbarer Energien realisiert werden. Die Energiequellen Solarstrahlung, Wind, Biomasse, Wasser, Geothermie, etc. können im Verbund mit einer hoch effizienten Nutzung von Energie und einem ökologisch vertretbaren Einsatz fossiler Quellen im Jahr 2050 die Hälfte des globalen Energiebedarfs decken. Zum Ende unseres Jahrhunderts könnte dieser Wert auf 80% steigen.

Die technische Machbarkeit einer solchen Energieversorgungsstrategie ist bereits heute unzweifelhaft nachgewiesen. Neben der traditionellen Wasserkraft versehen Energiekonverter für diverse erneuerbare Energiequellen mit beträchtlichen Gesamtkapazitäten weltweit zuverlässig ihren Dienst. Die Ende 2004 global installierten Nennleistungen betragen: Windenergiekonverter 48 000 MW, Photovoltaikmodule 3 500 MW, solarthermische Kraftwerke mit 350 MW und solarthermische Kollektoren 100 000 MW<sub>th</sub>.

Die technischen Herausforderungen im Bereich der erneuerbaren Energien liegen heute vor allem darin, (i) die Kosten der erzeugten Energie - teilweise drastisch - zu reduzieren, (ii) weitere Einsatzfelder zu etablieren und (iii) diese nachhaltigen Energieerzeugungswege optimal in Energieversorgungsstrukturen einzubinden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass zum einen der zugehörige technologische Evolutionsprozess vermutlich mehrere Jahrzehnte in Anspruch nehmen wird und dass zum anderen ohne eine zeitlich begrenzte finanzielle Unterstützung die Transformation unseres Energiesystems hin zur Nachhaltigkeit - gemessen an den aufziehenden Problemen - zu lange dauern wird.

Von allen erneuerbaren Energiequellen hat die Solarstrahlung bei weitem das größte Potenzial, das sich bei Anwendung strikter Nachhaltigkeitskriterien aktivieren lässt - es ist an menschlichen Maßstäben gemessen unbegrenzt. Aus diesem Grund soll im Folgenden auf zwei entsprechende Technologiepfade exemplarisch eingegangen werden. Diese Auswahl soll die Bedeutung anderer Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen nicht herabsetzen.

**Solares und energieoptimiertes Bauen:** In diesem Bereich hat es in der Vergangenheit eine Vielzahl von technologischen Innovationen gegeben, die erfolgreich in den Markt eingeführt werden konnten – solarthermische Kollektoren für die Brauchwassererwärmung und die Gebäudeheizung, Speichersysteme für Wärmeenergie, solaroptimierte Fenster, etc. Als nächster technologischer Schritt ist eine optimale Systemintegration all dieser Komponenten von Nöten. Aus einer entsprechenden Systemanalyse heraus müssen dann weitere Technologienentwicklungen im Bereich der Materialforschung und der Komponentenentwicklung hervorgehen.

Die Gebäude der Zukunft müssen im Energiebereich als eine Einheit von Energieerzeugung, Energienutzung und Energieaustausch mit den übergeordneten Energieversorgungssystemen gesehen werden. Wärmeversorgung, Kühlung, Beleuchtung und Stromerzeugung auf der Gebäudehülle müssen in ihrem Zusammenspiel gesehen und entsprechend optimiert werden. Technologisch wird dies eine Intensivierung von Forschung und Entwicklung zum Beispiel in den Bereichen solare Kühlung, Wärmetransformation, Wärmespeicher ohne Selbstentladung, effizienter Transport von Wärmeenergie, solar optimierte Lichttechnik, angepasste Haustechnik (HLK) und - im Sinne des Wortes - gebäudeintegrierte Photovoltaik bedeuten.

**Solarelektrische Stromerzeugung:** Zwei erprobte Technologiepfade stehen heute zur Verfügung. Die photovoltaische (PV) Energiekonversion über Solarzellen-Flachmodule und die solarthermischen Parabolrinnenkraftwerke. Diese beiden Technologien sind nicht in Konkurrenz zueinander zu sehen, sie ergänzen sich vielmehr bzgl. ihrer Modularität und ihrer Anwendungsfelder. PV Flachmodule können in Leistungseinheiten von 100 W bis einigen MW in praktisch allen von Menschen bewohnten Gebieten eingesetzt werden. Thermische Parabolrinnenkraftwerke sind wegen der verwendeten optischen Konzentratoren auf Regionen mit einem sehr hohen Anteil an direkter Sonnenstrahlung beschränkt. Ihre sinnvolle Einsatzgröße beginnt bei etwa 50 MW. Ab diesem Leistungsbereich können sie aber – insbesondere auch in ariden Gebieten – solaren Strom sehr kostengünstig bereitstellen.

Für den Leistungsbereich, der zwischen diesen beiden Technologiewegen liegt, werden derzeit PV-Kraftwerke mit hoher optischer Konzentration entwickelt. Bei einer optischen Konzentration von etwa 1000 können miniaturisierte PV-Elemente mit Wirkungsgraden, die bald 40% erreichen werden, eingesetzt werden. Zielmarkt dieser Technologie ist die kostengünstige Bereitstellung von Spitzenstrom im Sonnengürtel der Erde.

Photovoltaische Elektrizitätsbereitstellung ist in vielen netzfernen Anwendungen bereits heute die kostengünstigste Art der Stromversorgung. Bei Netzeinspeisung kann die PV-Stromerzeugung als junge Technologie allerdings noch nicht mit den fossilen Stromerzeugungspfaden konkurrieren. Ein drastisches Kostenreduktionspotenzial lässt sich aber sicher durch die Steigerung der Wirkungsgrade, die Reduktion des Materialeinsatzes und vor allem durch eine wirkliche Massenproduktion aktivieren. Die großmaßstäbliche Marktdurchdringung dieser Technologie mit ihren einzigartigen Möglichkeiten für eine nachhaltige globale Energieversorgung wird aber mehrere Dekaden in Anspruch nehmen. Dieser Weg zu einer nachhaltigen Stromerzeugung wird erfolgreich sein, insbesondere weil von den grundsätzlichen physikalischen Prinzipien her betrachtet, das Entwicklungspotenzial dieses Technologiepfades bei weitem noch nicht ausgeschöpft ist.

**Integrierte Energiesysteme:** Wie im Bereich des solaren- und energieoptimierten Bauens müssen die einzelnen solarelektrischen Energiekonversionstechnologien im Systemzusammenhang gesehen und optimiert werden. Verteilte Stromerzeugung ist hier das Schlüsselwort. Feinmaschige, großflächige bis interkontinentale Stromnetze sind ein optimales Mittel zum weitgehenden Ausgleich von Energiefluktuationen auf der Erzeugungs- wie auf der Verbraucherseite. Mittels Informations- und Regelungstechnologien sowie einer angepassten Leistungselektronik müssen und können diese Netze stabilisiert und im Betrieb optimiert werden. Die Komplexität zukünftiger Energieversorgungssysteme wird letztlich noch dadurch gesteigert, dass das Stromsystem mit den Heizungs-, Kühlungs- und Beleuchtungssystemen des gesamten Gebäudebereichs auf vielfältige Weise gekoppelt ist. Die Kraft-Wärme-Kopplung und der Einsatz von Wärmepumpen (jeweils in Verbindung mit thermischen Energiespeichern) sind hier Beispiele für Bindeglieder.

Fazit: Eine globale nachhaltige Energieversorgung, die entscheidend auf der Nutzung erneuerbarer Energiequellen basiert, ist bereits heute vom Technischen her realisierbar. Neben einer dezidierten und sicher machbaren Kostenreduktion wird es in Zukunft ganz wesentlich darauf ankommen, Technologieentwicklung auf der Grundlage einer Analyse der hoch komplexen, zukünftigen integrierten Energieversorgungsstrukturen voranzutreiben.