

Ein solares Energieversor- gungskonzept für Europa

von Harry Lehmann

Überblick

Es bestehen keine prinzipiellen technischen oder finanziellen Hemmnisse, das europäische System der Energieversorgung und -nutzung innerhalb der nächsten 60 Jahre auf eine nachhaltige Struktur umzustellen. Politik und Wirtschaft werden aufgefordert, die entsprechenden Maßnahmen bereits heute in die Wege zu leiten.

No principal technical or financial barriers exist to restructure the European system of energy supply and utilization to become sustainable within 60 years. Political bodies and the economic sector are urged to enact the necessary corresponding steps already today.

1. Einleitung

Eine zukunftsfähige Energieversorgung für Europa wird sich auf drei Säulen stützen müssen: erstens auf die erneuerbaren Energien, zweitens auf eine effiziente Nutzung der verfügbaren Ressourcen und drittens auf eine bewußte Entscheidung über Grenzen des Konsums, die Suffizienz. Sonne-Effizienz-Suffizienz sind die Eckpfeiler einer zukunftsfähigen Energiewirtschaft. In Anbetracht der Tatsache, daß die meisten für eine solche Entwicklung benötigten Technologien bereits entwickelt und erprobt sind, stellen sich zum jetzigen Zeitpunkt die folgenden Fragen:

- Wie können regenerative Energien in das europäische Energiesystem mit einem ausreichend hohen Verbreitungsgrad integriert werden und funktioniert solch ein System das ganze Jahr?
- Wie kommen wir dorthin?
- Wie hoch sind die Kosten und der Nutzen einer solchen Strategie?
- Welche weiteren ökonomischen, ökologischen und soziale Ziele können realisiert werden?
- Welches sind die wesentlichen Hindernisse und Hemmnisse für solch eine Entwicklung?

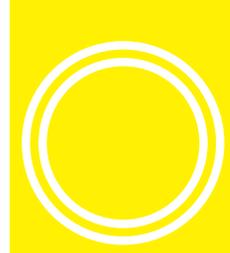
Diese Fragen wurden innerhalb verschiedener Projekte – insbesondere dem Projekt „Long-Term-Integration of Renewable Energies into the European Energy System and its Potential Economical and Environmental Impacts“ (LTI-Projekt) – in der Systemanalysegruppe des Wuppertal-Instituts in den letzten Jahren untersucht. Wir gingen

dabei von „Extrem“-Szenarien mit sehr unterschiedlichen aber ehrgeizigen, ökonomischen, sozialen und ökologischen Zielen aus, die in den nächsten Jahrzehnten erreicht werden sollen. Denn wenn ein europäisches Energiesystem auf der Basis erneuerbarer Energie unter diesen hohen Ansprüchen darstellbar ist, ist die Realisierungswahrscheinlichkeit eines solaren Europas mit weniger ehrgeizigen Zielen und realistischeren Annahmen über die künftige Entwicklung Europas um so höher. So kann auch festgestellt werden ob und unter welchen Bedingungen auch noch andere ökologische, ökonomische oder soziale Ziele zusätzlich zu den klimapolitischen Zielen umsetzbar sind [1].

2. Das Sustainable Szenario

Das „Sustainable Szenario“ basiert auf dem Vorsorgeprinzip, das heißt, die anthropogenen Einflüsse auf das Ökosystem werden so minimiert, daß komfortable Lebensstandards auf Dauer erhalten bleiben. Dies hat unter anderem zur Folge, daß eine 80%ige CO₂-Reduktion und der Ausstieg aus der Atomenergienutzung in Europa Grundlage des Szenarios werden können. Weitere Zielvorstellungen wurden bezüglich dem Lebensstandard der Europäer, der Art der Landnutzung und in Konsequenz der Landwirtschaft und dem Ernährungsplan der Bewohner, der Ressourcen-Nutzung, der technischen Entwicklung in den verschiedenen Sektoren, den anderen ökologischen Zielen (Biodiversität) und des Verkehrs formuliert:

Lebensstandard: Für die gesamte EU werden bis zum Jahre 2050 gleiche Lebensstandards sowie eine Verfügbarkeit von Geräten ähnlich der gegenwärtigen Situation in Dänemark, Deutschland oder den Niederlanden angenommen, d.h. der Wohlstand steigt beträchtlich in vielen Regionen der EU. Die Energieeffizienz von Geräten verbessert sich um ca. 60-85%. Im Gebäudesektor wächst die Wohnfläche pro Kopf auf 42 m², was dem gegenwärtigen Spitzenniveau in der EU entspricht. Die Haushaltsgrößen nehmen auf 2,24 Personen pro Haushalt ab, während die Anzahl der Haushalte in der gleichen Zeit von 140 auf 160 Mio. ansteigt. Der spezifische Raumwärmebedarf des



Gebäudebestandes wird durch Sanierungen von derzeit 150 kWh/(m²a) auf 40 kWh/(m²a) in Nordeuropa bzw. 30 kWh/(m²a) in Mitteleuropa reduziert.

Wohlstandsbegriff: Die Gesellschaft in diesem Szenario strebt veränderte Formen des Lebens in der Gemeinschaft an. Immaterielle Dinge, wie die Freude an einer intakten Natur oder die Bildung der eigenen Persönlichkeit, werden höher eingeschätzt als materielle, gegenständliche Güter wie z.B. das eigene Auto. Das Leasing und Mieten von Produkten anstelle Besitz von Gütern, das Recycling und effizienter Ressourcenumgang zur Bereitstellung materieller Güter anstelle Verbrauchswachstum, oder ökologischer Landbau anstatt Nahrungsmittel aus konventioneller Erzeugung fassen immer mehr Fuß und werden Leit motive vieler Menschen sein.

Dienstleistungen: Die Gesellschaft im Jahr 2050 hat einen niedrigeren Verkehrsaufwand und einen anderen Zugang zum Raum und zur Landnutzung. Der Dienstleistungssektor wächst bis zum Jahre 2050 um den Faktor 1,5 und kompensiert z.T. einige Arbeitsplätze, die in der Industrie verloren gehen. Dies findet hauptsächlich durch zusätzlich entstehende Serviceleistungen in den Bereichen des Recycling, der Reparatur und der Wiederherstellung statt. Der deshalb ansteigende Energiebedarf wird durch die gleichzeitig stattfindenden Effizienzsteigerungen in diesem Sektor begrenzt.

Verkehr: Die drastischsten Annahmen wurden im Verkehrsbereich gemacht. Der Verkehr nimmt bis zum Jahr 2050 um jährlich 6% ab (heute wächst er noch jährlich um 7%). Es wird angenommen, daß das Europäische Schnellverkehrsnetz genutzt wird und keine Passagierflüge auf Kurz- und Mittelstrecken mehr stattfinden. Die Luftfracht verringert sich automatisch auf Grund des abnehmenden Materialdurchsatzes der Industrie. Für den Personenverkehr werden gleiche Anteile für private und öffentliche Verkehrsmittel angenommen. Personen legen kürzere Strecken zurück, insbesondere nutzen sie in ihrer Freizeit mehr regionale Angebote. Ein längerer Urlaub ersetzt mehrere Kurzurlaube. PKW mit einem Benzinverbrauch von 2l/100km

oder LKW, die 34% weniger Diesel verbrauchen, bewirken einen Rückgang des Energiebedarfs im Verkehrsbereich um den Faktor 10.

Flächen-/Bodennutzung und Landwirtschaft: Landfläche ist in der dicht besiedelten Region Europa ein karges Gut. Sie wird gebraucht für Siedlungen, für den Verkehr, für die Landwirtschaft, für die Gewinnung erneuerbarer Energien und Rohstoffe, und letztlich für die Natur selber. Diese vielfache Inanspruchnahme der Landflächen Europas wurden in einer anderen Studie untersucht; ein Ergebnis dieser Untersuchung war die Formulierung von Rahmenbedingungen und Zielen für die zukunftsfähige Nutzung der Landflächen Europas [4]. Eine nachhaltige Nutzung der Landflächen Europas kann demnach nur erreicht werden, wenn die Erosionsraten gesenkt werden, wenn der Natur genügend Raum zur eigenen Entfaltung und Entwicklung gegeben und die Vergiftung, Verdichtung, Zerschneidung und Zersiedlung der Böden beendet wird. Um dieses auch nur annähernd zu realisieren muß sich die Ernährungsgepflogenheit ändern. Der bedeutendste Faktor ist der geringere Verzehr von Fleisch als Vorbedingung für eine veränderte Landnutzung, bei der 10% der gesamten Fläche als vollständig geschützte und vernetzte Regionen für die Natur abgetrennt sowie Dünger, Pestizide und Herbizide um den Faktor 5 reduziert werden können. Angenommen wird auch, daß in der EU flächendeckend „ökologische Landwirtschaft“ eingeführt wird um die Bodenerosion einzudämmen und um die Effizienz des Ernährungssystems Europas zu steigern (heute erreichen nur 50% der produzierten Kalorien den Konsumenten). Diese Zielvorstellungen schränken die Potentiale an Biomasse, insbesondere Reststoffe, jedoch beträchtlich ein.

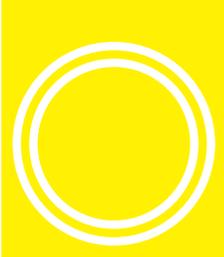
Raumplanung: Die Charta von Athen hatte zum Grundinhalt, menschenfreundliche Wohngegenden zu schaffen, weil man erkannte, daß Leben in direkter Umgebung industrieller Anlagen Gesundheitsrisiken birgt. Dies führte zur systematischen Trennung von Arbeits- und Wohnwelt, ja geht heute sogar so weit, daß eine räumliche Dreiteilung von Industrie, Gewerbe und Wohnen angestrebt wird.

Letztendlich führt dies zu einem erheblichen Transportvolumen von Gütern und Menschen sowie zu Zersiedelung und hoher Flächennutzung. Die Charta von Athen, so menschenfreundlich ihre Absicht war, wurde kontraproduktiv mit der zunehmenden Lärm- und Emissionsbelastung durch den Verkehr.

Die Vision des Sustainable Szenarios sieht hier eine deutliche Veränderung vor. Durch Reduzierung des Umsatzes von Naturressourcen in der Industrie nehmen die Umweltbelastungen in Industrienähe drastisch ab, unterstützt durch weitere Maßnahmen zur Minderung der Industrieemissionen. Hieraus entsteht eine Renaissance der gemeinsamen räumlichen Strukturen von Industrie, Gewerbe und Wohnen. Ein solches Umdenken, wie in der Charta von Florenz auf der Europäischen Solararchitektur Konferenz von 1993 erstmals formuliert, ist schon heute bei Raumplanern und Architekten zu beobachten.

„Flächenimport“: In diesem Szenario wird auch angenommen, daß die Länder der EU eine ausgeglichene Export-/Import-Bilanz an genutzten Flächen haben. Dies bedeutet, daß für alle importierten landwirtschaftlichen Güter im Ausgleich landwirtschaftliche Güter exportiert werden, die gleich viel Flächenbedarf für ihre Erzeugung darstellen. Das hat unter anderem zur Folge, daß kaum Tierfutter importiert wird; eine weitere Konsequenz ist, daß in diesem Szenario keine außer-europäischen Flächen zur Energieerzeugung genutzt werden können.

Material-Intensität: Die von Menschen bewegten Stoffströme stiegen seit Beginn der Industrialisierung exponentiell an. Das führte dazu, daß durch die industrielle Produktion verursachten Stoffströme auf den Kontinenten die durch die Geosphäre bewegten Massen bei weitem übertreffen. Zu den von Menschen verursachten Stoffströmen gehören insbesondere Abräume, Aushebungen, Bohrungen, gepflügte Erde, Erdreich für Dämme, Terrassen- und Straßenbau, geologische Roh- und Baumaterialien (einschließlich Energieträger, Sand, Kies, Mineralien, Erze), Luft und Wasser, land- und forstwirtschaftliche Produkte. Diese massiven und wachsenden Material-



verschiebungen verändern die durch die Evolution ausgebildeten Stoffstromgleichgewichte der Erde. Dadurch, daß der Mensch in die natürlichen Stoffflüsse an irgendeiner Stelle der Ökosphäre eingreift, zwingt er diese, sich auf die neue Situation einzustellen. Je großflächiger und materialintensiver diese Eingriffe sind, desto umfassender fällt die ökologische Reaktion aus. Nicht die Verfügbarkeit von natürlichen Ressourcen begrenzt die wirtschaftliche Entwicklung von morgen, sondern die ökologischen Folgen der gegenwärtig minimalen Ressourcenproduktivität. Oder anders gesagt: die ökologischen Folgen des sorglosen Umgangs mit Stoffen limitiert die langfristige Wirtschaftsentwicklung.

Erste Abschätzungen zeigen, daß der durch den Menschen verursachte Materialstrom, mindestens halbiert werden muß. Dadurch, daß in den industrialisierten Länder wesentlich mehr Materialien in der Wirtschaft umgesetzt werden als in den Entwicklungsländern, ist eine Reduktion der Stoffströme in den Industrieländern von 80-90% notwendig um diese Forderung einzuhalten. Daher ist es ein zunehmend allgemein anerkanntes Ziel, eine Reduktion der Materialströme um mindestens einen Faktor 10 für das nächste Jahrhundert zu erreichen [2].

Im Rahmen dieses Szenarios wurden einige grobe Zielvorstellungen dieser derzeit schon stattfindenden Steigerung der Ressourcenproduktivität abgebildet. Für die Industrie wird angenommen, daß der Einsatz neuer Materialien um den Faktor 4 reduziert wird. Dies kann durch Produktdesign erreicht werden, z.B. daß die Produkte eine längere Lebensdauer besitzen, oder durch eine Änderung des Verbraucherverhaltens. Letzteres beinhaltet z.B. das Teilen von Produkten die selten gebraucht werden. Zusammen mit einer Recyclingrate von 50% kann so der Materialeinsatz insgesamt um den Faktor 8 reduziert werden.

Für einige Industriebereiche wurden jedoch spezielle Annahmen getroffen: Wegen der andauernden Vergrößerung der Wohnfläche pro Kopf und der Notwendigkeit von Sanierungen im Gebäudebestand wurde ein kon-

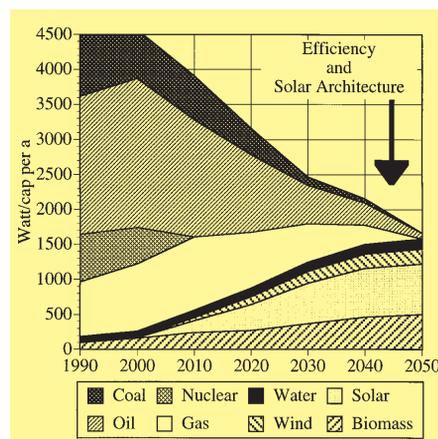
stanter Zementverbrauch und eine 20%ige Steigerung des Glasverbrauchs angenommen. Eine Teilstudie des Projektes, welche die Energiesparmöglichkeiten im Bereich der Industrie Sektor für Sektor untersuchte, ergab im Mittel Einsparpotentiale im Bereich der Brennstoffe von 20-50% und im Bereich der Elektrizität von 10-50%. In einigen Bereichen sind durch den Einsatz recycelter Materialien noch größere Einsparungen möglich.

3. Ein solares Energieversorgungssystem

Mit diesen Annahmen beträgt der Gesamtenergieverbrauch innerhalb der Europäischen Union im Jahre 2050 nur noch 38% des Verbrauchs des Jahres 1990 (Abbildung 1 [1]). Dabei sind die Endanteile der verschiedenen Technologien durch heuristische Bewertungen von möglichen Werten normativ gesetzt worden (siehe auch Abbildung 2). Die zeitlichen Verläufe wurden durch im Jahre 2000 beginnende logische S-Kurven bestimmt. Die Endanteile wurden so variiert, daß am Ende ein System mit stabiler zeitlicher und räumlicher Versorgung des europäischen Gebietes mit Strom und Wärme entstand. Die Markteinführung der verschiedenen Technologien wurde detailliert auf Ihre Realisierbarkeit hin untersucht und die S-Kurven, die diese Einführung widerspiegeln, angepaßt.

Voraussetzung für die Entwicklung dieses Energieszenarios war eine um-

Abbildung 1: Entwicklung des Energiebedarfs und der Energieversorgung mittels erneuerbarer Energietechniken im Sustainable Szenario im Jahre 2050, Watt-Jahre pro Kopf der Bevölkerung [1]



fassende Datengrundlage, sowohl über die Energiesituation in Europa als auch über die Preis- und Effizienzentwicklung konventioneller und regenerativer Energietechnologien.

Die im LTI-Projekt betrachteten erneuerbaren Energiequellen sind Biomasse, Wasserenergie, Solarthermie, Photovoltaik und Windenergie. Andere Quellen wie Geothermie, Wellen- und Gezeitenenergie wurden nicht einbezogen, da Verfügbarkeit und Kosten nur kleine EU-weite Potentiale ergaben. Dies bedeutet allerdings nicht, daß diese Technologien keine Beachtung finden sollen; sie sollen vielmehr bei geeigneten lokalen Potentialen genutzt werden.

Folgende Technologien wurden ausschließlich zur Stromproduktion herangezogen: Windturbinen, solarthermische Kraftwerke, Photovoltaik, existierende Großwasserkraftwerke und zusätzlich Kleinwasserkraftwerke. Wärme wird durch Solarkollektoren, feste und flüssige Biobrennstoffe, Wasserstoff, Wärmepumpen oder elektrischen Strom erzeugt und in Warmwasserstanks gespeichert. Die Solararchitektur wurde aus systematischen Gründen als „Effizienz“-Gewinn dargestellt. Umgebungswärme wird durch Wärmepumpen genutzt. Kombinierte Strom- und Wärmeproduktion erfolgt durch Kraftwärmekopplung und Brennstoffzellen. Biomasse wird zu verschiedenen gasförmigen Brennstoffen, wie Biogas oder Wasserstoff für reversible Brennstoffzellen, verarbeitet. Außerdem wird Biomasse in Form von Flüssigbrennstoffen im Verkehrssektor genutzt. In einigen Fällen, wo Effizienzmaßnahmen und erneuerbare Energien die Energienachfrage noch nicht ausreichend abdecken können, werden fossile Brennstoffe eingesetzt. Dies ist hauptsächlich im Verkehrssektor und für einige übriggebliebene Backup-Systeme der Fall. Solare Kraftwerke werden für die Elektrolyse zur Produktion von Wasserstoff eingesetzt; dieser wird entweder über Pipelines verteilt, direkt verbrannt oder in Brennstoffzellen zur Stromproduktion genutzt.

Die Technologien, das Potential und die Kosten werden detailliert im Gesamtbericht des Projektes beschrieben, einschließlich aller notwendigen Rand-

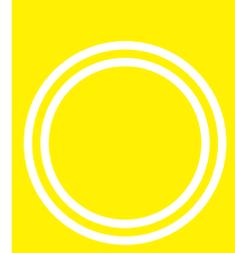


Tabelle 1: Erzeugungsbeitrag der verschiedenen Energieträger (in Watt Jahr pro Kopf der Bevölkerung) und der konventionellen Energieträger einschließlich Atomenergie [1]

	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Energiepflanzen	0	0	12	69	174	264	280
Abfall-Biomasse in der Industrie	0	64	70	94	129	160	186
Abfall-Biomasse in anderen Bereichen	0	96	160	108	63	37	34
Umgebungswärme	0	7	40	59	78	73	67
Wärme aus Solarthermie	10	0	68	165	260	318	326
Strom aus Solarthermie	0	0	35	86	138	171	177
Windkraft, auf dem Land	0	4	15	32	41	47	51
Windkraft, off-shore	0	0	32	78	126	156	161
Wasserkraft	81	85	97	115	125	132	137
Wasserspeicherung	0	4	5	7	8	8	9
Photovoltaik	0	0	23	60	103	138	153
Konventionelle Energien	4.304	4.306	3.349	2.286	1.222	652	82

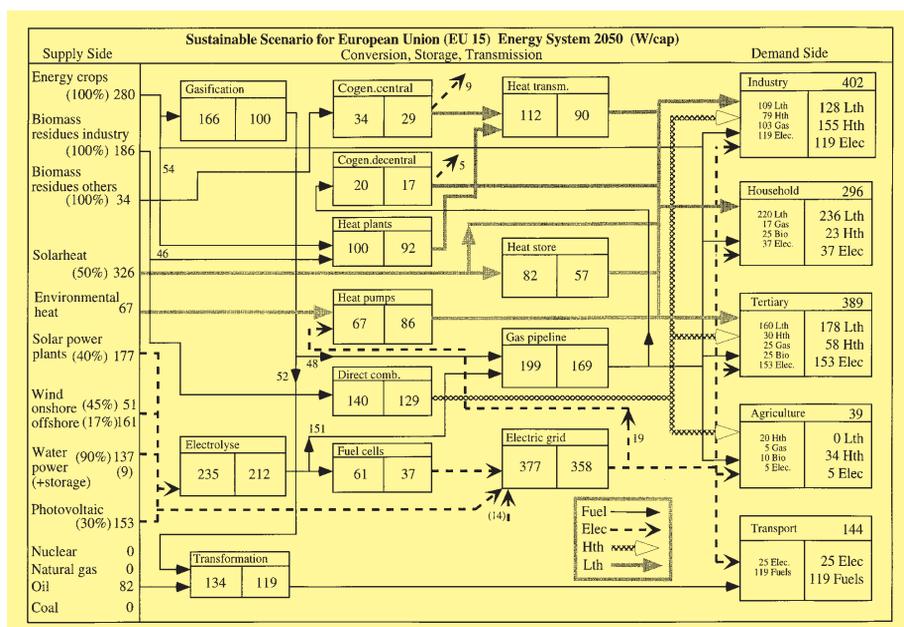


Abbildung 2: Schaltbild der Energieträger im Sustainable Szenario im Jahre 2050, Watt-Jahre pro Kopf der Bevölkerung [1]

bedingungen [1, 3]. Eine dezentral und regional orientierte Energieversorgung ist notwendig, um die Potentiale an Sonnenenergie abzuschöpfen. Dies bedeutet die Nutzung der vor Ort verfügbaren Ressourcen an erneuerbaren Energien, an den Küsten mehr die Windkraft, in ländlichen Gebieten mehr die Biomasse, in bebauten Gebieten Photovoltaik sowie die passive und aktive Wärmenutzung. Der Austausch der Überschüsse der Regionen mit Hilfe eines überregionalen Netzes ist ein weiteres Merkmal dieser Energieversorgungsstruktur. Dieses Netz kann ein Stromnetz oder aber auch ein Gasnetz sein, in das de-

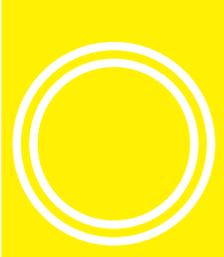
zentral eingespeist wird. Der Transport von hochwertiger Biomasse ist eine weitere Möglichkeit. Dieses überregionale Netz dient auch der Speicherung von Überschüssen. Das Speichermedium kann Biogas sein oder auch mit Strom erzeugter Wasserstoff. In zentralen Großkraftwerken wird die Energie erzeugt, die noch zur Bedarfsdeckung fehlt. Zentrale Kraftwerke können Wasserkraftanlagen, Biomassekraftwerke oder thermische Kraftwerke sein. Auch Kraftwerke, die in anderen Regionen erzeugte Brennstoffe wie zum Beispiel Wasserstoff oder Biogas benutzen, sind Teil des zentralen Teilsystems. Die unterschiedlichen

Technologien der erneuerbaren Energien müssen sich dabei mit ihren unterschiedlichen Stärken und Schwächen gegenseitig ergänzen.

4. Konsistenzüberprüfung

Nachdem nun eine solare Energieversorgung geschaffen worden ist, die unter vielen anderen Zielen auch den Zielen der Klimapolitik genügen kann, sind einige kritische Fragen an dieses Szenario zu stellen.

Funktioniert dieses System das ganze Jahr? Die Konsistenzüberprüfung durch ein Simulationsmodell auf Stundenbasis zeigte, daß das „Sustainable Szenario“ ein mögliches Problem bei der Bereitstellung von ausreichend Niedertemperaturwärme für Heizzwecke im Winter hat. Dieses Defizit könnte durch die Versorgung mit fossilen Brennstoffen gedeckt werden und würde dem Ziel einer 80%igen CO₂-Reduktion nicht entgegenstehen. Ein Simulationslauf offenbarte, daß nur zusätzliche 450 W/Kopf dieses Problem lösen würden, die in dem Szenarium auch mit nicht-fossilen Maßnahmen bereit gestellt werden können. Es könnten mehr Wasserstoff und mehr aus Biomasse gewonnene Brennstoffe produziert oder die Wohnungen besser isoliert werden; es könnte aber auch die Kapazität der Photovoltaik reduziert (es gibt im Sommer einen Überschuß an Strom) und die frei werdenden Dachflächen für solarthermische Nutzung eingesetzt werden, welche dann aber auch



mehr saisonale Wärmespeicherkapazitäten erfordern würde. Damit ist das erarbeitete Endscenario in der Lage, ganzjährig Energie (Strom, Wärme und Brennstoffe) in ausreichender Menge bereit zu stellen¹. Fluktuationen der Stromversorgung innerhalb einer Stunde lassen sich durch eine entsprechende Führung der zuschaltbaren Kraftwerke (z.B. Brennstoffzellen) ausgleichen.

Sind die Einführungskurven für effizientere Energietechnologien realistisch? Bei den Effizienzsteigerungen im Industriesektor, im Verkehrssektor und bei den Geräten der Haushalte wurde mit vorsichtigen Werten gerechnet. Als durchschnittliche Steigerung der Effizienz wurde 1,6% pro Jahr angenommen (ein Drittel höher als der langjährige Durchschnitt der letzten Jahre von 1,2%). Betrachtet man den Gebäudesektor so ändert sich das Bild. Um die klimapolitischen Ziele einzuhalten, mußten in diesem Sektor technologisch realisierbare aber dennoch starke Steigerungen in der Effizienz und der Nutzung solarer Gewinne angenommen werden. Diese müssen auch im Baubestand umgesetzt werden. Hier müßte die Sanierungsrate europaweit verdoppelt werden um die in diesem Szenario dargestellte Entwicklung auch nur annähernd abbilden zu können. Diese Zahlen zeigen erneut, wie wichtig der Gebäudesektor für die zukünftige Entwicklung ist.

Reichen die Potentiale? Selbst unter den für die Potentiale der erneuerbaren Energien restriktiven Annahmen des Sustainable-Szenarios sind genügend Potentiale der einzelnen Technologien vorhanden. Weicht man die anderen ökologischen Ziele (insbesondere die der Landnutzung und der ökologischen Landwirtschaft) etwas auf, so erhöhen sich die Potentiale (insbesondere der Biomasse) drastisch. Dieses schafft „Reserveraum“ um z.B. die Probleme bei der Steigerung der Effizienz in Gebäudesektor aufzufangen.

Sind die Markteinführungszyklen reali-

stisch? Vergleicht man die errechneten Markteinführungskurven mit historischen Beispielen (z.B. Automobil, Lufttransport, etc.), so gibt es in der Geschichte der Technologieentwicklungen Markteinführungen schneller als 50 Jahre. In dem Szenario wird nur eine 16fache Steigerung der Installationen der erneuerbaren Energien bis 2050 (Basis 1990) angenommen. Dies bedeutet aber nicht, daß die Markteinführung deshalb „von selbst“ kommt, in einigen Fällen (insbesondere Photovoltaik) sogar noch besonders starker Anstrengungen bedarf.

Gibt man die wenig realistische Annahme einer „Eigenversorgung“ Europas mit Energie auf, so können andere Quellen hinzugezogen werden, die eine solare Versorgung Europas sehr erleichtern würden. Ob dies solarthermische Kraftwerke in Nordafrika, Wasserenergie aus Kanada oder Biomasse aus Rußland bedeutet, ist offen und der zukünftigen Geschichte überlassen.

5. Kosten und Arbeitplatzeffekte einer solaren Versorgung Europas

Zusammen mit den Effizienzen und den Potentialen der erneuerbaren Energien wurden deren spezifische Kosten abgeschätzt. Die Schätzungen basieren auf Literaturstudien, Expertenbefragungen und Berechnungen. Die größte Kostenreduktion wird für die Photovoltaik durch Wirkungsgradverbesserungen und geringere Kosten durch Massenproduktion erwartet. Die Kostendegression für die Biomasse-nutzung ist schwieriger, da viele verschiedene Technologien involviert sind. Dennoch wurde ein repräsentativer Technologieeinsatz anhand zahlreicher Studien ermittelt.

Verwendet man die Kostenschätzungen von [Tabelle 2](#), so belaufen sich die jährlichen Betriebskosten der existierenden regenerativen Energieanlagen im Jahre 1990 in der Europäischen Union auf ca. 42 Mrd. ECU. Im Sustainable Szenario wird dieser Wert bis zum Jahr 2050 auf 253 Mrd. ECU/a ansteigen. Dies erscheint auf den ersten Blick recht hoch, es beträgt allerdings nur 4,8% des Bruttoinlandsproduktes (BIP) der EU von 1990. Er beträgt weniger als 700 ECU pro Einwohner und Jahr. Während die Kosten innerhalb der betrachteten 60 Jahre

um den Faktor 6 ansteigen, wird die installierte Leistung von 144 GW_p auf 2.300 GW_p um den Faktor 16 zunehmen. Tabelle 3 zeigt die prozentualen Anteile der verschiedenen Technologien im Jahre 2050, aufgeteilt nach bereitgestellter Energiemenge, installierter Leistung und jährlichen Kosten.

Letztendlich wird ein Referenzfall für das Jahr 2050 angenommen, bei dem der Energiebedarf des Sustainable Szenarios ausschließlich mit den fortschrittlichsten und billigsten fossilen Energietechniken gedeckt wird. Die entsprechenden Technologien sind gasgefeuerte Kombi-Kraftwerke, Brennwärtekessel, Heizkraftwerke und ölbeheizte Kessel. Die gesamten jährlichen Kosten eines solchen Systems belaufen sich auf 201 Mrd. ECU/a und ist somit 25% billiger als das im Sustainable Szenario entwickelte System aus erneuerbaren Energien. Die Kosten hierfür belaufen sich auf 253 Mrd. ECU/a zuzüglich 19 Mrd. ECU für die verbleibenden Kosten für fossile Brennstoffe im Verkehrssektor. Die Differenzkosten in Höhe von 71 Mrd. ECU/a können als Aufwendungen für die Verminderung der globalen Erwärmung und anderer externer Kosten angesehen werden. Berücksichtigt man, daß die Berechnung künftiger Kosten große Unsicherheiten in sich birgt und die Annahmen für die fossilen Kraftwerke bewußt optimistisch waren, so kann man feststellen, daß trotz der spezifischen Energiepreissteigerung bis zum Jahre 2050 um ca. 50%, die Gesamtkosten für die Energieversorgung nicht übermäßig ansteigen.

Eine wichtige Erkenntnis aus dem Sustainable Szenario ist, daß die Effizienzsteigerung und die Markteinführung erneuerbarer Energien parallel stattfinden muß. Nur dann kann die Verringerung des Verbrauchs an Energien die gleichzeitige Steigerung an Kosten durch die Markteinführung kompensieren, so daß negative Effekte für die Wirtschaft vermieden werden können. Eine parallele Einführung vermeidet auch das Entstehen von Investitionsbarrieren.

Für die Berechnung der Arbeitplatzeffekte, die durch die Umstrukturierungen des Energiesystems im Sustainable Szenario entstehen, wurde das

¹ Da das benutzte Simulationsprogramm nur ein sehr einfaches Wettermodell nutzte, wird derzeit ein Simulationsmodell erarbeitet, bei dem mit einer höheren räumlichen Auflösung gearbeitet werden kann.

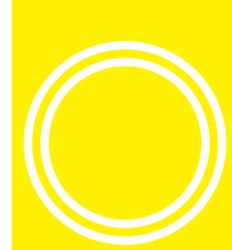


Tabelle 2: Kostenschätzungen einiger erneuerbarer Energieträger im Sustainable Szenario (mECU/kWh) [1]

	Kleine Wasserkraft	Windkraft, an Land	Windkraft, off-shore	Photovoltaik	Strom aus Solarthermie	Wärme aus Solarthermie	Biomasse	Wärmepumpen
1990	73	48	63	378	211	107	41	72
2000	73	43	57	268	152	86	39	66
2010	73	39	51	190	109	58	41	66
2030	73	32	41	96	56	39	62	76
2050	73	26	33	48	29	32	65	93

Tabelle 3: Anteile der verschiedenen erneuerbaren Energietechnologien im Sustainable Szenario im Jahr 2050 [1]

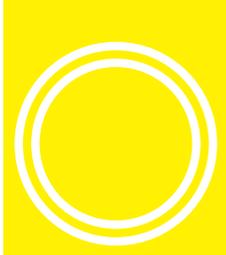
Technologie	bereitgestellte Energie	installierte Leistung	jährliche Kosten
Biomasse	31,8 %	12,0 %	41,4 %
Wärme aus Solarthermie	20,5 %	40,8 %	9,9 %
Windenergie	13,6 %	10,4 %	6,9 %
Strom aus Solarthermie	11,3 %	7,1 %	2,6 %
Photovoltaik	9,8 %	18,2 %	13,3 %
Wasserkraft	8,8 %	7,7 %	21,2 %
Umgebungswärme	4,3 %	3,8 %	4,6 %

statische Input-Output-Model EMI 2.0 verwendet. Leider waren nur Input-Output-Tabellen für West-Deutschland aus dem Jahr 1988 verfügbar, so daß nur diese für eine Annäherung für Gesamt Europa benutzt wurden. Diese Region stellt auf Grund des hohen Rationalisierungsgrades und der großen Arbeitsproduktivität hinsichtlich der angenommenen künftigen Konvergenz der Lebensstandards und der ökonomischen Strukturen in Europa einen geeigneten Referenzfall dar. Für jede der acht betrachteten erneuerbaren Energietechnologien wurden zwei Input-Vektoren aus dem Bedarf aus anderen Sektoren zusammen gesetzt. Der erste Vektor beschreibt die Kosten für die Konstruktion für das Jahr in dem die Investition getätigt wird. Der zweite Vektor beinhaltet die Betriebs- und Wartungskosten und auch die Kosten für Brennstoffe aus Biomasse über die gesamte Lebensdauer der Anlagen. Für die Errichtung und den Betrieb der erneuerbaren Energien sind im Jahre 2050 Beschäftigungszahlen von 4 Millionen Personen pro Jahr notwendig. Diese Arbeitsplätze sind hauptsächlich im Bereich der Biomasse zu suchen. Von den 1,6 Millionen Personenjahren die jährlich für den Betrieb von Biomasseanlagen nötig sind, werden zwei Drittel durch Arbeitsplätze in der Land- und Forstwirtschaft abgedeckt.

Zum Vergleich wurden die Arbeitplatzeffekte für den Referenzfall berechnet. Dort werden für die Errichtung und den Betrieb des Energiesystems (wiederum ohne den auf fossilen Energien basierenden Verkehrssektor) im Jahre 2050 1,7 Millionen Personen pro Jahr benötigt. Um die beiden Fälle vergleichen zu können, wurde angenommen, daß die Differenzkosten in Höhe von 71 Mrd. ECU/a im Referenzfall komplett in den privaten Verbrauch fließen. Dies hätte zur Folge, daß die Beschäftigungszahlen auf Grund des höheren privaten Verbrauchs um 1,5 Millionen Personenjahre ansteigen wenn man die durchschnittliche deutsche Sparrate von 14% und die deutsche ökonomische Struktur von Deutschland im Jahre 1988 zu Grunde legt. Wenn alle zusätzlichen Kosten für den Konsum ausgegeben werden, was angesichts des langen Betrachtungszeitraumes wahrscheinlich ist, steigt die Anzahl der Beschäftigten an. Betrachtet man nur ein nationales Wirtschaftssystem, so muß man den Betrag für importierte Güter abziehen. Da aber davon ausgegangen wurde, daß der überwiegende Teil der Handelsaktivitäten der EU-Mitgliedsstaaten auch innerhalb der EU erfolgt, wurde dieser Effekt vernachlässigt. Insgesamt ergeben sich für den Referenzfall Beschäftigungseffekte in Höhe von 3,2 bis 3,4 Millionen Personen pro Jahr.

Für das auf erneuerbaren Energien basierende Sustainable Szenarios ergeben sich gegenüber dem Referenzfall Beschäftigungsmehreffekte in Höhe von 340.000 bis 580.000 zusätzlichen Personenjahren. Ein Grund für die relativ kleine Differenz ist die Tatsache, daß im Jahre 1988 die Arbeitsintensität im Konsumgüterbereich wesentlich höher als im Energiebereich war. Außerdem sind die Annahmen für den fossilen Referenzfall als sehr optimistisch anzusehen.

Somit können die hier berechneten Nettowerte als konservative Abschätzungen betrachtet werden. Dies erlaubt, trotz der vielen groben Annahmen in diesen Berechnungen, optimistisch zu sein, daß ein auf erneuerbaren Energien beruhendes Wirtschaftssystem mehr Beschäftigung mit einschließt als ein auf konventionellen Energien basierendes System. Dies Ergebnis wird für Europa verstärkt durch die Tatsache, daß mehr Arbeitsplätze zur Produktion von Investitionsgütern innerhalb der EU geschaffen werden, auf Kosten von Arbeitsplätzen außerhalb Europas im Bereich fossiler Energieträger. Rechnet man noch die für die solare Sanierung der Gebäude benötigten Arbeitskräfte dazu, so sind bei einer Umstellung auf eine solare Versorgung leicht positive Arbeitsplatzeffekte in Millionenhöhe zu erwarten.



6. Hindernisse und Maßnahmen

Die Berechnungen der Szenarien im LTI-Projekt zeigten, daß erneuerbare Energien das Potential besitzen, eine solare Energieversorgung Europas zu realisieren. Obwohl hierfür schon viele ausgereifte Technologien zur Verfügung stehen, ist ihr derzeitiger Erfolg auf dem Energiemarkt begrenzt, da zahlreiche Hindernisse und Engpässe entgegen stehen.

Die Instrumente zur Förderung der regenerativen Energien sind abhängig vom Zielwert und den Etappen, in denen die erneuerbaren Energien eingeführt werden sollen. Da die verschiedenen erneuerbaren Energietechnologien nur in unterschiedlichem Maße in den Markt eingeführt werden können, müssen sich die Maßnahmen nach den zu fördernden Technologien unterscheiden. Geeignete politische Rahmenbedingungen zu schaffen, um effiziente Energienutzung und erneuerbare Energietechnologien schnell im Markt einzuführen, erfordert ein Bündel an Maßnahmen. Diese Maßnahmen sind bestimmt durch die Hemmnisse, die der Durchsetzung am Markt entgegenstehen. Ein banales Hemmnis ist die Tatsache, daß der Energiemarkt schon besetzt ist und die heute den Markt Beherrschenden zum Teil kein Interesse zeigen, selber erneuerbare Energietechnologien einzuführen. In manchen Fällen – man erinnere sich an die Diskussionen zur Stromspeisungsverordnung – wehren sich die Marktbeherrschenden mit allen Mitteln.

Die Anstrengungen zur Markteinführung sollten breit angelegt sein und mindestens auf folgende Handlungsfelder konzentriert werden:

- Finanzielle Maßnahmen zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit für erneuerbare Energien am Markt;
- Maßnahmen zur Exportförderung der Technologien;
- Entflechtung des Energiemarktes, Anpassung der Energieversorgungsstruktur;
- Verbesserung der rechtlichen und administrativen Rahmenbedingungen für den Einsatz erneuerbarer Energien;
- Maßnahmen zur verbesserten Information, Beratung, Aus-, Fort- und Weiterbildung;

- Verstärkte Förderung des Einsatzes erneuerbarer Energien in den Entwicklungsländern;
- Marktorientierte Forschung, Entwicklung und Demonstration von Anlagen und Materialien zur Nutzung erneuerbarer Energien;
- Eigeninitiativen von Industrie, öffentlicher Hand und Kommunen.

7. Schlußfolgerungen

Es wurde gezeigt, daß das europäische Energiesystem innerhalb der nächsten 60 Jahre verändert werden kann, hin zu einem nachhaltigen Einsatz von Energie. Energieeffizienzmaßnahmen und umfangreiche Nutzung erneuerbarer Energien können die Atomenergienutzung beenden und den Einsatz fossiler Brennstoffe zur gleichen Zeit dramatisch reduzieren. Mittel- und langfristig wird das umstrukturierte Energiesystem nicht teurer als das gegenwärtige sein, und wird mehr Arbeitsplätze schaffen als ein konventionelles System. In der Anfangszeit werden zusätzliche Investitionen nötig, um diese Entwicklung anzustoßen. Einem Sustainable Szenario (>90% Versorgung mit erneuerbaren Energien in 2050) stehen keine prinzipiellen technischen oder finanziellen Hindernisse entgegen. Die fehlende Deckung (bis 100%) ist prinzipiell auch mit erneuerbaren Energietechnologien durchführbar.

Ökonomische, rechtliche und institutionelle Rahmenbedingungen des Energiesystems müssen jedoch grundlegend und bald verändert werden. In der Praxis wird man sich auf eine Mischung von Instrumentarien stützen müssen. Der Gebäudebereich ist eine Schlüsselbereich, der bald angegangen werden muß. Jedes heute neu zu bauende oder zu renovierende Haus ohne ausreichende Verbesserung seiner Energieeffizienz und der Nutzung solarer Gewinne wird für die nächsten Jahrzehnte zu einem zusätzlichen Hemmnis beitragen.

Forschung und Entwicklung haben erneuerbare und rationelle Energietechnologien für eine dauerhafte Energieversorgung geschaffen. Politik und Wirtschaft müssen nun die Maßnahmen ergreifen, um eine „Sonnenstrategie“ zu realisieren. Die oben aufgezählten Maßnahmen skizzieren die

Maßnahmen, die denkbar und sinnvoll wären. Wichtigste Maßnahme ist, sofort anzufangen, denn jeder Tag, der vergeht, ohne daß eine „Sonnenstrategie“ verwirklicht wird, macht das Problem nur größer und schwieriger – weil der Energieverbrauch weiter gestiegen ist, weil Gelder weiter in ein „fossiles“ System investiert wurden, und weil später damit begonnen wird, das Klimaproblem zu lösen.

Literatur

- [1] H. Lehmann, et. al. (A. Andrew, P. Audinet, J. Bougard, W. Bräuer, H. Connor-Lajambe, B. Drees, H.-M. Groscurth, Ch. de Gouvello, O. Hohmeyer, S. Krüger-Nielsen, I. Kühn, B. Kuemmel, H. Lehmann, P. Matarasso, M. Poppe, T. Reetz, K.O. Schallaböck, B. Sörensen, S. Weinreich)
„Long-Term Integration of Renewables Energy Sources into the European Energy System“, The LTI Research Team, Physica Verlag (1998)
- [2a] F. Schmidt-Bleek, F.
„Wieviel Umwelt braucht der Mensch – MIPS das Maß für ökologisches Wirtschaften“, Birkhäuser Verlag, Basel (1994)
- [2b] F. Schmidt-Bleek
„Das MIPS Konzept“, Droemer Verlag, München (1998)
- [2c] „Carnoules Deklaration“, Factor 10 Club (1995)
- [2d] H. Lehmann, F. Schmidt-Bleek
„Material flow from a systematical point of view“, Fresenius Environmental Bulletin (1993)
- [3a] H. Lehmann, T. Reetz
„Zukunftsenergien – Strategien einer neuen Energiepolitik“, Birkhäuser Verlag, Basel und Berlin 1995
- [3b] I. Pontenagel (Hrsg.)
„Das Potential der Sonnenenergie in der EU“, Springer Verlag, Berlin und New York (1995)
- [4a] H. Lehmann, T. Reetz
„Sustainable land use in the European Union – Actual status and a possible scenario for 2010“, Wuppertal Paper, November 1994
- [4b] H. Lehmann, R. Pareyke, A. Pfluger, T. Reetz
„Sustainable land use in the European Union – Available area for biomass production in a sustainable land use scenario“, 9th European Bioenergy Conference, Kopenhagen (1996)