

Thesenpapier zur Einführung erneuerbarer Energien

Harry Lehmann, Jörg Schindler

Papier erstellt für die Enquête Kommission des Bayerischen Landtages
„Neue Energie für das neue Jahrtausend“

unter Mitarbeit von:

Peter Niebauer / Evi Pschorr-Schoberer / Gordon Spangert / Alexander Loerbrocks

Wuppertal / Ottobrunn

März 2000



LBST
Ludwig bölkow
systemtechnik

Wissenschaftszentrum
Nordrhein-Westfalen
Institut Arbeit
und Technik



Kulturwissenschaftliches
Institut

Wuppertal Institut für
Klima, Umwelt, Energie
GmbH

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
Einführung – Zukunftsfähige Energiewirtschaft	8
Die erneuerbaren Energietechnologien	10
Status der Nutzung erneuerbarer Energietechnologien	12
Potential / Szenarien	14
Kosten und Wirtschaftlichkeit	18
Arbeitsplätze durch erneuerbare Energietechnologien	22
Maßnahmen	24
Anlage I – Die erneuerbaren Energietechnologien	30
Biomasse	31
Potentiale	31
Technische Situation	33
Kosten der Biomassenutzung	34
Mögliche technologische Entwicklungen	35
Mögliche zukünftige Kostenentwicklung	36
Solarthermie	37
Kosten der dezentralen Wärmenutzung	39
Kostenreduktion	41

Solare Architektur	42
Wasserkraft	45
Potential in Bayern	45
Kosten der Wasserenergie	47
Literatur	49
Windenergie	50
Windenergieentwicklung weltweit und in Europa	52
Status	52
Windressourcen und zukünftiger Bedarf an Elektrizität	54
Windenergieentwicklung in Deutschland	55
Windenergieressourcen in Deutschland	56
Windenergieressourcen in Bayern	58
Wirtschaftlichkeit von Windkraftwerken in Bayern	61
Stand der Windenergienutzung in Bayern	63
Photovoltaik	68
Technisches Erzeugungspotential in Bayern	68
Technisches Erzeugungspotential in Deutschland und Europa	70
Marktentwicklung und Kosten	71
Energierücklaufzeit und Umweltverträglichkeit	74
Ressourcenverfügbarkeit	74
Literatur	74
Wärmepumpen	75
Prinzip der Wärmepumpe	75
Leistungs- versus Arbeitszahl	75
Strommix	76
Sinnvolle Optimierung des Kraftwerksparkes im Mittellastbereich zugunsten der Wärmepumpentechnik	77
Direkter Vergleich mit Gas-Brennwert- und Öl-Niedertemperaturheizung	77

Kostenbetrachtung im Vergleich mit Gas-Brennwert- und Öl-Niedertemperatur-Heizung	78
Handlungsbedarf	78
Förderung	79
Weitere konkurrierende Technologien	80
Literatur	80
Geothermie	81
Überblick	81
Geothermie in Bayern	81
Literatur	83
Netzverträglichkeit der regenerativen Energien und Speicherproblematik	84
Literatur	85
Anlage II - Das Weißbuch der EU.....	86
Weißbuch der EU	87
Hintergrund	87
Das Weißbuch der EU	88
Vorrangig eingestufte Maßnahmen	90
Zentrale Aktionen	91
Umsetzung und Überwachung des Aktionsplans	92

Zusammenfassung

Die regenerativen Energiequellen bieten ein – gemessen an menschlichen Zeitmaßstäben – unerschöpfliches Energiepotential, das den derzeitigen Energieverbrauch um viele Größenordnungen übersteigt. Grundsätzlich lassen sich mit ihnen alle heute benötigten Sekundärenergieträger in Form von Wärme, Strom, Brennstoffen und Kraftstoffen bereitstellen.

Ein zukunftsfähiges und nachhaltiges Energiesystem erhält gleiche Lebenschancen für künftige Generationen und belastet sie weder direkt noch indirekt mit Risiken. Das existierende Energiesystem ist aus verschiedenen Gründen nicht „nachhaltig“. Aus ökonomischer Sicht nicht, weil es im wesentlichen von endlichen Ressourcen, den fossilen Brennstoffen, abhängig ist. Aus sozialer und politischer Sicht ist die geografisch ungleiche Verteilung dieser endlichen Ressourcen bedenklich. Letztlich ist aus ökologischer Sicht die Veränderung des Klimas durch die Emissionen von Treibhausgasen durch die heutige Form der Energiebereitstellung eine Bedrohung menschlichen Lebens auf der Erde.

Analysiert man die Zeitachsen der Bedrohungen und vergleicht sie mit der benötigten Zeit, die erforderlich ist, um das vorhandene Energiesystem zu einem „nachhaltigeren“ Energiesystem umzubauen, so muß heute mit der Strukturreform begonnen werden.

Der heute am stärksten diskutierte Vorteil der Nutzung erneuerbarer Energien ist jedoch die Tatsache ihrer Umweltverträglichkeit im Betrieb: Von wenigen Einzeltechniken abgesehen emittieren regenerative Energiesysteme keine gefährlichen Stoffe, kein CO₂ und bieten keinerlei Potential für kriegerische Gefahren oder Mißbräuche.

Eine „zukunftsfähige“ und „nachhaltige“ Energieversorgung wird sich nach heutigen Erkenntnissen 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. Daß solche zukunftsfähigen Energiesysteme grundsätzlich möglich sind, das ganze Jahr über funktionieren und auch finanzierbar sind, ist mehrfach aufgezeigt worden. Ein Energiesystem, wesentlich basierend auf erneuerbaren Energiequellen, braucht alle Technologien zur Nutzung dieser Ressourcen, um ganzjährig funktionieren zu können.

Das technische Potential in Deutschland liegt – zusammengenommen – etwa in der Größenordnung der Hälfte des derzeitigen Endenergieverbrauchs Deutschlands.

Bayern hat sowohl die natürlichen Voraussetzungen als auch die wirtschaftlichen, kulturellen und politischen Voraussetzungen, um den Anteil erneuerbarer Energien in den nächsten Jahrzehnten um eine Größenordnung auszuweiten. Für das Land Bayern kommen insbesondere die Nutzungsmöglichkeiten Biomasse, Solare Architektur, Solare Kollektoren, Photovoltaik, Wind, Wasserkraftwerke, Geothermie und Wärmepumpen in Frage.

Wasserkraft (neues Potential)	621 GWh/a	Zum Vergleich:
Windkraft	45 TWh/a	Stromproduktion 1997 in Bayern 76 TWh
Photovoltaik (Dach- und Fassadenflächen)	24 TWh/a	
Biomasse (ohne Energiepflanzen)	70-115 PJ/a (20-32 TWh/a*)	
Biomasse - Energiepflanzen	12-214 PJ/a (3-60 TWh/a*)	
Geothermie (hydrothermales Potential, Mittelwert)	571 PJ/a (159 TWh/a*)	

*nur physikalische Umrechnung der Einheiten

Tabelle 1: Zusammenfassende Darstellung der technischen Erzeugungspotentiale von regenerativen Energiequellen in Bayern

Es sei betont, daß die Herbeiführung der wirtschaftlichen Durchsetzungsfähigkeit erneuerbarer Energien Mittel zum Zweck einer Strukturreform ist und nicht Bedingung ihrer Einführung. Daher muß eine Förderung der erneuerbaren Energietechnologien die Dynamik der technischen und wirtschaftlichen Entwicklung beschleunigen; d.h.: Markteinführung unterstützen, Märkte vergrößern und Marktdruck zur kontinuierlichen Senkung der Kosten schaffen.

Der Marktanteil der regenerativen Energietechniken zeigt einen kontinuierlichen Aufwärtstrend. Für Europa ist im Weißbuch der EU das Ziel gesteckt worden, den Anteil der erneuerbaren Energien in der EU auf 12% des Bruttoinlandsenergieverbrauchs der EU bis zum Jahre 2010 zu steigern.

Da die verschiedenen erneuerbaren Energietechnologien auch in unterschiedlichem Maße schon in den Markt eingeführt wurden, müssen sich die Maßnahmen auch nach den zu fördernden Technologien unterscheiden. Wieviel und wann es am günstigsten ist, eine Technologie zu fördern, hängt von mehreren Faktoren ab. Einesteils von der Notwendigkeit, diese Technologien in einem nachhaltigeren Energiesystem zu nutzen und ihrem möglichen künftigen Beitrag (ihrem technischen Erzeugungspotential), andererseits von der möglichen dynamischen Entwicklung dieser Technologien in Bezug auf technische und ökonomische Effizienz.

In Energiesystemen mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energietechnologien werden die in der Tabelle 1 genannten regenerativen Energiequellen alle gebraucht, dies bedeutet im Um-

kehrschluß auch die Notwendigkeit einer breiten Technologieförderung. Das heißt, daß schon heute auch jene Technologien gefördert werden müssen, die noch sehr teuer sind aber großes Entwicklungspotential haben wie z.B. die Photovoltaik. Geeignete politische Rahmenbedingungen zu schaffen, um effiziente Energienutzung und erneuerbare Energietechnologien schnell in den Markt einzuführen, erfordert die Umsetzung eines Bündels an Maßnahmen.

Die Anstrengungen zur Markteinführung der erneuerbaren Energietechniken sollen breit angelegt sein und auf folgende Handlungsfelder konzentriert werden:

- Finanzielle Maßnahmen zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit und der Markteinführung für erneuerbare Energien
- Verbesserung der rechtlichen und administrativen Rahmenbedingungen für den Einsatz erneuerbarer Energien
- Maßnahmen zur verbesserten Information, Beratung, Aus-, Fort- und Weiterbildung
- Eigeninitiativen von Industrie, öffentlicher Hand und Kommunen
- Maßnahmen zur Exportförderung
- Marktorientierte Forschung, Entwicklung und Demonstration von Anlagen und Materialien zur Nutzung erneuerbarer Energien

Einführung – Zukunftsfähige Energiewirtschaft

Gleiches Recht auf die Erfüllung der Grundbedürfnisse und Lebensansprüche innerhalb einer Generation, innerhalb der Kontinente und über die Generationen und Zeiten hinweg ist Bestandteil der Idee der zukunftsfähigen Entwicklung. Grundlage eines solchen gleichberechtigten Strebens nach Lebensglück ist die Erhaltung einer Umwelt, in der der Mensch natürlich leben kann.

Die Wissenschaft kann nur wenige und in den meisten Fällen sogar keine Aussagen darüber machen, wie sich Eingriffe des Menschen auswirken werden; weder darüber, wie stark die Ökosphäre reagieren wird, noch über den Zeitpunkt oder den Ort. Die Menschheit muß zur Zeit – und vielleicht für alle Zeiten – im Bewußtsein großer Unkenntnis über ihr "Überlebens"-System Erde und seine Reaktionen auf das Einwirken des Menschen handeln. Vorsorglich sollten wir also durch unser Handeln so wenig wie möglich auf dieses System einwirken, um Störungen zu vermeiden. Das heißt: Wir sollten die natürlichen Stoffströme so wenig wie möglich verändern /Schmidt-Bleek 1994/. Dieses Vorsorgeprinzip muß Leitfaden allen menschlichen Handelns sein, wenn zukunftsfähige Entwicklung erreicht werden soll. Mit Blick auf einen vollständigen Ökonomiebegriff heißt sichere und rationelle Haushaltung, von den Erträgen zu leben, ohne die Substanz anzugreifen.

Was bedeutet es für die Energietechnologien, die wir einsetzen, wenn wir erstens unsere Unwissenheit in Rechnung stellen, wenn wir zweitens das Vorsorgeprinzip berücksichtigen, das von uns verlangt, so wenig Energie- und Materialströme wie möglich zu erzeugen, und wenn wir drittens nach dem Prinzip der gerechten zukunftsfähigen Entwicklung der Menschheit handeln wollen?

Eine zukunftsfähige Energiequelle zu nutzen, sollte weder direkt noch indirekt Risiken mit sich bringen, die die nächsten Generationen betreffen. Die Materialströme sollten so klein wie möglich sein, auch die von solchen Stoffen, die in der Natur vorkommen und als "unschädlich" gelten. Der Abfall, den eine Energienutzungstechnik hinterläßt, sollte, so er nicht vermeidbar ist, aus Naturstoffen zusammengesetzt sein, also aus solchen, die in der Biosphäre vorhanden sind. Wenn bei der Nutzung einer Energietechnik in der Natur nicht vorkommende Stoffe entstehen, sollten sie dauerhaft von der Ökosphäre getrennt lagerbar sein. Um diese Stoffe möglichst weitgehend aus der Biosphäre fernzuhalten, sollten die unvermeidlichen »dissipativen« Verluste sehr klein gehalten werden; es sollte sich also nur ein sehr geringer Teil der verwendeten Menge fein verteilt in der Biosphäre zerstreuen, etwa durch Abrieb, Lecks oder Verdunstung. Die Energietechniken dürften nicht von endlichen Ressourcen abhängig sein, denn früher oder später sind diese aufgebraucht und stehen späteren Generationen nicht mehr zur Verfügung. Nur von den Erträgen zu leben, heißt streng genommen, im Bereich der Energiewirtschaft nur die auf der Erde "erwirtschaftete" Energie zu nutzen, also die von der Erde eingefangene Sonnenenergie /Lehmann 1993/.

Ein letzter wichtiger Punkt: Dauerhaft nutzbare Energietechniken sind solche, die nicht politisch destabilisieren, das heißt, die kein Sicherheitsrisiko darstellen und in vielen Regionen der Erde eingesetzt werden können. Dies gilt insbesondere dort, wo Giftstoffe ins Spiel kommen oder wo Stoffe für militärische Zwecke mißbraucht werden können. Beides verlangt einen hohen Überwachungsaufwand, der teuer ist und gesellschaftlich und politisch leicht mißbraucht werden kann. Eine zukunftsfähige Energietechnologie darf auf internationaler Ebene nicht destabilisierend sein, das heißt, die Ressourcen sollten allen Regionen der Welt in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen und dadurch Monopolbildungen oder Abhängigkeiten einer Region von anderen verhindern.

Alle diese Bedingungen erfüllen heute benutzte Energietechniken nur teilweise oder gar nicht. In vollem Umfang lassen sie sich wahrscheinlich nie erfüllen, doch sie sollten den Hintergrund und die Meßlatte bilden für Entscheidungen, welche Techniken oder Technikombinationen in einer zukünftigen Energiewirtschaft eingesetzt werden sollten.

Die erneuerbaren Energietechnologien

Die regenerativen Energiequellen bieten ein - gemessen an menschlichen Zeitmaßstäben - unerschöpfliches Energiepotential, das den derzeitigen Energieverbrauch um viele Größenordnungen übersteigt. Von den drei regenerativen Energiequellen, solare Strahlung, Geothermie und Gezeitenkraft, ist die Sonnenenergie bei weitem die Größte: Die aus Fusionsprozessen in der Sonne entstehende solare Strahlung beträgt außerhalb der Erdatmosphäre rund 5,6 (10^6 EJ/a). Die Sonne strahlt also in nur einer halben Stunde soviel Energie auf die Erde, wie hier vom Menschen weltweit verbraucht wird.

Die beiden anderen regenerativen Energiequellen sind demgegenüber vergleichsweise klein: Der aus Kernspaltungsprozessen im Innern der Erde resultierende Erdwärmestrom stellt ein Potential von weltweit rund 1000 EJ/a dar, das entspricht etwa dem dreifachen Weltenergieverbrauch. Das Potential der aus der Massenanziehung zwischen den Planeten einerseits, sowie aus der Bewegung derselben andererseits resultierenden Gezeitenenergie beträgt weniger als 100 EJ/a, also rund ein Drittel unseres derzeitigen Primärenergiebedarfs.

Die drei regenerativen Energiequellen mit ihren direkten und indirekten Nutzungsmöglichkeiten sind grundsätzlich in der Lage alle heute benötigten Sekundärenergieträger in Form von Wärme, Strom oder Brennstoffen bereitzustellen.

Die Nutzungsmöglichkeiten der erneuerbaren Energiepotenziale kann durch sehr unterschiedliche Technologien erfolgen :

- Durch Nutzung von Biomasse können Strom, Wärme und Brennstoffe (auch Kraftstoffe für den Verkehr) bereitgestellt werden
- Solarthermische Kraftwerke und Photovoltaische Systeme liefern Strom aus dem Sonnenlicht
- Solare Kollektoren erlauben die Bereitstellung von Wärme und Kälte für Haushalte, Gewerbe und Industrie
- Wind und Wasserkraftwerke erzeugen Strom aus der Kombination von Strahlungsenergie und Gravitation
- Die Solare Architektur stellt ein "Ambiente" für das Wohnen, Leben und Arbeiten bereit
- Geothermische Kraftwerke und Wärmepumpen stellen bisher ungenutzte Wärmepotentiale zur Erzeugung von Strom, zur Beheizung und Kühlung zur Verfügung

Für das Land Bayern kommen insbesondere die Nutzungsmöglichkeiten Biomasse, Solare Architektur, Solare Kollektoren, Photovoltaik, Wind, Wasserkraftwerke, Geothermie und Wärmepumpen in Frage.

Die Frage, warum regenerative Energiequellen, wenn sie über so hohe Potentiale und so vielfältige Nutzungsmöglichkeiten verfügen, heute nicht den überwiegenden Teil unserer Energieversorgung bereitstellen, ist historisch und technisch erklärbar. Mit der zunehmenden Verfügbarkeit fossiler Brennstoffe und sicherer Wandlungstechnologien (Dampfmaschinen etc.) ist die Nutzung erneuerbarer Technologien zurückgegangen und sind diese Technologien nicht mehr fortentwickelt worden. Es sei daran erinnert, daß die Elektrifizierung nur mit Hilfe der Wasserkraft möglich war.

Des weiteren hat ein Teil der Nutzungsmöglichkeiten der erneuerbaren Energietechnologien zwei Grundprobleme, die Ihre Nutzung erschwert haben: Die geringe Leistungsdichte und die Schwankungen im Energiedargebot. Für alle Biomasse-Anwendungen und die Kombination von erneuerbaren Energietechnologien mit einem chemischen Speicher gilt letzteres nicht.

Den beiden Nachteilen stehen jedoch ebenso gravierende Vorteile gegenüber: Die Tatsache, daß regenerative Energiequellen global gesehen viel homogener verteilt sind als fossile oder nukleare Energiereserven, hat nicht nur große Bedeutung für die Importabhängigkeit und die Aussenhandelsbilanz vieler individueller Staaten. Der zweite Vorteil ist die kostenlose Bereitstellung der jeweiligen Brennstoffe durch die Natur. Bei ausreichender Lebensdauer der Technik zur Nutzung regenerativer Energiequellen werden dadurch nicht nur die hohen anfänglichen Investitionskosten kompensiert, sondern in der Bilanz auch die energetischen Aufwendungen durch Erträge ausgeglichen. Die Gefahr einer negativen Nettoenergiebilanz stellt sich heute bei keinem regenerativen Energiewandler.

Der heute am stärksten diskutierte Vorteil ist jedoch die Tatsache ihrer Umweltverträglichkeit im Betrieb: Von wenigen Einzeltechniken abgesehen emittieren regenerative Energiesysteme keine gefährlichen Stoffe, kein CO₂¹ und bieten keinerlei Potential für kriegerische Gefahren oder Mißbräuche (leider mit der Ausnahme der Wassernutzung in einigen Regionen der Erde).

1. Bei der Biomasse liegt ein geschlossener Stoffkreislauf vor, d.h. die Pflanze braucht zu Ihrem Wachstum soviel CO₂ wie bei einer energetischen Nutzung später wieder frei wird.

Status der Nutzung erneuerbarer Energietechnologien

Der Marktanteil der regenerativen Energietechniken zeigt einen kontinuierlichen Aufwärtstrend. In der folgenden Tabelle sind die Anteile erneuerbarer Energieträger in Europa in Ihrer Entwicklung dargestellt.

Anteil erneuerbarer Energieträger am Bruttoinlandsverbrauch (Primärenergie; in %)			
Land	1990	1995	1996
Schweden	24,7	25,4	24,8
Österreich	22,1	24,3	23,5
Finnland	18,9	21,3	19,9
Portugal	17,6	15,7	15,5
Frankreich	6,4	7,1	6,7
Dänemark	6,3	7,3	6,5
Spanien	6,7	5,7	5,8
Italien	5,3	5,5	5,6
Griechenland	7,1	7,1	5,1
Irland	1,6	2,0	1,9
Deutschland	1,7	1,8	1,8
Belgien	1,0	1,0	1,5
Luxemburg	1,3	1,4	1,4
Niederlande	1,3	1,4	1,3
Großbritannien	0,5	0,7	0,6
EU	5,0	5,3	5,1

Quelle: /Kommission der europäischen Gemeinschaften, Nov 1997 und Nov 1998/

Tabelle 2: Anteil erneuerbarer Energieträger am Bruttoinlandsverbrauch.

In den Ländern mit einem hohen Anteil ist es entgegen landläufigen Vorurteilen nicht alleine die Wasserkraft, die zu dieser hohen Versorgung beitragen. Biomasse, Solarthermie und in den letzten Jahren Windenergie liefern zunehmende Beiträge zur Energieversorgung Europas.

In allen Ländern Europas steigt in den letzten Jahren der Anteil der erneuerbaren Energie-

technologien am Markt. Für Europa ist im Weißbuch der EU das Ziel gesteckt worden, den Anteil der erneuerbaren Energien in der EU auf 12% des Bruttoinlandsenergieverbrauchs der EU bis zum Jahre 2010 zu steigern (siehe Tabelle 3). Shell schätzt für 2050 einen Anteil der erneuerbaren Energiequellen am Weltmarkt von ca. 50%. Trotz dieser positiven Entwicklung sind aber noch viele Anstrengungen zu unternehmen, um alle Nutzungsmöglichkeiten der erneuerbaren Energiequellen auf den Markt zu bringen und eine langfristig zukunftsfähige Energieversorgung zu realisieren.

Beiträge der einzelnen Sektoren - Szenario für 2010		
Energieträger	Anteil in der EU 1995	Prognose: Anteil 2010
Windenergie	2,5 GW	40 GW
Wasserkraft Große Anlagen Kleine Anlagen	92 GW (82,5 GW) (9,5 GW)	105 GW (91 GW) (14 GW)
Photovoltaik	0,03 GWp	3 GWp
Biomasse	44,8 Mio. TRÖE	135 Mio. TRÖE
Erdwärme Elektrizität Wärme einschl. Wärmepumpe	0,5 GW 1,3 GWth	1 GW 5 GWth
thermische Solarkollektoren	6,5 Mio. m ²	100 Mio. m ²
passive Sonnenenergienutzung		35 Mio. TRÖE
sonstiges		1 GW

Quelle: /Kommission der Europäischen Gemeinschaften, November 1997/

Tabelle 3: Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien auf ca. 12% bis ins Jahr 2010

Potential / Szenarien

Um die Möglichkeiten zu bewerten, die in den erneuerbaren Energiequellen stecken, werden Potential-Abschätzungen durchgeführt. Es wird dabei zwischen drei Potentialbegriffen unterschieden: Das theoretische Potential ist das physikalische Angebot an Energie aus einer Energiequelle. Dieses physikalische Angebot kann mit Hilfe der Technik nur teilweise nutzbar gemacht werden, weil Energiewandler immer einen begrenzten Wirkungsgrad haben. Übrig bleibt das technische Potential. Berücksichtigt man nun noch die Kosten eines technischen Systems und vergleicht sie mit denen konkurrierender Systeme unter vorgegebenen ökonomischen Randbedingungen, dann erlaubt das eine Aussage über das wirtschaftliche Potential. Das wirtschaftliche und technische Potential nimmt bei den erneuerbaren Energietechnologien zu, technischer Fortschritt und zunehmende Markteinführung machen diese Technologien besser und billiger.

Wasserkraft	25 TWh/a
Windenergie	14 – 83 TWh/a
Photovoltaik (nur Dächer)	18 – 302 TWh/a
Solarthermie	bis zu 1970 PJ/a
Erdwärme	ca. 1622 PJ/a
Umgebungswärme	400 – 500 PJ/a
Biomasse	558 – 1213 PJ/a

Quelle : Energieeinsparung und erneuerbare Energien, BMWi Dokumentatio N2. 361, 1994

Tabelle 4: Technisches Potential der erneuerbaren Energietechnologien in Deutschland

An dieser Stelle sei für Deutschland nur zusammenfassend das technische Potential der erneuerbaren Energietechnologien dargestellt, wie sie im Rahmen der Konsensgespräche im Jahr 1994 in einem Arbeitskreis des Bundeswirtschaftsministeriums von allen Beteiligten errechnet worden sind (siehe obige Tabelle 4). Schon zu diesem Zeitpunkt kommt dieser Arbeitskreis zum Fazit : „Das technische Potential liegt – zusammengenommen – etwa in der Größenordnung der Hälfte des derzeitigen Endenergieverbrauchs in Deutschland.“ Nach einigen Jahren stürmischer technischer Entwicklung, wird dieses 1994 festgestellte technische Potential eher zugenommen haben.

Für Bayern kann man aus unterschiedlichen Quellen die in der folgenden Tabelle dargestellten Potentiale ermitteln.

Wasserkraft (neues Potential)	621 GWh/a	Zum Vergleich:
Windkraft	45 TWh/a	Stromproduktion 1997 in Bayern 76 TWh
Photovoltaik (Dach- und Fassadenflächen)	24 TWh/a	
Biomasse (ohne Energiepflanzen)	70-115 PJ/a (20-32 TWh/a*)	Heizenergiebedarf für Wohnungen in Bayern ca. 360 PJ/a
Biomasse - Energiepflanzen	12-214 PJ/a (3-60 TWh/a*)	
Geothermie (hydrothermales Potential, Mittelwert)	571 PJ/a (159 TWh/a*)	

*nur physikalische Umrechnung der Einheiten

Tabelle 5: Zusammenfassende Darstellung der technischen Erzeugungspotentiale von regenerativen Energiequellen in Bayern

Eine Anzahl von Szenarien über eine künftige risikoarme und solare Energieversorgung sind bereits erstellt worden, und dies nicht nur in der letzten Zeit. Das Ausmaß, der Zeithorizont und die Kosten, mit denen die erneuerbaren Energien in den Markt eingeführt werden können, hängen stark von politischen Entscheidungen ab.

Um die Potentiale an Sonnenenergie abzuschöpfen (ob weltweit oder in einer Stadt), bedarf es einer dezentral und regional orientierten Energieversorgung. Dies bedeutet die Nutzung der vor Ort verfügbaren Ressourcen an erneuerbaren Energien. An den Küsten oder in bergigen Regionen ist dies 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 dezentral eingespeist wird. Der Transport von 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 Kraftwerken wird die Energie erzeugt, die noch zur Bedarfsdeckung fehlt. Zentrale Kraftwerke können Wasserkraftanlagen, Biomassekraftwerke oder solar oder fossil beheizte 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.

Daß solche zukunftsfähigen Energiesysteme grundsätzlich möglich und auch finanzierbar sind, ist von der LTI Studie /LTI Research Team 1998/ aufgezeigt worden. Dort wurde mittels zweier Szenarien für ein europäisches Energieversorgungssystem, bei dem unter Verzicht auf Atomenergie 80% weniger Kohlendioxid emittiert wird als im Jahre 1990, dieses Ergebnis dargestellt.

Das Fair-Market Szenario der LTI Studie erreicht das Ziel durch die Anpassung der Energiepreise unter Berücksichtigung der externen Kosten, die bei der Verwendung fossiler Brennstoffe entstehen, welche im wesentlichen die globale Erwärmung verursachen. Rechnet man die externen Kosten zu den Preisen konventioneller Brennstoffe hinzu, so werden viele Energiesparmaßnahmen ökonomisch vertretbar. Schrittweise wird der Einsatz folgender regenerativer Energieformen billiger als der Einsatz fossiler Brennstoffe und diese dringen somit in den Energiemarkt vor: Windenergie, Biomasse für Heizzwecke, solarthermische Anlagen, Elektrizität aus Photovoltaik und solarthermischen Kraftwerken, Kleinwasserkraftwerke und Flüssigbrennstoffe aus Biomasse.



Quelle : LTI Research Team, 1998

Bild 1: Entwicklung der Energieversorgung im Sustainable Szenario bis 2050

Bei dem Sustainable Szenario wird davon ausgegangen, daß der notwendige Übergang durch einen Wertewandel innerhalb der Gesellschaft beginnt, welche dann umfassende Normen und Reglementierungen akzeptiert, die zu einer effizienteren Energienutzung, Anwendungen regenerativer Energien und - in begrenzten Fällen - zum Verzicht oder zur Begrenzung bestimmter Energieformen führen.

Für beide Szenarien kann der Schluß gezogen werden, daß keine prinzipiellen, technischen oder finanziellen Hindernisse bestehen. Jedoch sind wesentliche Veränderungen auf ökonomischer, rechtlicher und institutioneller Ebene, auf denen Energiesysteme operieren, unvermeidbar.

Kosten und Wirtschaftlichkeit

Das existierende Energiesystem ist aus verschiedenen Gründen nicht „nachhaltig“. Aus ökonomischer Sicht nicht, weil es im wesentlichen von endlichen Ressourcen, den fossilen Brennstoffen, abhängig ist. Aus sozialer und politischer Sicht ist die geografisch ungleiche Verteilung dieser endlichen Ressourcen bedenklich. Verteilungskonflikte sind bei knapper werdenden Reserven vorgezeichnet. Letztlich ist aus ökologischer Sicht die Veränderung des Klimas durch die Emissionen von Treibhausgasen durch die heutige Form der Energiebereitstellung eine Bedrohung menschlichen Lebens auf der Erde. Analysiert man die Zeitachsen der Bedrohungen und vergleicht diese mit der benötigten Zeit, um das vorhandene Energiesystem zu einem „nachhaltigeren“ Energiesystem umzubauen, so muß heute mit der Strukturreform begonnen werden.

Eine „zukunftsfähige“ und „nachhaltige“ Energieversorgung wird sich nach heutigen Erkenntnissen 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 zukünftigen Energiewirtschaft.

Primär ist also die Notwendigkeit eines zügigen Umbaus bei den folgenden Betrachtungen der Kosten und der Wirtschaftlichkeit zu beachten. Die Wirtschaftlichkeit und die Kosten der notwendigen Technologien zum Aufbau eines „nachhaltigeren“ Energiesystems sind ein Parameter bei der Entscheidung, welche Technologien wann und in welchem Umfang in das existierende Energiesystem eingeführt werden müssen. Neben der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Technologien ist die Wirtschaftlichkeit und Funktionsfähigkeit des gesamten zukünftigen Energiesystems, unter Beachtung der Potentiale und der technischen Rahmenbedingungen dieser Technologien, die Richtschnur. Analysiert man die Ergebnisse derjenigen Szenarien, die ganzjährig funktionierende Energiesysteme mit einem Anteil >80% von erneuerbaren Energietechnologien an der Versorgung haben, so gewinnt man zwei wesentliche Erkenntnisse:

- Egal in welchem „Detail“-Mix – ein Energiesystem, wesentlich basierend auf erneuerbaren Energiequellen, braucht alle Technologien zur Nutzung dieser Ressourcen, um ganzjährig funktionieren zu können.
- Um zu einem insgesamt kostenoptimalen System zu kommen, müssen die erneuerbaren Energien flankiert werden von einer effizienten Nutzung der Energie und die Einführung der erneuerbaren und effizienten Energietechnologien muß parallel erfolgen.

Dies bedeutet, daß bei einer Förderung der erneuerbaren Energietechnologien nicht die heu-

tigen Kosten (auch wenn sie sich hinter CO₂ Vermeidungskosten verstecken) der Maßstab sein dürfen, sondern die Potentiale dieser Technologien, ihr möglicher und sinnvoller Beitrag in einer zukünftigen nachhaltigeren Energiewirtschaft.

Vergleicht man nun die heutigen Produktionskosten der verschiedenen erneuerbaren Energietechnologien untereinander, so beobachtet man eine große Preisspanne. Zwischen der heute billigsten Technologie (große Wasserkraft) und der heute teuersten („solarer“ Wasserstoff) klafft ein Faktor größer als 100. Diese Unterschiede haben von Technologie zu Technologie verschiedene Ursachen. Der Hauptgrund für die hohen Preise ist allerdings bei allen Technologien die fehlende Massenproduktion. Damit schließt sich ein Teufelskreis aus hohen Preisen wegen fehlender Massenproduktion und fehlender Massenproduktion wegen geringer Abnahme wegen hoher Preise. Dieser Teufelskreis muß durchbrochen werden.

Ist die fehlende Massenproduktion die Hauptursache für die hohen Kosten der Technologien, so muß man bei einer Förderung der Technologien heute nicht den aktuellen Preis als Maßstab für eine Förderung nehmen, sondern das dynamische Entwicklungspotential dieser Technologie. Historisch gesehen hat sich hier schon viel getan. Bei der Photovoltaik, trotzdem es bisher nur ein Nischenmarkt ist, ist der Preis von 5 DM/kWh in den 80er Jahren auf ca. 1 DM/kWh gefallen. Bei der Windenergie, deren Kosten weit über einen Faktor 10 gesunken sind und noch weiter sinken, war die Massenproduktion nicht nur der Schlüssel für die Kostensenkung, sondern auch für Innovationen. In der folgenden Kurve ist die mögliche dynamische Entwicklung der Kosten unter der Voraussetzung der Massenproduktion, dargestellt.



Quelle : LTI Research Team, 1998

Bild 2: Kostenentwicklung erneuerbarer Energietechnologien bei Massenproduktion

Diese Entwicklungspotentiale werden nicht von allen so gesehen. Um hier „Spreu und Weizen“ der Aussagen zu trennen, muß man die Interessenlage derjenigen, die sich dazu äußern, betrachten. Jene, die durch die Einführung erneuerbarer Energietechnologien ihr Geschäft gefährdet sehen, werden eher zu schlechten Voraussagen kommen als jene, die dort einen Zukunftsmarkt erwarten. Von besonderer Bedeutung sind die Einschätzungen und mehr noch die unternehmerischen Zielsetzungen industrieller Akteure. Wer hält was für erreichbar und hat sich was vorgenommen? Hier gibt es die Einschätzungen namhafter Firmen, die sich ehrgeizige Ziele gesetzt haben. Im Bereich der Photovoltaik : BP Amoco und Shell, beim Wind : Micon, Enercon, Enron und um noch als weitere Technologie die Solarthermischen Kraftwerke zu nennen: Pilkington.

Vergleicht man die Produktionskosten erneuerbarer Energietechnologien mit den Kosten in dem existierenden fossilen Energiesystem in Deutschland, so kann man drei Kategorien von Technologien beobachten: die „marktfernen“ Technologien wie z.B. die Photovoltaik mit Netzanschluß, die „marktnahen“ Technologien wie z.B. Strom aus Biomasse und letztlich die „marktfähigen“ Technologien wie z.B. Wind an bestimmten Standorten. In der folgenden Tabelle sind, beispielhaft und unvollständig, Technologien den verschiedenen Kategorien zugeordnet. Es gibt auch Zukunftstechnologien, bei denen von Markt-ferne/nähe zu reden noch nicht angebracht ist, die aber trotzdem zu dem zukünftigen Mix gehören werden.

Gegenwärtiger wirtschaftlicher Stand der erneuerbaren Energietechnologien	
Marktfähig Wirtschaftlich auch ohne Subventionen	<ul style="list-style-type: none"> • Großtechnische Wasserkraftnutzung • Solare Warmwasserbereitung in Schwimmbäder, zur Vorwärmung für große zentrale Systeme • Passive Solarenergienutzung • Solare Siedlungen • Kleine photovoltaische Inselversorgungen • Windkraftparks • Biomasseheizungssystem
Marktnah Wirtschaftlich unter bestimmten Bedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • Kleine Wasserkraftanlagen • Solartrocknung in der Landwirtschaft • Verbrennung/Verstromung von Biomasse • Biogaserzeugung • Wärmepumpe (monovalent, elektrisch und verbrennungsmotorisch) • Windkraftanlagen • Passive Solarenergienutzung • Solare Brauchwasserbereitung in privaten Haushalten • Geothermische Wärmeherzeugung
Marktfern Wirtschaftlich nur bei erheblichen Anreizen	<ul style="list-style-type: none"> • Netzgekoppelte Photovoltaik-Hausanlagen • Solare Raumheizung auf Basis Warmwasser • Treibstoffe aus Biomasse • Geothermische Stromerzeugung • Großtechnische photovoltaische Stromerzeugung

Gegenwärtiger wirtschaftlicher Stand der erneuerbaren Energietechnologien	
Zukunftstechnologien	<ul style="list-style-type: none"> • Photochemische Solarenergienutzung • Solarer Wasserstoff

Tabelle 6: Gegenwärtiger wirtschaftlicher Stand der erneuerbaren Energietechnologien

Verläßt man diese rein betriebswirtschaftliche Sicht, so hat die Nutzung der erneuerbaren Energietechnologien einige volkswirtschaftliche Vorteile verglichen mit dem tradierten System. Trivial ist der Sachverhalt, daß die Nutzung heimischer Reserven die Wirtschaft im Inland stärkt. Dieses und die Tatsache, daß erneuerbare Energietechnologien arbeitsintensiver sind als fossile Energietechnologien, schafft zusätzliche inländische Arbeitsplätze (siehe nächstes Kapitel). Letztlich sind die sozialen (externen) Kosten des Energiesystems bei der Nutzung erneuerbarer Energietechnologien niedriger.

Summiert man die sozialen (externen) Kosten fossiler Elektrizitätserzeugungssysteme, so ergeben sich nach einer Untersuchung von Olaf Hohmeyer /Hohmeyer/ zusätzliche Kosten von mindestens 4 bis 9 Pfennig pro Kilowattstunde bei den fossilen Brennstoffen und bei der Stromerzeugung durch Atomkraftwerke zusätzliche Kosten von 10 bis 21 Pfennig pro Kilowattstunde. Dagegen hat die Nutzung der erneuerbaren Energien einen Nettonutzen für die Gesellschaft (also vermiedene Kosten) von 6 bis 12 Pfennig (Windenergie) oder 7 bis 17 Pfennig (Photovoltaik). Da in dieser Studie überall, wo die Daten unsicher waren, mit dem niedrigsten Schätzwert gerechnet wurde, liegt der gesamte soziale Nutzen der Erneuerbaren wahrscheinlich erheblich höher.

Abschließend sei noch einmal betont, daß die Herbeiführung der wirtschaftlichen Durchsetzungsfähigkeit erneuerbarer Energien Mittel zum Zweck einer Strukturreform im Sinne der Nachhaltigkeit ist und nicht Bedingung für deren Einführung. Daher muß eine Förderung der erneuerbaren Energietechnologien die Dynamik der technischen und wirtschaftlichen Entwicklung beschleunigen; d.h.: Markteinführung unterstützen, Märkte vergrößern und Marktdruck zur kontinuierlichen Senkung der Kosten schaffen.

Arbeitsplätze durch erneuerbare Energietechnologien

Erfreulich ist die Tatsache, daß eine ökologische Strukturreform, konsequent durchgeführt, nicht nur der Umwelt nützt, sondern auch neue Arbeitsplätze erzeugt. Für die im Weißbuch der EU formulierten Ausbauziele (Verdopplung bis 2010) wurde eine Kosten-Nutzen-Bewertung durchgeführt. Insgesamt werden für den Zeitraum 1997 bis 2010 Nettoinvestitionsausgaben in Höhe von schätzungsweise 95 Mrd. Euro erforderlich sein. Diese Investitionen werden von ganz erheblichen Einsparungen bei den Brennstoffkosten begleitet. Im Jahre 2010 könnten Brennstoffkosten in Höhe von 3 Mrd. Euro eingespart werden. Für den Zeitraum 1997 bis 2010 würden insgesamt Brennstoffkosten in Höhe von 21 Mrd. Euro eingespart. Der Anteil der importierten Brennstoffe würde um 17 % zurückgehen. Diesen Berechnungen zufolge könnten dabei brutto 500.000 bis 900.000 Arbeitsplätze neu geschaffen werden (brutto bedeutet: ohne Betrachtung der in der traditionellen Energiewirtschaft verlorengegangenen Arbeitsplätze).

Auf dem "European Congress on Renewable Energy Implementation" (Mai 1997 in Athen) hat EUROSOLAR und der "European Solar Council" eine Verdreifachung des Beitrages erneuerbarer Energien bis zum Jahr 2010 als realisierbares Nahziel gefordert. Bis zum Jahr 2010 ist es mit großen politischen Anstrengungen möglich, den Beitrag der erneuerbaren Energien zu verdreifachen, so daß die erneuerbaren Energien im Jahre 2010 einen Beitrag von ca. 20 vH an der Energieversorgung der Europäischen Union leisten. Die verstärkte Nutzung der erneuerbaren Energien führt zu Investitionen in Höhe von ca. 110 Mrd. ECU, davon entfallen mindestens 20 Milliarden ECU auf den Export. Insgesamt könnten brutto ca. 2 Millionen neue Arbeitsplätze geschaffen werden. Die größten Beschäftigungseffekte sind dabei in den Bereichen der Biomassenutzung und der passiven Sonnenenergienutzung (Bauwirtschaft) zu verzeichnen.

Die Netto-Beschäftigungszahlen im Bereich der erneuerbaren Energieträger lassen sich nur schwer prognostizieren. Ausführliche Schätzungen der Netto-Beschäftigungszahlen wurden für die TERES II-Studie durchgeführt, und zwar unter Verwendung des im Rahmen des Joule II-Programms entwickelten Marktdurchdringungsmodells SAFIRE. Das Modell prognostiziert für 2010 die Schaffung von 500.000 Nettoarbeitsplätzen, die entweder unmittelbar im Bereich der erneuerbaren Energien oder mittelbar im Zulieferbereich geschaffen werden. Des Weiteren wird für 2010 eine jährliche Exportleistung von 17 Mrd. ECU pro Jahr vorausgesagt, wodurch möglicherweise bis zu 350.000 zusätzliche Arbeitsplätze geschaffen werden können.

Eine kürzlich veröffentlichte Studie befaßt sich mit der Frage nach den Arbeitsplatzeffekten einer Einführung effizienter und erneuerbarer Energietechnologien in der Schweiz /SuisseEE-Studie 1999/. Die Studie untersucht ausschließlich den Effekt der Einführung des "Solarrappens" in Höhe von 0,5 Rp./kWh. Durch die Einführung des Solarrappens werden Gelder in Höhe von ca. 880 Mill. Fr. pro Jahr eingenommen. Davon werden ca. 5 vH für den Vollzug

der Initiative verwendet. Von den verbleibenden Mitteln sollen 50 vH für die Förderung der Solarenergienutzung eingesetzt werden. Die übrigen 50 vH stehen für die Förderung der rationalen Energienutzung zur Verfügung. Bilanziert man die positiven und die negativen Arbeitsplatzeffekte, so ergeben sich für das realistische/mittlere Szenario positive Netto-Beschäftigungseffekte in Höhe von ca. 68.000 Arbeitsplätzen.

Analysiert man die sektorielle Struktur der erzeugten Brutto-Arbeitsplätze, so wird ersichtlich, daß ein großer Teil dieser Arbeitsplätze nur vor Ort (also in der Schweiz) entstehen würden.

Alle Studien, die die ökonomischen Effekte der erneuerbaren Energien untersuchen, zeigen eine Zunahme der Arbeitsplätze auf. Die Höhe und die Schnelligkeit, mit der diese Arbeitsplätze geschaffen werden, hängen ausschließlich von der regionalen Einführungsgeschwindigkeit dieser Technologien ab. Die Arbeitsplätze im Bereich der produzierenden Industrie entstehen natürlich nur dort, wo durch entsprechende Industriepolitik die Ansiedlung solcher neuer Technologiefirmen gefördert wird.

Maßnahmen

"Es ist töricht zu glauben, man könnte die Probleme unserer Zeit ohne tiefgreifenden Einschnitte in liebgewordene Pfründe lösen." (Klaus Steilmann)

Die verschiedenen Formen der Nutzung erneuerbarer Energien weisen eine große Vielfalt auf: bezüglich der Art der Sonnenenergienutzung, der möglichen Technologien, der sinnvollen Verwendungszusammenhänge, der regionalen und sozialen Eignung und Einbettung, der technischen und wirtschaftlichen Entwicklungspotentiale. Diese Vielfalt wirkt auf viele unübersichtlich und verwirrend und deshalb kommt oft der Wunsch auf, die Dinge zu vereinfachen und sich auf wenige besonders aussichtsreiche Optionen zu konzentrieren. Daher die häufige Frage an die „Experten“: Wo geht es lang? Was soll man fördern und was nicht?

Wie schon ausgeführt wird man in Zukunft alle Formen der Nutzung der Sonnenenergie brauchen werden. Die Vielfalt der neuen Energieversorgungssysteme ist dabei gerade Strukturmerkmal und Unterscheidung zu einer fossilen Energiewirtschaft. Je mehr wir uns mit einzelnen Technologien beschäftigen, desto mehr Optionen öffnen sich (man denke nur an die Vielzahl der Technologien für Solarzellen). Diese Vielfalt der Optionen macht nachhaltige Energieversorgungssysteme stabil, denn man ist eben nicht auf Gedeih und Verderb auf den einen oder anderen Weg angewiesen.

Da wir nicht wissen, welches „die beste“ Lösung in Zukunft sein wird, müssen wir ständig an der Erhöhung der Zahl der Optionen arbeiten und alle Optionen weiterentwickeln. Der technologische und wirtschaftliche Status der jeweiligen Optionen wird dann den jeweiligen regenerativen Energiemix in jedem zukünftigen Zeitraum bestimmen. Mit fortschreitender Zeit und wachsendem Anteil erneuerbarer Energien wird sich dieser Mix ständig ändern. Für die Politik bedeutet das, daß sie generelle Ziele setzen sollte bezüglich eines wachsenden Anteils erneuerbarer Energien und daß sie Rahmenbedingungen und auch Förderprogramme schaffen sollte, die zur Weiterentwicklung der vorhandenen Optionen und zur Ausweitung der Optionen beitragen.

Da die verschiedenen erneuerbaren Energietechnologien auch in unterschiedlichem Maße schon in den Markt eingeführt wurden, müssen sich die Maßnahmen auch nach den zu fördernden Technologien unterscheiden. Wieviel und wann es am günstigsten ist, eine Technologie zu fördern, hängt von mehreren Faktoren ab. Einesteils von der Notwendigkeit, diese Technologien in einem nachhaltigeren Energiesystem zu nutzen und ihrem möglichen künftigen Beitrag (ihrem technischen Erzeugungspotential), andererseits von der möglichen dynamischen Entwicklung dieser Technologien in Bezug auf technische und ökonomische Effizienz. In Energiesystemen mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energietechnologien werden die oben genannten Nutzungsmöglichkeiten alle gebraucht werden. Dies bedeutet

im Umkehrschluß auch die Notwendigkeit einer breiten Technologieförderung, d.h. schon heute müssen auch jene Technologien gefördert werden, die noch sehr teuer sind aber großes Entwicklungspotential haben (wie z.B. die Photovoltaik).

Geeignete politische Rahmenbedingungen zu schaffen, um effiziente Energienutzung und erneuerbare Energietechnologien schnell in den Markt einzuführen, erfordert die Umsetzung eines Bündels von Maßnahmen. Diese Maßnahmen, diese Handlungsoptionen sind bestimmt durch die Menge der Hemmnisse, die der Markteinführung erneuerbarer Energietechnologien entgegenstehen. Ein banales Hemmniss 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 nur an die Stromeinspeise-Vergütungs-Diskussion oder den Widerstand gegen die kostengerechte Vergütung, wehren sich die Marktbeherrschenden mit allen Mitteln.

Die Anstrengungen zur Markteinführung der erneuerbaren Energietechniken sollen breit angelegt sein und auf folgende Handlungsfelder konzentriert werden:

- Finanzielle Maßnahmen zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit und der Markteinführung für erneuerbare Energien
- Verbesserung der rechtlichen und administrativen Rahmenbedingungen für den Einsatz erneuerbarer Energien
- Maßnahmen zur verbesserten Information, Beratung, Aus-, Fort- und Weiterbildung
- Eigeninitiativen von Industrie, öffentlicher Hand und Kommunen
- Maßnahmen zur Exportförderung
- Marktorientierte Forschung, Entwicklung und Demonstration von Anlagen und Materialien zur Nutzung erneuerbarer Energien.

Im weiteren werden in einer Übersicht insbesondere die auf Länderebene umsetzbaren Maßnahmen dargestellt. Auch solche Maßnahmen werden aufgezählt, die schon vom Land Bayern ausgeführt werden. Diese Nennung soll den Eindruck vermeiden, diese Maßnahmen seien nach Ansicht der Autoren unwichtig.

1. Maßnahmen zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit

Die stromerzeugenden erneuerbaren Energietechnologien, die mit der Einspeisevergütung

des Stromeinspeisegesetzes alleine nicht wirtschaftlich arbeiten können, müssen zusätzliche Zuschüsse erhalten. Eine Möglichkeit ist die Schaffung besonderer Förderprogramme, die Teile der Investitionskosten übernehmen, so daß die Einspeisevergütung ausreicht. Eine andere Möglichkeit auf Länderebene sind Sonderkreditprogramme. Insbesondere sind in Bayern die Nutzung kleiner Wasserkraftwerke, der Verstromung von Biomasse und der Bau von Windparks in mittleren Lagen zu fördern. Letzteres könnte durch einen 10% Investitionszuschuß für 5 Jahre erfolgen.

Für die Förderung der Produktion von Brennstoffen, die Versorgung des Wärmemarktes mittels erneuerbarer Energien und die Förderung der Nutzung der Biomasse im Wärmebereich sind finanzielle Förderprogramme ein sehr gutes Instrument (hier greift das Einspeisegesetz nicht!). Hier sind in Bayern insbesondere die Nutzung von Biomasse im Heizungsbereich (ähnlich zu Österreich) und die Nutzung solarthermischer Anlagen zu fördern.

Ein weiterer Bereich, in dem steuerliche Modelle eher zu einer Nutzung von Solarenergie führen würden, ist der Baubereich. Erhöhte Abschreibungen von neuen Gebäuden und Sanierungskosten von Altbauten, die einem Niedrig-Energie-Solar-Standard genügen, sind in diesem Bereich ein geeignetes Mittel. Eine steuerrechtliche Länderinitiative im Bundesrat zur Schaffung dieser erhöhten Abschreibungen, insbesondere in Kopplung mit dem Erbschaftsteuerrecht (Verringerung der Erbschaftsteuer, wenn im Zusammenhang mit dem Erbe eines Hauses eine Niedrig-Energie- Solar Modernisierung durchgeführt wird).

2. Verbesserung der rechtlichen und administrativen Rahmenbedingungen

Oftmals sind es administrative Hürden, die eine wichtige Rolle spielen. Diese zu beseitigen und durch geeignete, rechtliche und administrative Rahmenbedingungen fördernde Impulse abzulösen, ist ein weiteres Maßnahmenbündel. Es würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, im Detail die einzelnen Verordnungen und Regeln zu benennen, die hemmend wirken. Hier könnte eine „Landesinitiative administrative Rahmenbedingungen“, die gemeinsam mit den Verbänden der erneuerbaren Energietechnologien eine Durchforstung dieser Verordnungen durchführt, ein erster Schritt zu ihrer Behebung sein

Natur- und Gewässerschutz: Das Betreiben erneuerbarer Energietechnologien, bei Einhaltung bestimmter Grundregeln, ist aktiver Umweltschutz. Dies bedeutet auch, daß Ausgleichsmaßnahmen für die Nutzung erneuerbarer Energietechnologien durch Kleinanlagen wegfallen müßten. Konsequenterweise weiter gedacht könnten bestimmte Anlagen erneuerbarer Energien als aktive Ausgleichsmaßnahme oder Ersatzmaßnahmen bei Industrieprojekten anerkannt werden (z.B. Nutzung der Flachdächer für Warmwasserbereitung oder Stromproduktion mittels photovoltaischer Systeme). Das Land Bayern könnte seine Behörden entsprechend instruieren.

Haushaltsrecht : Erneuerbare Energietechnologien erfordern oftmals einen höheren investiven Aufwand, dafür aber einen geringeren Betriebskostenanteil. Solange im öffentlichen Haushaltsrecht nur die reinen Investitionskosten entscheidend sind, werden fossile Anlagen, deren Kosten mehr im Betrieb liegen, bevorzugt. Als ein Beispiel sei die Solarthermie angeführt. Hier liegen Kosten fast ausschließlich in der Investition, sie wird bei Nichtberücksichtigung der Betriebskosten nie konkurrenzfähig sein gegenüber fossilen Technologien, auch wenn sie insgesamt sogar die wirtschaftlichere Lösung wäre. Daher ist eine Betriebskostenrechnung und der Vergleich der klassischen Lösung mit Lösungen, die zumindestens teilweise erneuerbare Energietechnologien nutzen, bei der Bewertung von Investitionen des Landes Bayern vorzuschreiben.

3. Maßnahmen zur verbesserten Information, Beratung, Aus-, Fort- und Weiterbildung

Der Stellenwert der regenerativen Energien wird in der energiepolitischen Debatte immer noch zu gering eingeschätzt. Zum großen Teil liegt es an der Unwissenheit der Akteure innerhalb der Energiepolitik über Möglichkeiten, Potentiale und Preise der erneuerbaren Energietechnologien, zu einem anderen Teil liegt es auch an den schlechten Möglichkeiten, sich fortzubilden. Noch heute werden Handwerker, Planer, Architekten, Verwaltungsangestellte und Ingenieure in der Mehrzahl ohne Kenntnisse über die erneuerbaren Energietechnologien ausgebildet. Viele administrative und planerische Hürden haben ihre Ursache in dieser Unkenntnis. Daher ist ein wichtiges Handlungskonzept die verbesserte Information, Ausbildung und Fortbildung der Akteure.

Lehrpläne, Lehrmittel, Lehrstühle: Dies bedeutet an erster Stelle die Verankerung der Behandlung erneuerbarer Energietechnologien als Aufgabe für Erziehung und Bildung sowie Anerkennung in den Lehrplänen der Bildungsträger im Rahmen der allgemeinen und berufsbildenden Bildung. Entwicklung geeigneter Lehrpläne, Lehrmittel und Lehrbücher für Hochschulen, Schulen, Ausbildungseinrichtungen allgemein berufsbildender Art sowie vorschulischer Einrichtungen. Dies bedeutet auch die Einrichtung von Lehrstühlen für erneuerbare Energietechnologien an den Universitäten, Hochschulen und Fachhochschulen.

Weiterbildung: Einrichtung und Förderung von Demonstrations- und Schulungszentren für erneuerbare Energietechnologien zum Zweck der Weiterbildung von Architekten, Ingenieuren, Technikern, Handwerkern, betroffenen Bewilligungsbehörden usw.

4. Maßnahmen zur Exportförderung

Wirtschaftsdelegationen: Es sollte selbstverständlich sein, daß die Vertreter der erneuerbaren Energietechnologien an Wirtschaftsdelegationen teilnehmen können, in die bilateralen

Wirtschaftsgespräche auf Regierungsebene eingebunden sind und bei der Vergabe von Bürgschaften und Krediten für Auslandsprojekte zumindest gleich behandelt werden wie die anderen exportorientierten Industriezweige auch.

Fördermittel für die Präsenz bayerischer Produzenten auf ausländischen Messen sollten bereit gestellt werden. Natürlich sollten bei den durch den Freistaat Bayern durchgeführten Entwicklungshilfe / Kooperations Projekten wo immer möglich auch die Unterstützung der erneuerbaren Energietechnologien beinhaltet sein.

5. Marktorientierte Forschung, Entwicklung und Demonstration von Anlagen und Materialien zur Nutzung erneuerbarer Energien

Heute sind europäische und deutsche Produzenten in vielen Feldern der erneuerbaren Energietechnologien führend. Diese Position ist teilweise erreicht worden durch die Markteinführung dieser Technologien. Praxiserfahrungen stimulierten Forschung, Forschung erleichterte die Markteinführung. Diese gegenseitige Befruchtung ermöglichte die rasanten Fortschritte zum Beispiel in der Windenergie. Nur wenn diese Wechselwirkung des eigenen Marktes und der eigenen Entwicklung bestehen bleibt, werden führende Positionen in der Technologieentwicklung gehalten und eine breite Markteinführung gefördert.

Forschung braucht eine Infrastruktur und adäquate Mittel, d.h. das Land Bayern sollte möglichst an allen Hochschulen des Landes in Verbindung mit den oben angesprochenen Lehrstühlen oder anderen Fächern Forschungstätigkeiten / Institute initiieren. Diese brauchen allerdings langfristig sichere Forschungsmittel, um auch gedeihen zu können.

Koordination und Begleitung: Der Programmzyklus (Grundlagenforschung – anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung - Demonstration - Markteinführung – Marktdurchdringung) muß für die jeweiligen Einzeltechnologien konstanter und berechenbarer gefördert werden. Sinnvoll ist die Einrichtung einer adäquaten Organisation, um Forschung, Entwicklung, Demonstration und Markteinführung zu begleiten und koordinierend zu unterstützen, so daß von der Beantragung der Forschungsmittel bis zur Unterstützung der Markteinführung eine Stelle Hilfe leisten kann.

Förderung von Demonstrations- und Verbreitungsprogrammen: einige Technologien sind im Demonstrationsstadium oder sogar darüber hinaus und bedürfen der Begleitung (beratend und fördernd) bei ihrer Verbreitung. Ähnlich dem Programm „50 Solarsiedlungen NRW“ könnten solche Programme aufgelegt werden z.B. in den Bereichen:

- X0 Solarsiedlungen Bayern
- X0 Biomasse Verstromungsanlagen

- X0 Biomasse Heizungsanlagen in öffentlichen Gebäuden
- Integrierte dezentrale Versorgung mit möglichst hohem Anteil an erneuerbaren Energietechnologien

6. Eigeninitiativen der Öffentlichen Hand

Die Phantasie für Eigeninitiativen der öffentlichen Hand ist sehr groß. Hier nur einige Ideen dazu:

- X00 solare Dächer – Dächer öffentlicher Gebäude werden Betreibergesellschaften zur Installation photovoltaischer Anlagen zur Verfügung gestellt. Das Land Bayern unterstützt die Aktion mit Materialien und Fördermitteln. Soweit es im Rahmen des Erneuerbare Energie Gesetzes möglich ist, installiert das Land Bayern auch photovoltaische Systeme auf Schulen und anderen öffentlichen Gebäuden (Hilfe zu der Umsetzung durch Berater und Materialien).
- Ausführung aller öffentlichen Neubauten nach dem Niedrigenergiestandard unter intensiver Einbindung erneuerbarer Energietechnologien.
- Bei der Modernisierung öffentlicher Gebäude müssen auch die erneuerbaren Energietechnologien eingesetzt und der Niedrigenergiestandard für Altbauten möglichst erreicht werden.

Anlage I – Die erneuerbaren Energietechnologien

Biomasse

Biomasse ist chemisch gespeicherte Sonnenenergie. Soll Biomasse als erneuerbare Energiequelle genutzt werden, darf nur so viel verbraucht werden, wie gleichzeitig, möglichst in der Region der Nutzung, wieder nachwächst. Die Biomasse hat gegenüber anderen regenerativen Energiequellen den Vorteil, daß sie direkt speicherbar ist und nicht zeitlichen Schwankungen wie Wind und Sonne unterliegt.

Biomasse kann aus verschiedenen Quellen stammen: Restholz aus Durchforstung, Abfallholz bei der industriellen Verarbeitung, Ernterückstände wie Reststroh, Reststoffe aus der Tierhaltung und Biogas aus sonstigen organischen Reststoffen. Eine weitere Quelle ist der gezielte Anbau von Energiepflanzen, wie z.B. schnell wachsende Baumarten (Kurzumtrieb), Getreideganzpflanzen, Ölsaaten, Schilf- und Graspflanzen (Miscanthus).

In Bayern hat die Biomasse einen Anteil von 3,2 % am gesamten Primärenergieverbrauch (PEV). Der Anteil am PEV bei den erneuerbaren Energien beträgt 55 %. Dabei trägt aber Brennholz mit 27% Anteil am PEV bei den erneuerbaren Energien den größten Teil bei. Insgesamt lieferte Biomasse 1997 in Bayern 64 PJ. / [19]/

Der Anbau von Energiepflanzen kommt gegenwärtig nach übereinstimmender Meinung nur auf Flächen in Frage, die nicht zur Nahrungsmittelproduktion benötigt werden. Im allgemeinen werden hierfür die Stilllegungsflächen betrachtet. Die stilllegbare Fläche ist von den Ernteerträgen abhängig. Daher schwanken die Stilllegungssätze, die von der EU festgelegt werden stark (z.B. 1997 Stilllegungssatz = 5%, 1996 10%). Im Rahmen einer Studie von IfE und FfE 1998 [15] wurden unter Berücksichtigung dieser schwankenden Stilllegungssätze und unterschiedlichen Ernteerträgen Szenarien für den Anbau von Energiepflanzen in Deutschland entworfen. Als stilllegbare Flächen, die für den Anbau von Energiepflanzen genutzt werden können, ergeben sich zwischen 0,6 – 3,6 Mio ha. Kaltschmitt [5] verwendet für seine Berechnungen eine Fläche von 1,1 Mio ha für Deutschland und knapp 0,2 Mio ha für Bayern. Es gibt auch Überlegungen, die die Umstellung der Landwirtschaft auf ökologische Bewirtschaftung und eine Reduzierung des Fleischkonsums fordern.

Potentiale

Eine Studie des Wuppertal Instituts /Wolters [18]/ untersuchte unter diesen Bedingungen das Potential der landwirtschaftlichen Produktion von Energiepflanzen. Sie berechnen sich aus den Potentialangaben der Autoren für Deutschland, multipliziert mit dem Faktor 0,2 entsprechend des Flächenanteils von Bayern an Deutschland. Explizite Werte für das Biomaspotential in Bayern findet man derzeit nur bei Kaltschmitt und Wiese [5]. Neue Zahlen zum Holzmarkt in Bayern werden voraussichtlich im April von der Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft herausgegeben werden.

		Kaltschmitt [5]	Wolters [18]	IfE, FfE [15]
Energiepflanzen (durchschnittlich)	BRD	210 PJ/a	800 PJ/a	59 - 1070 PJ/a
	Bayern	30 PJ/a	160 PJ/a *	12 - 214 PJ/a *
Forstwirtschaftliche Reststoffe	BRD	142PJ/a	178 PJ/a	135 - 196 PJ/a
	Bayern	32 PJ/a	36 PJ/a *	27 - 39PJ/a *
Ernterückstände	BRD	84 PJ/a		120 - 183 PJ/a
	Bayern	15 PJ/a		24 - 37 PJ/a *
Reststoffe aus Tierhaltung	BRD	81 PJ/a	51 PJ/a	57 - 123 PJ/a
	Bayern	17 PJ/a	10 PJ/a *	11 - 25 PJ/a *
Organische Reststoffe aus Haushalt, Gewerbe,...	BRD	54 PJ/a		38 PJ/a
	Bayern	14 PJ/a		8 PJ/a *
Summe	Bayern	108 PJ/a	>206 PJ/a	82 – 323 PJ/a*

* eigene Abschätzungen aus den Angaben des Autors (siehe Text)

Tabelle 7: Werte für das technische Energiepotential für Biomasse von verschiedenen Autoren

Während die energetische Nutzung von tierischen Reststoffen vor der Rückführung in den Nährstoffkreislauf generell zu befürworten ist, werden andere landwirtschaftliche Produkte wie z.B. Reststroh auch für die Tierhaltung und zur Humusbildung benötigt. Ferner steht der Anbau von Energiepflanzen in Konkurrenz mit dem Anbau von nachwachsenden Rohstoffen für die nichtenergetische Nutzung.

Aus der großen Bandbreite für das angegebene Potential läßt sich erkennen, mit welcher Unsicherheit das Biomassepotential abgeschätzt werden kann. Ein mittlerer Wert von ca. 200 PJ/a für Bayern scheint realistisch zu sein. Zum Vergleich: diese Energiemenge entspricht ca. 55% des gesamten Heizbedarfs für Wohnungen in Bayern von 360 PJ/a.

Technische Situation

Biomasseheizwerke arbeiten bei Wirkungsgraden von rund 56%, die durch mögliche Verbesserungsmaßnahmen auf 66%, für Anlagen mit Rauchgaskondensation auf 76% angehoben werden können. Berechnungen für den Energieaufwand der Biomasseanlieferung ergaben einschließlich Durchforstung, Fällung, Rückung, Transport, Aufbereitung und Lagerung rund 4,5% des unteren Heizwertes für Sägeprodukte und 9 bis 11% für Waldhackgut und Hackschnittel von Energieholzflächen /Oberberger, I., 1995/. In Deutschland nimmt die energetische Biomassenutzung die Spitzenreiterrolle unter den regenerativen Energiequellen ein. Laut /BMWi, 1999/ trugen die sogenannten sonstigen Brennstoffe (Brennholz, Müll, ...) 1998 225 PJ zu dem 300 PJ Beitrag am Primärenergieverbrauch der Erneuerbaren bei. Detailliertere Zahlen aus dem Jahr 1994 weisen für Brennholz einen Beitrag von 47 PJ zum Primärenergieverbrauch aus. Die Anteile für Klärschlamm/Müll und Klärgas liegen bei 123 bzw. 13 PJ. Die Anteile von Biogas und Deponiegas sind nicht in der Statistik erfasst. 1998 waren in Deutschland etwa 600 Biogasanlagen installiert, für das Jahr 1999 wird erwartet, daß die Schwelle von 1000 Anlagen überschritten wird /Stöhr, M., 1999/.

Neuere Techniken der Biomasse-Nutzung wie die Vergasertechnik, bei der die Biomasse durch Wärme in ein brennbares Gas verwandelt und dann in Gasturbinen oder Motoren verbrannt wird, versprechen einen deutlich höheren Wirkungsgrad als in den heutigen Anlagen und eine Erweiterung des Brennstoffspektrums. Hier bestehen noch erhebliche Entwicklungsschritte in Richtung optimierter Vergasungstechnik, Automation und Kontrolle sowie Emissionminderung /Oettel, E., 1997/. Eine solche Anlage zur Biomasseverstromung mit einem Gas und Dampfprozeß (neben der Verbrennung des Gases in einer Gasturbine wird mit der Abwärme ein Dampfprozeß betrieben) erreicht elektrische Wirkungsgrade von etwa 40% /Gericke, B.; Löffler, J.C.; Perkavec, M.A., 1994/.

Die Vergasertechnik verspricht auch eine deutliche Preissenkung.

Die verschiedenen Verfahren zur energetischen Nutzung der Biomasse befinden sich derzeit in verschiedenen Entwicklungsstadien. Techniken zur Verbrennung von Biomasse sind für Anlagengrößen von 20 kW bis 100 MW heute ausgereift. Bei keramischen Gasturbinen im Bereich von 100 bis 500kW, die mit pulverisierten Brennstoff betrieben werden, sind Weiterentwicklungen zu erwarten. Andere Bestrebungen werden dahin gehen, Biomasse in großen Heizzentralen und zum Betrieb von Stirlingmotoren einzusetzen /EUREC, Nov. 1997b/.

Bei den Vergasungstechniken für Biomasse sind Verbesserungen in den Vergasungskapazitäten, den el. Wirkungsgraden, verbesserten Abgasreinigungsmethoden sowie bei der Brennstoffqualität zu erwarten.

Die Pyrolysetechnik (thermische Spaltung von Biomasse unter Luftabschluß und exogener Wärmezufuhr) befindet sich noch weitgehend im Stadium der Forschung. Nebst Arbeiten zur

Optimierung des Pyrolyseprozesses haben laufende Forschungsvorhaben vor allem die geeignete Verfahren zur Veredelung der Pyrolyseöl zum Ziel. Neben dem Wirkungsgrad ist es entscheidend wie weit das Pyrolyseöl vor der Lagerung und Nutzung noch aufbereitet werden muß. Weitere Ziele der Forschung sind u.a. verbessertes Zündverhalten, Mischbarkeit mit fossilen Treibstoffen und Verminderung der Aggressivität /Nussbaumer, T., Juli 1997/. In Schweden wurde im Jahre 1992 ein Biomassekraftwerk errichtet, daß Holzabfälle zunächst pyrolysiert und mit dem Pyrolysegas einen Gas und Dampfprozeß betreibt. Die anfallenden festen Pyrolyserückstände werden zur Bereitstellung der Prozeßwärme verbrannt. Diese Anlage weist einen elektrischen Wirkungsgrad von 32% auf /VDI-Nachrichten 38/98/.

Biochemische Konversionsverfahren (Hydrolyse, Fermentation, Destillation) sind heute kommerziell einsatzfähig. Forschungsarbeiten beschäftigen sich mit dem Einsatz neuer Hefen, Bakterien und Pilze bei der Destillation/Fermentation. An der Entwicklung neuer Hydrolyse- und Fermentationsverfahren, sowie neuer Bioreaktoren und neuer Arten von Mikroorganismen wird derzeit gearbeitet.

Kosten der Biomassenutzung

Heute schon sind die Preise für Wärme und Strom aus Biomasse im Bereich der Wirtschaftlichkeit. Die Kosten für Wärmeerzeugung mit Holz, Stroh und Biogas liegen zwischen 0,02 und 0,26 DM/kWh. Elektrischen Strom aus Holz und Deponie- bzw. Klärgas herzustellen, ist teurer, da der apparative Aufwand höher ist. Je nach eingesetzter Technik liegen hier die Kosten zwischen 0,05 und 0,55 DM/kWh. Die Kosten für die Stromerzeugung in einem mit Pflanzenöl betriebenen BHKW liegen bei etwa 40 Pf/kWh.

Kosten der Biomassenutzung		
Art der Nutzung		
Wärme	Alt-, Rest-, Waldholz	0,02-0,26 - 1)
	Stroh	0,07-0,15 - 2)
	Biogas	0,02-0,13 - 3)
Strom	Alt-, Rest-, Waldholz	0,05-0,55 - 4) 0,41 - 6)
	Deponie- und Klär-gas	0,11-0,27 - 5)
	Pflanzenöl im BHKW	0,40 - 6)

Quellen: 1) /Nussbaumer, T, Juli 1997; MeliB, M. 1998; Teres II, 1996; Eurec, Nov. 1994b/ 2) /Lehmann, H., 1995; Altner et al; 1995/ 3)Lehmann, H. 1995; Altner et al. 1995; Prognos, et al., Dez. 1994; EUREC, Nov. 1994b/ 4) /Nussbaumer, T., Juli 1997; Altner et al., Dez.1994/ 5)Lehmann, H. 1995; Teres II, 1996/ 6) /Stöhr, M., 1999/

Tabelle 8: Kosten der Biomassenutzung.

Auch bei größeren Einzelanlagen sowie kleineren Heiz- oder Heizkraftwerken kann der Brennstoff Holz heute nur in Ausnahmefällen mit den billigen fossilen Alternativen, insbesondere Importkohle konkurrieren /Wiedemann, N., 1997; Weidlich, H.-G., 1997; Kirst, R., 1997; Sontow, J. et al., 1997; Nitsche, R, 1997/. Von besonderer Bedeutung ist darüber hinaus die Bedarfsstruktur der jeweiligen Wärmeversorgungsgebiete. So zeigt beispielsweise die Analyse eines konkreten Kraftwerkstandortes trotz Anfalls größerer Mengen biogener Reststoffe aus der Land- und Forstwirtschaft und gleichzeitiger Existenz eines lokalen Nahwärmenetzes, daß die Kosten des Biomasse-Blockheizkraftwerks 30 DM/MWh teurer sind als diejenigen eines konventionellen Erdgas-BHKW /Hansen, U. et al, 1997/. Grund ist die starke Abhängigkeit der Wärmegestehungskosten von der zu geringen Auslastung der Energieerzeugungsanlage.

Mögliche technologische Entwicklungen

Die verschiedenen Verfahren zur energetischen Nutzung von Biomasse befinden sich derzeit in unterschiedlichen Entwicklungsstadien. Techniken zur Verbrennung von Biomasse sind für Anlagengrößen von 20 kW bis 100 MW heute ausgereift. Technische Weiterentwicklungen sind im Bereich von keramischen Gasturbinen im Leistungsbereich zwischen 100 bis 500 kW zu erwarten, bei denen Biomasse in pulverisierter Form als Brennstoff eingesetzt wird. Andere Bestrebungen werden dahin gehen, Biomasse in großen Heizzentralen und zum Betrieb von Stirlingmotoren einzusetzen.

Die unterschiedlichen Vergasungstechniken für Biomasse finden heutzutage ihren Einsatz bei Motoren und Gasturbinen. Künftige Verbesserungen sind in den Bereichen größerer Vergasungskapazitäten, höherer Wirkungsgrade bei der Stromproduktion, verbesserter Abgasreinigungsmethoden und höherer Brennstoffqualität zu erwarten.

Die Pyrolysetechnik befindet sich noch weitgehend im Stadium der Forschung. Nebst Arbeiten zur Optimierung des Pyrolyseprozesses haben die laufenden Forschungsanstrengungen vor allem geeignete Verfahren zur Veredelung der Pyrolyseöle zum Ziel. Entscheidend für den praktischen Einsatz ist neben dem Wirkungsgrad auch, wieweit das produzierte Pyrolyseöl vor der Lagerung und Nutzung noch aufbereitet werden muß. Weitere Ziele der Forschung sind u.a. besseres Zündverhalten, Mischbarkeit mit fossilen Treibstoffen und Verminderung der Aggressivität /Nussbaumer, T., Juli 1997/.

Biochemische Konversionsverfahren (Hydrolyse, Fermentation, Destillation) sind heute kommerziell einsatzfähig. Forschungsarbeiten beschäftigen sich mit dem Einsatz neuer Hefen, Bakterien und Pilze bei der Destillation/Fermentation. An der Entwicklung neuer Hydrolyse- und Fermentationsverfahren, sowie neuer Bioreaktoren und neuer Arten von Mikroorganismen zur Fermentation wird derzeit gearbeitet.

Eine weitere Entwicklungslinie beschäftigt sich mit der Nutzung der Biomasse für die Her-

stellung von Wasserstoff als zukünftigem Kraftstoff für den Verkehr. Wasserstoff kann aus Biomasse über einen Vergasungsprozeß erzeugt werden. Die dafür notwendige Anlagentechnik befindet sich in der Entwicklung. Wasserstoff als Kraftstoff läßt sich sowohl in Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor wie auch in künftigen Fahrzeugen mit Brennstoffzellenantrieb einsetzen. Diese Entwicklungslinie ist langfristig aussichtsreicher als die Nutzung von Kraftstoffen auf der Basis von Pflanzenölen.

Mögliche zukünftige Kostenentwicklung

Bis zum Jahr 2010 werden für die Wärme- bzw. Stromproduktion aus Biomasse Kostensenkungen zwischen 5% bis 60% angenommen (siehe). Die möglichen Kostensenkungen sind für die einzelnen Techniken sehr unterschiedlich. So werden für C4-Pflanzen und Holz sowie Deponiegas lediglich Kostenreduktionen von 5% bis 15% angenommen /Reetz, T., LTI-Research-Team, Oktober 1995; Teres II, 1996/. Diese Techniken sind weitestgehend ausgereift und lassen deshalb keine signifikanten Preissenkungen mehr erwarten. Größere Kostenreduktionen von 20% bis 60% werden für die Techniken Biogas, flüssige Bio-Brennstoffe, C3- und Energiepflanzen gesehen /Altner; et al., 1995; Teres II, 1996; Reetz, T., LTI-Research-Team, Oktober 1995/. Hierfür sind die oben genannten technologischen Weiterentwicklungen ausschlaggebend.

Art	Brennstoff	Kosteneduktion bis 2010
Wärme	C4-Pflanzen	ca. 5% 1)
	Biogas*	40%-45% 2)
	flüssige Bio-Brennstoffe	20%-60% 3)
	Restholz	10% 3)
Strom	Deponiegas	ca. 15% 3)
	C3-Pflanzen	ca. 40% 1)
	Energiepflanzen	25%-50% 3)

Quellen:1) Reetz, T., LTI-Research-Team, Oktober 1995; 2) Altner; et al., 1995; 3) Teres II, 1996

Tabelle 9: Geschätzte Kostenreduktion für Strom und Wärme aus Biomasse

Solarthermie

Solarthermische Anlagen dienen zur Gewinnung von Wärme aus der solaren Strahlungsenergie. Sie bestehen hauptsächlich aus den Kollektoren zur Absorption der eingestrahlteten Sonnenenergie und einem Speicher. Die erzeugte Wärme dient heute vor allem zur Erwärmung des Brauchwassers. Nicht nur die Kollektorfläche sondern auch die Größe des Speichers entscheidet über den solaren Deckungsgrad der Anlagen. Sinnvollerweise wird eine Anlage zur Zeit so ausgelegt, daß sie 60 % des Warmwasserbedarfs decken kann. Bei diesem Deckungsgrad ist das Verhältnis zwischen Investition und Gewinn an nutzbarer Energie optimal.

Bei Häusern, die einen Niedrigenergiestandard haben, kann auch die Heizung durch thermische Solaranlagen betrieben oder unterstützt werden. Soll hier der Deckungsgrad höher werden, muß die solar gewonnene Energie jedoch saisonal gespeichert werden. Hier stellt sich die Frage, ob ein großer saisonaler Speicher (Erdsondenspeicher, Kavernenspeicher, Aquifer, o.ä.) der ein solares Nahwärmenetz versorgt, günstiger ist als mehrere dezentrale Speicher.

Der Endenergieverbrauch für die Warmwasserbereitung in den Haushalten in Bayern betrug 1997 14,8 TWh /Kaltschmitt, Wiese, 1993/. Soll diese Energie zu 60 % solar gedeckt werden, so wäre bei einem realistischen Ertrag von 300 kWh/m² a eine Kollektorfläche von ca. 30 Mio m² notwendig. Diese Fläche entspricht nur 23 % der von Kaltschmitt ermittelten solar nutzbaren Dachfläche in Bayern. Würde man die von Kaltschmitt ermittelten 127 Mio m² solar nutzbare Dachfläche mit Kollektoren belegen, ergäbe sich mit 300 kWh/m² a Ertrag eine Energie von 38 TWh/a. Dies entspricht ca. 39 % des gesamten Heizenergiebedarfs für Wohnungen in Bayern /BayStMLU, 1999/.

Die größten Produktionsländer auf der Welt sind Israel, die USA und die Türkei. Heute angebotene Anlagen wandeln im allgemeinen 35 bis 45 Prozent der eingestrahlteten Energie in nutzbare Energie um¹.

Österreich zählt zu den Solarkollektor-Eldorados in Europa. Hier waren 1996 1,46 Mio qm Kollektorfläche installiert. Nur das sonnenreiche Griechenland stand zu diesem Zeitpunkt in Europa in seiner Bilanz besser da. Dort waren 1995 ca. 2 Mio qm intalliert, womit ca. 15% der aller Haushalte über eine Solaranlage verfügen. Verglichen mit Zypern und Israel, wo 90% der Haushalte mit einer Solaranlage ausgestattet sind, ist dieser Wert angesichts des Potentials allerdings gering /ESIF, Februar 1997/. Das Geheimnis der hohen Produktionsrate von Österreich liegt in der Selbstorganisation der Alpenbürger. In Österreich haben sich private Interessenten zusammengefunden und produzieren Solaranlagen mit Unterstützung von Verbänden oder Energieberatern im Eigenbau. Dadurch können Preise erzielt werden,

1. BINE : Sonnenenergie zur Warmwasserbereitung: Solaranlagen auf dem Prüfstand; BINE Informationspaket, Verlag TÜV-Rheinland GmbH, Köln 1990

die um 50 bis 70 Prozent unterhalb denen einer industriell hergestellten und gewerblich installierten Anlage liegen/Waldert, H.,1993/². Als Folge dieser »Do it yourself«-Politik ist das Interesse an gewerblich installierten Anlagen im gleichen Maße gestiegen. Waren 1989 bis 1992 noch die Selbstbauanlagen bestimmend, so sind seit 1993 etwa 60 Prozent der Neuinstallationen gewerblich installierte Anlagen. Die Gesamtinstallation pro Jahr ist in der Zeit von 1989 bis 1993, also innerhalb von nur fünf Jahren, von 49 000 Quadratmetern auf 148 000 Quadratmeter gestiegen. Bis 1996 stieg die gesamte installierte Fläche auf 1,46 Mio qm an, die Zuwachsrate betrug zu diesem Zeitpunkt bereits 220.000 qm/Jahr /Eurostat, 1996;ESIF, Februar 1996; AG Erneuerbare Energie, September 1997/.

Eine Umfrage des DFS bei deutschen Herstellern, Importeuren und Exporteuren spiegelt die Entwicklung des Flachkollektor- und Vakuumröhrenkollektormarktes in Deutschland in den letzten Jahren wieder.

Jahr	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Flachkollektoren (m ²)	80.000	110.000	135.000	170.000	238.000	340.000
Vakuumröhrenkollektoren (m ²)	15.000	17.000	20.000	23.000	31.000	40.000
Summe	95.000	127.000	155.000	193.000	269.000	380.000

Quelle: /DFS 3/1998/

Tabelle 10: Jährlich in Deutschland installierte verglaste Kollektoren.

Der Markt der Kunststoffabsorber zur Schwimmbadbeheizung stagniert derzeit, obwohl diese Anlagen die besten Amortisationszeiten aufweisen. Verantwortlich wird dafür die schwierige Finanzlage der Kommunen gemacht. Gute Zuwachsraten weisen allerdings seit einigen Jahren Luftkollektoren auf. Sie werden dort eingebaut wo eine Lüftungsanlage installiert wird, vor allem in Fabrikhallen oder Schwimmbädern, neuerdings aber auch in Niedrigenergiehäuser. 1997 wurden 3700 m² installiert.

Insgesamt waren Ende 1997 1,6 Mio m² verglaste Kollektoren und etwa 500.000 m² Kunststoffabsorber installiert. Aus der Fläche der verglasten Kollektoren errechnet sich eine Erzeugung von etwa 500.000 MWh Nutzenergie pro Jahr, wodurch annähernd 1 Mio MWh Primärenergie eingespart wird. Zusätzlich sparen die Kunststoffabsorber 300.000 MWh Primärenergie ein /DFS 5/1998/.

Trotzdem konnte Österreich 1996 immer noch zehnmal mehr Kollektorfläche pro Einwohner

2. Waldert, H. : Auszug aus dem Buch von Helmut Waldert: "Gründungen" Falter-Verlag, Wien 1992 in Das Solarzeitalter 4/93

aufweisen als Deutschland. Impulsprogramme, wie das vom Bund der Energieverbraucher ins Leben gerufene Phönix-Programm, helfen, den Markt für die Solarthermie auszuweiten.

Für die kommenden Jahre prognostiziert die ESIF (European Solar Industry Federation) ein jährliches Wachstum von 23%, das im Jahr 2005 in Europa zu einer installierten Fläche von 28 Mio qm führen wird. "Allerdings könnten noch deutlich höhere Wachstumsraten erreicht werden, wenn auf nationaler und europäischer Ebene eine stärkere Politik für erneuerbare Energien betrieben würde. Die Solarpolitik der Regierungen variiert stark von Land zu Land und ist ein Faktor, der den Markterfolg oder -mißerfolg der Sonnenenergie maßgeblich beeinflusst"/Stryi-Hipp, G., 4/1998/. Für Deutschland hält der DFS langfristig eine Marktgröße von 10 Mio m² neu zu installierende Kollektorfläche pro Jahr für realistisch. Um diese Zahl zu erreichen, müßte pro Einwohner eine Fläche von 2,5 m² installiert werden, um durch altersbedingte Neuinstallationen diese Marktgröße halten zu können /DFS 5/1998/. Dieses Ziel könnte nach Ansicht des DSF bei eindeutiger und starker Unterstützung durch die Politik bis zum Jahr 2010 erreicht werden. Die durch diesen Markt entstehenden Arbeitsplätze werden mit 50.000 direkten und weiteren 50.000 indirekten Arbeitsplätzen beziffert.

Niedertemperaturkollektoren gelten heute für alle Anwendungsbereiche als ausgereift. Langzeiterfahrungen weisen auf eine Lebensdauer in der Größenordnung von 20 Jahren hin /Peuser, F.A., 1997/. Verbesserte Anlagen der heutigen Generation lassen sogar Lebensdauern von 25 Jahren erwarten. Hierbei sinkt die Effizienz der Anlagen um nicht mehr als 5-10% ab. Dabei bleiben die absorbierenden Schichten entweder völlig stabil, oder verlieren nur 1-3% an Effizienz. Daher konzentriert sich die Entwicklung zur Zeit besonders auf umweltverträgliche Herstellungsprozesse, wie etwa die Vakkumbeschichtungstechnik /Stromthemen, 1997b/. Betriebserfahrungen mit solar unterstützten Nahwärmekonzepten zeigen einen zuverlässigen Anlagenbetrieb und einen solaren Ertrag von 400 kWh/m²(a /Fisch, N; Kübler, R., 1998/

Ein großes neues Feld ist die Unterstützung von Nahwärmesystemen durch solarthermische Anlagen. Damit der Energiebedarf in Bereiche gedrückt wird, der durch solch eine Wärmeversorgung abgedeckt werden kann, müssen die Gebäude, die beheizt werden sollen, mindestens nach dem Niedrigenergiehaus-Standard gebaut sein, mit einer guten Ausrichtung nach der Sonne und entsprechend geformten Dächern, in die die Kollektoren integriert werden können.

Kosten der dezentralen Wärmenutzung

Wie das Öko-Institut in seiner Marktübersicht analysiert, liegen die solaren Wärmekosten für unverglaste Kollektoren zwischen 0,07 und 0,10 DM/kWh /Öko Institut e.V. (Hrsg.), September 1997/. Große Solaranlagen produzieren Warmwasser für 0,13-0,17 DM/kWh. Solare Nahwärme kostet zwischen 0,10 und 0,41 DM/kWh. Kleine Solaranlagen liefern Wärme für Warmwasser für ca. 0,22-0,49 DM/kWh. Die Energiekosten für solare Raumheizungsunter-

stützung liegen zwischen 0,24 und 0,59 DM/kWh (alle Werte für den Standort Freiburg berechnet, Globalstrahlung 1.184 kWh/m²a).

Solare Wärmekosten		
		Solare Wärmekosten in DM/kWh*)
große Solaranlagen	unverglaste Kollektorengroße	0,07-0,10
	WW-Anlagen	0,13-0,17
	Nahwärme mit Kurzzeitspeicher	0,10-0,22
	Nahwärme mit Langzeitspeicher	0,26-0,41
kleine Solaranlagen	BrauchwassererwärmungRaumheizungsunterstützung	0,22-0,49 0,24-0,59

*) Berechnung für den Standort Freiburg (Globalstrahlung 1.184 kWh/m²a) /Öko Institut, 1997/

Tabelle 11: Solare Wärmekosten

Für eine große Solaranlage mit 1000m² werden solare Wärmekosten von 0,075 ECU/kWh (c.a 15 Pf/kWh) angegeben /Fischer, N. Kübler, R., 1998/. Der Grund für die geringeren Wärmekosten großer Anlagen liegt darin, daß Speicher, Pumpen, Rohrleitungen und Armaturen sowie MSR-Technik einen deutlich geringeren Anteil an den Gesamtkosten haben. Somit haben die Kollektoren und die Montage einen Anteil von 80% an den Kosten. Desweiteren lassen sich Großanlagen rationeller montieren und verrohren, und liefern aufgrund geringerer Wärmeverluste im Leistungs und Speichersystem 30-40% mehr Wärme. Die Anlagenverluste liegen bei großen Anlagen bei nur 10% während bei kleinen Anlagen 1,5 m² Kollektorfläche zur Deckung der Verluste benötigt wird.

Typische Werte der Brauchwassererwärmung sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Region	Nordeuropa	Mitteleuropa	Südeuropa
Durchschnittliche Einstrahlung auf die Kollektorfläche (kWh/m ² Tag)	2,4-3,4	3,4-4,4	4,4-5,4
Jährlicher Wärmeertrag der Anlage [kWh/m ² a]	300-450	400-550	500-650
Solaranteil an der Warmwasserbereitung	60%	60%	90%
Kosten (DM/m ²) ¹⁾	784-1960	784-1960	588-1176
Kosten DM/kWh bei 20-jähriger Laufzeit (eigene Berechnung, ohne Berücksichtigung von Zinsen und Reperaturkosten)	0,09-0,32	0,09-0,32	0,05-0,12

1) Umgerechnet aus ECU: 1 ECU=1,96DM /Stryi-Hipp, 4/1998/

Tabelle 12: Typische Werte von Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung in Einfamilienhäusern (südorientierter Kollektor mit einem Neigungswinkel gleich der geographischen Breite)

Die größten Kostenfaktoren bei solaren Brauchwasseranlagen sind die Kollektoren mit 36%, der Speicher mit 25% und die Montagekosten in der Höhe von 21% der Gesamtkosten. Bei Anlagen zur solaren Raumheizungsunterstützung ist das Kollektorfeld mit 44% der mit Abstand größte Kostenfaktor. Die Speichergruppe und die Montagekosten verursachen zusammen ca. 43% der Gesamtinvestitionskosten /Öko-Institut e.V. (Hrsg.), 1997/.

Kostenreduktion

Bis zum Jahre 2020 werden Kostenreduktionen von 30-60% geschätzt /Altner et al.,1995; Andrew, A, 1995; Kommission der europäischen Gemeinschaften, Nov. 1997/. Gründe hierfür werden in modernen Produktionsmethoden mit Massenfertigung angepasster Produkte, verringerten Marketingkosten durch gut organisierte Vertriebsnetze und öffentliche Informationskampagnen durch staatliche Agenturen und verringerten Installationskosten durch besser aufeinander abgestimmte Gesamtsysteme und gut ausgebildete Monteure gesehen. /Fischer, N; Kübler, R., 1998/ weisen auf die Entwicklung von Kollektorfertigdächern hin, die durch verringerte Montagezeiten Kostenreduktionen von 20-30% bewirken können. Die Solarkollektoranlagenbranche geht davon aus, daß in ca. 10 Jahren die Kosten im Bereich der konventionellen Wärmebereitstellung bei 5-10 Pf/kWh liegen werden /Stör, M., 1999/.

Solare Architektur

Sonnengerechtes Bauen, d. h. die direkte oder indirekte Nutzung der Sonnenstrahlung zur Reduktion der Heizungs- und Lüftungsenergie, ist im Neubau am leichtesten realisierbar. Entsprechendes Fachwissen und den gemeinsamen Wunsch von Bauherren, Architekten und Planern vorausgesetzt (sogenanntes Integrales Planen) müßte sonnengerechte Architektur hier längst Standard sein /Michael, K., 1997; Weiblen, R.-D., 1997; Voss, K., 1997a/. Die Realisierung von "Niedrigenergiehäusern" mit einem Heizbedarf von weniger als 40 kWh/ m² und Jahr ist aber heute für praktisch alle Gebäudetypen ohne übermäßigen zusätzlichen Aufwand an Investitionsmitteln erreichbar.

Will man heute ein Wohnhaus, Reihenhaus oder Mehrfamilienhaus bauen, das mit der Hälfte der nach der deutschen Wärmeschutz-Verordnung erlaubten Heizenergie pro Quadratmeter auskommt, dann kosten die wärmetechnischen Änderungen und die passiv-solaren Elemente nur zwei bis fünf Prozent der Bausumme zusätzlich. Es gibt allerdings auch realisierte Beispiele, von Häusern aller Art, die ohne Zusatzkosten einen derart niedrigen Energieverbrauch, durch passive Solarenergienutzung und Dämmung, erreicht haben. Der Energieverbrauch von Gewerbegebäuden läßt sich sogar oft ohne irgendwelche Zusatzkosten erheblich verringern.

Der Altbaubestand weist demgegenüber mit ca. 220 kWh/m² und Jahr im Schnitt noch erheblich höhere Einsparpotentiale auf /Discher, H., 1997/. Zur Erschließung dieser Potentiale können an erster Stelle Wärmedämmmaßnahmen ergriffen werden, wobei in jüngster Zeit vermehrt das Augenmerk auf ökologisch verträglich hergestellte und rezyklierbare Materialien gelegt wird. Im Fensterbau hält die fast revolutionäre Entwicklung an: Die Fenstersysteme erreichen Wärmedurchgangskoeffizienten in der gleichen Größenordnung wie herkömmliches Mauerwerk, lassen aber dennoch den überwiegenden Teil der Sonnenstrahlung als Wärmequelle im Winter ins Innere des Hauses. Zusammen mit den erheblich fortgeschrittenen Wärmedämmmaßnahmen, z.B. auch in Form der transparenten Wärmedämmung, lassen sich damit auch im Altbaubestand Niedrigenergiehaus - Standards erreichen /Voss, K., 1997b; Platzer, W., 1997/. Bei der Sanierung von Gebäuden ist es sehr schwer, Kosten anzugeben. Diese hängen von dem Bauzustand und unter anderem von der Lage und Einbindung des Gebäudes ins Umfeld ab.

Schaut man sich den Energieverbrauch von Gebäuden an, die nach den Prinzipien der passiven Solarenergienutzung gestaltet worden sind, und vergleicht ihn mit dem konventioneller Bauten, dann wird das enorme Potential sichtbar, das in dieser »Energiequelle« steckt. Wie groß der Anteil des Energiebedarfs ist, der mit der Sonne gedeckt werden kann, hängt nicht nur von der Qualität des architektonischen Entwurfs ab, sondern auch von Haustyp und regionalem Klima.

Im Rahmen des Monitor-Projektes der Europäischen Gemeinschaft sind unterschiedliche

Haustypen in Europa untersucht worden. Nach dieser Studie deckt bereits heute in den bestehenden Häusern die Sonne 10 bis 15,5 Prozent des Energiebedarfs. Der EG-Studie läßt sich entnehmen, daß Mehrfamilienhäuser im Durchschnitt weitere 30 Prozent ihres Energiebedarfs durch passive Nutzung der Sonnenenergie decken können; in südlichen Breiten Europas können auch Werte um 70 Prozent erreicht werden, und in nördlichen Breiten sind Lösungen untersucht worden, die weitere 40 Prozent Energiegewinn bringen. Bei Einzelgebäuden ermittelte die Studie sogar einen möglichen Sonnenenergiebeitrag von im Durchschnitt mehr als 35 Prozent, in südlichen Gebieten bis zu 60 Prozent.

Die Enquête-Kommission des Deutschen Bundestages »Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre« hat ebenfalls untersucht, wieviel Energie durch wärmetechnische Verbesserungen und eine Bauweise nach den Prinzipien der passiven Solarenergienutzung gespart werden kann. Ihr Ergebnis: Altbauten können bei geeigneter Sanierung siebzig bis neunzig Prozent weniger Heizenergie verbrauchen als heute, und Neubauten, wenn sie entsprechend entworfen und gebaut werden, siebzig bis achtzig Prozent weniger. Voraussetzung dafür sind ein erheblich besserer Wärmeschutz, kontrollierte Lüftung und optimierte Heizungsanlagen. Wenn langfristig in größerem Umfang transparente Wärmedämmung eingesetzt wird, können die Einsparungen bis auf neunzig Prozent angehoben werden. Diese Zahlen werden auch durch andere Studien bestätigt (siehe hierzu auch EUROSOLAR - "Das Potential der Sonnenenergie in in der EU", Bonn 1994) .

Einige bemerkenswerte Aspekte fallen bei Betrachtung der verschiedenen realisierten Solarbauten auf: daß der Prozentsatz, zu dem der Energiebedarf durch die Sonnenenergie gedeckt werden kann, nicht von der geographischen Lage abhängt, daß die erreichten Deckungsgrade auch bei Neubauten sehr stark streuen und daß selbst der Energieverbrauch gleicher Gebäude an einem Ort sehr unterschiedlich sein kann. Berücksichtigt man die Tatsache, daß es inzwischen in verschiedenen Ländern mit unterschiedlichen klimatischen Bedingungen einige »Nullenergiehäuser« gibt, so drängt sich der Schluß auf, daß der Beitrag, den die Sonne zur Deckung des Energiebedarfs in heute gebauten oder sanierten Gebäuden leisten kann, im wesentlichen von vier Parametern abhängt: von der Qualität und Konsequenz der Umsetzung der Prinzipien solarer Architektur, vom Verhalten der Bewohner, vom Standort der Häuser (Städte, Land) und von den Kosten.

Nach dem heutigen Stand der Technik kann eine Reihe von Gebäuden vollständig mit Solarenergie versorgt werden. Durch die Kombination von wärmetechnischen Maßnahmen und passiv-solaren Entwurfsprinzipien kann der Energiebedarf so weit gesenkt werden, daß Anlagen zur aktiven Nutzung der Sonnenenergie wie Sonnenkollektoren und Biomasse-befeuerte Heizwerke, Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen oder Wärmepumpen die energetische Lücke schließen können. Bei ungünstigen Standorten muß mittels einer guten Isolierung die durch aktive Anlagen benötigte Wärmemenge minimiert werden. In verschiedenen Regionen Europas, insbesondere in den südlichen Ländern aber auch im Norden, wie das Nullenergiehaus in Freiburg zeigt, kann in vielen Fällen auf eine aktive Energieversorgung ganz verzich-

tet werden. In südlichen Ländern kann ein noch benötigter Kühlaufwand auch mittels erneuerbarer Energien geleistet werden, zum Beispiel durch Absorptionskühlsysteme und Wärmepumpen.

Das solche „Solarsiedlungen“ auch zu vernünftigen Preisen erstellbar sind, zeigt besonders das „50 Solarsiedlungen“ Projekt des Landes NRW, wo zu Marktpreisen im Neubau solare Architektur, effiziente Energietechnologien und erneuerbare Energietechniken Siedlungen schaffen, die sich in hohem Maße aus erneuerbaren Energiequellen versorgen.

Auf Länderebene kann die Einführung von solarer Architektur mit sehr vielen Maßnahmen gefördert werden. Seien es Demonstrationsvorhaben, Fortbildung, Aufklärung als auch die Anpassung der Bauverordnungen und Gesetze an die Notwendigkeiten der solaren Architektur. Letztlich kann die öffentliche Hand bei allen eigenen Neubauten und bei allen Modernisierungen beispielhafte Eigeninitiativen durchführen.

Wasserkraft

Wasserkraft ist die am meisten genutzte regenerative Energiequelle in Bayern. Die Leistung eines Wasserkraftwerkes wird bestimmt von der Fallhöhe des Wassers und der Durchflußmenge. Aus diesem Grund hat Bayern das größte Potential an Wasserkraft in Deutschland. In Bayern werden ca. 15,5 % des Stroms durch Wasserkraft in rund 4260 Anlagen erzeugt (Stand 1997). Diese ca. 11,8 TWh/a werden zu 90% in den 216 großen Kraftwerken produziert.

Als große Kraftwerke werden von der bayerischen Staatsregierung Anlagen mit mehr als 1 MW Ausbauleistung bezeichnet. Fast die Hälfte der kleinen Anlagen (< 1MW) nutzt den erzeugten Strom hauptsächlich für den Eigenbedarf.

Seit 1926 hat sich die Zahl der Anlagen von 11.900 auf 4.260 (Stand 1994) reduziert. Die mittlere Leistung der Kraftwerke nahm dabei von 52 kW auf 667 kW zu (P. Brecht, Bay StM-LU in [3]).

Heute befindet sich die Wasserkraftnutzung im Zielkonflikt zwischen Ökonomie und Ökologie. Von den Fischerei- und Naturschutzverbänden werden größere Restwassermengen gefordert, um das biologische Gleichgewicht der Bäche und Flüsse zu schützen bzw. wiederherzustellen. Von den Kraftwerksbetreibern werden geringere Restwassermengen und längere Bewilligungszeiten für Kraftwerke gefordert, um den wirtschaftlichen Betrieb der Kraftwerke zu sichern. 1920 wurden Kraftwerke noch für 100 Jahre bewilligt, während heute die öffentlich rechtliche Genehmigungen nach Wasserhaushaltsgesetz für maximal 30 Jahre und weniger gegeben werden. Voraussetzung für die öffentlich rechtliche Genehmigung ist aber oftmals die privatrechtliche Einigung (Gründerwerb im Staubereich, Entschädigung der Betroffenen). Diese ist, da kein öffentliches Interesse abgeleitet werden kann, nur im Einvernehmen mit den Betroffenen möglich und daher oftmals sehr schwierig.

Potential in Bayern

Das Wasserkraftpotential in Bayern beträgt nach Kaltschmitt [5] 13,6 TWh/a bzw. nach Zeller [4] 16,2 TWh/a. Das sind 115% bzw. 137 % des bisher ausgebauten Potentials von 11,8 TWh/a. Das bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen führte 1995 eine Untersuchung über das mögliche Wasserkraftpotential durch. Ohne Prüfung der gesamtökologischen Vertretbarkeit im Einzelfall kam es zu einem weiteren Ausbaupotential von etwa 10% der bereits vorhandenen Jahresarbeit (technisches Potential, ggf. wirtschaftlich vertretbar). In Tabelle 13 ist dieses Potential im Einzelnen aufgeschlüsselt. Unter Modernisierung versteht man die Verbesserung des Wirkungsgrades im wesentlichen durch Erneuerung von Turbinen und Generatoren und die Umrüstung auf einen 24-h-Betrieb kleiner Anlagen, die bisher nur für den Eigenbedarf betrieben wurden. Die Nachrüstung umfasst die ökologisch umstrittenen Punkte der Erhöhung des Durchflusses und der Fallhöhen. Von

den vielen stillgelegten Anlagen kommen ca. 1470 für eine Reaktivierung in Betracht. Für den Neubau großer Anlagen (> 1MW) wurden nur Standorte betrachtet für die es bereits Untersuchungen oder Planungen gibt und bei denen sich bereits eine Stauanlage befindet. Diese Standorte sind in Tabelle 14 aufgelistet.

Schließt man die ökologisch umstrittenen Punkte Neubau und Nachrüstung aus, so verbleibt in Bayern ein noch nutzbares Wasserkraftpotential von ca. 621 GWh Jahresarbeit (entspricht ca. 0,8% der jährlichen bayerischen Stromproduktion). Da Flüsse und Bäche wichtige Lebensadern unserer Landschaft sind, sollte der weitere Ausbau der Wasserkraft in Bayern nur dort erfolgen, wo dies gegenüber dem Naturschutz vertretbar ist.

Potentialart	GWh/a	in %
Modernisierung		
Wirkungsgrad		
Große Anlagen	375	28
Kleine Anlagen	41	3
Umrüstung		
Große Anlagen	--	--
Kleine Anlagen	100	8
Reaktivierung ca.1470 Anlagen	105	8
Neubau		
Große Anlagen	635	48
Kleine Anlagen	18	1
Nachrüstung		
Große Anlagen	31	2
Kleine Anlagen	21	2
Summe	1326	100

Tabelle 13: Wasserkraftpotential in Bayern [3]

Neubau großer Anlagen	Gewässer	Leistung MW	Arbeit GWh/a
Lechsend	Donau	7,9	48
Neustadt	Donau	18,0	112
Bad Abbach	Donau	3,5	21
Waltendorf (u.V.)	Donau	8,4	52
Osterhofen	Donau	31,2	203
Illerwehr, km 17,0	Iller	1,6	11
Siebnach	Wertach	1,5	6
Hiltensfingen	Wertach	1,2	5
Sandau	Lech	6,9	35
Kissingen	Lech	11,9	57
Siebenbrunn	Lech	11,5	59
Hammerauerwehr	Saalach	1,5	5
Bruch-Hausmoning	Saalach	3,0	12
Saalachmündung	Saalach	1,7	9
Gesamt		109,8	635

Tabelle 14: Möglicher Neubau großer Wasserkraftwerke [2]

Kosten der Wasserenergie

Die Kosten eines Wasserkraftwerks hängen in der Bundesrepublik außerordentlich stark von Standort und Anlagentyp ab. Die Preise für den erzeugten Strom bewegen sich zwischen 2 und 7 Pfennig für die Kilowattstunde bei Großanlagen, deren hohe Baukosten von 3000-6000 DM/kW sich durch die lange Lebensdauer amortisieren, und zwischen 10 und 20 Pfennig bei Kleinanlagen /Dumont U., 1997; Brown, A. (Hrsg.), 1997/, die höhere Investitionskosten pro installierter Leistung aufweisen. (Bei Kleinanlagen sind auch Preise von einer Mark oder mehr je Kilowattstunde Strom möglich. Wenn alte Mühlen, Wehre oder Wasserkraftanlagen renoviert werden, die in der Vergangenheit stillgelegt worden sind, können auch Kleinwasserkraftwerke zu Preisen bis hinunter zu zehn Pfennigen arbeiten.) Eine Wasserkraftanlage kann 50 bis 100 und mehr Jahre wirtschaftlich lohnend betrieben werden (ökonomische Lebensdauer) /Moreira, J.R. et al., 1993³. Eine detaillierte Studie zu den Kosten der Stromerzeugung ergab für Anlagen in der Größenordnung 100-5000 kW Investitionskosten

sten zwischen 13.000 und 35.000 DM/kW bei Neubau, 10.000-26.000 DM/kW bei Reaktivierung und 4000-10.000 DM/kW bei Modernisierung alter Anlagen /Wasserkraft&Energie 1/1995/.

Anlagengröße (kW)	Regelkosten (DM/kW)	Kostenspanne (DM/kW)
Neubau		
0-100	25.000	17.000-35.000
100-500	18.000	15.000-25.000
500-5000	15.000	13.000-20.000
Reaktivierung		
0-100	19.000	13.000-26.000
100-500	14.000	11.000-19.000
500-5000	11.000	10.000-15.000
Modernisierung		
0-100	7000	5000-10.000
100-500	5000	4000-7000
500-5000	4000	4000-6000

Quelle: /Wasserkraft&Energie 1/1995/

Tabelle 15: Investitionskosten für Wasserkraftwerke der Größe 100-5000 kW

Bei einer Bewilligungsdauer der Kraftwerke von 60 Jahren errechnet die Studie je nach Anlage Stromerzeugungskosten von 17-40 Pf/kWh. Diese Kosten sind detailliert in der folgenden Tabelle aufgeführt.

-
- Moreira, J. R. und Poole, A. D.: Hydropower and its constraints, in Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity; Erathscan Publication Ltd, London 1993

Art der Anlage	Stromerzeugungskosten (DM/kWh)
100 kW, Neubau, günstige Lage Investitionskosten 18.000 DM/kW	0,40
100 kW, reaktiviert, günstige Lage Investitionskosten 13.000 DM/kW	0,30
100 kW, modernisiert, günstige Lage Investitionskosten 6000 DM/kW	0,20
selbe Anlage mit 30% Investitionszuschuß	0,18
5000 kW, modernisiert Investitionskosten 5000 kW/DM	0,17

Tabelle 16: Stromerzeugungskosten von Wasserkraftwerken

Eine weitere Quelle beziffert die Stromerzeugungskosten für kleine Wasserkraftwerke mit 17-25 Pf/kWh /Energiewirtschaftliche Briefe Nr.9, 1/89/

Literatur

[1]Bay. Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie: Erneuerbare Energien in Bayern;RB-Nr. 07/96/19

[2]Bay. Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie: Mit neuer Energie in die Zukunft; RBNr:0797/25

[3]Fließgewässerschutz, Wasserkraftnutzung, Zielkonflikt in der Umweltpolitik? Berichte vom Symposium am 23./24.4.1998 in München; Veranstalter: Landesfischereiverband Bayern e.V., Bund Naturschutz in Bayern e.V., Landesbund für Vogelschutz in Bayern e.V.

[4]Info von H.Lehmann

[5]Kaltschmitt M., Wiese A.; Erneuerbare Energieträger in Deutschland; Springer Verlag 1993

[6]Bayerische Landeskraftwerke, Herr Prem, Regensburg, mündliche Mitteilungen

Windenergie

Wie die Wasserkraft, so ist auch Windenergie eine Form der Sonnenenergie. Die Energie der Sonnenstrahlen erwärmt die Erdoberfläche. Doch das geschieht sehr ungleichmäßig. Wasserflächen können enorme Mengen Wärme speichern und langsam wieder abgeben, Eis reflektiert den größten Teil der Energie sofort wieder, Wald und Wiesen, Ackerboden, Sand oder Fels: Sie alle haben ein sehr unterschiedliches thermisches Verhalten. So entstehen auf der Erdoberfläche Zonen mit unterschiedlichen Temperaturen und Luftdrücken. Diese großräumigen Druckunterschiede erzeugen Kräfte, die auf einen Druckausgleich drängen, und setzen dadurch die Luft in Bewegung.

Die Gesamtleistung des Windes auf der Erde liegt bei 4,3 Petawatt /Melichow, P., 1974/⁴. (Ein Petawatt sind eine Million mal Milliarden Watt oder eine Million Gigawatt.) Von dieser Energie ist allerdings nur ein kleiner Teil in Bodennähe technisch verwendbar. Durch Reibung mit der Landschaft und dem Bodenbewuchs wird das Potential vermindert; der Wind wird gebremst und abgeschwächt, und zwar über Land stärker als an der Küste oder über der See.

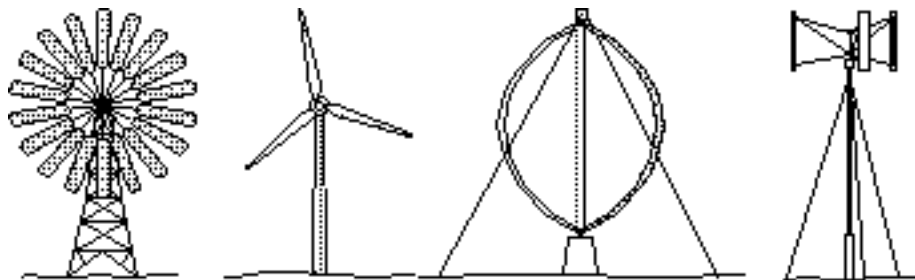


Bild 3: Schema Generatoren

Windkraftanlagen wandeln die Strömung von Luft in mechanische Kraft oder Strom um. Das machen sie mit Hilfe eines Rotors, der sich entweder, bei den wohl bekannteren Anlagentypen, um eine waagerechte Achse dreht oder um eine senkrechte. Diese Rotoren funktionieren entweder nach dem Prinzip der Widerstandläufer oder bei Rotoren mit Profilen nach dem Auftriebsprinzip. Die Anordnung der Rotorachse ist das Unterscheidungsmerkmal für die heute gebauten Windkraftanlagen. Zum Erzeugen von elektrischer Energie werden heute fast ausschließlich Horizontalachser mit drei Flügeln eingesetzt.

In der EU wird in der Forschung und Entwicklung großer Wert auf Windkraftanlagen mit hoher Leistung – mehr als 1000 Kilowatt – gelegt /International Energy Agency/⁵. Grund ist die

4. Melichow, P. : Energie von der Sonne; Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart, Dezember 1974

5. International Energy Association Large Scale Wind Energy : Annual Report, national Energy Administration, S.-11787 Stockholm, Sweden

hohe Bevölkerungsdichte in Europa, die es schwer macht, geeignete Aufstellflächen zu finden. Diese geeigneten Aufstellflächen sollen dadurch optimal genutzt werden. Ein Ausweg wäre die Offshore-Montage, also das Aufstellen von Windkraftanlagen in flachen Gewässern vor den Küsten. Die größten heute kommerziell verfügbaren Windkraftanlagen haben eine Spitzenleistung von mehr als 1,5 MW. Ein Anbieter bietet bereits eine Anlage mit einer Spitzenleistung von 2,5 MW an /IWR-1,2000/⁶. Die Zusammensetzung des deutschen Windkraftanlagenmarktes mit unterschiedlichen Anlagengrößen hat sich in den letzten Jahren stark zu großen Anlagengrößen hin entwickelt /ISET 1999/. Ob die neuen Anlagen der Megawattklasse die Anlagen unter 1 MW wiederum ablösen werden, oder ob sich ein kontinuierliches Nebeneinander einstellt, bleibt abzuwarten.

Ob die Einheitsleistung tatsächlich weiter erhöht wird, hängt vom Erfolg der Ein-Megawatt-Klasse ab. Experten erwarten allerdings bis zum Jahr 2050 einen Anstieg der Leistungsobergrenze auf drei bis fünf Megawatt pro Anlage, bei einem Rotordurchmesser von 100 Metern /Molly, J.-P.,1993/⁷. Die Aufstellorte der neuen Windkraftanlagen veränderten sich in Deutschland von Küstenstandorten kontinuierlich zu Binnenlandstandorten hin. Wurden 1987 noch über 90% der neuinstallierten Anlagen in Bundesländern mit Küstenanschluß installiert, ist dieser Anteil bis 1996 auf c.a. 66% gesunken. 1996 wurden ca. 21% der Anlagen in den Tiefebene und ca. 13% in den Mittelgebirgsländern installiert /ISET, 1999/.

Das vom ISET in Kassel durchgeführte Meß- und Evaluierungsprogramm zum "250 MW-Winddemonstrationsprogramm" des BMBF weist nach, daß Windkraftanlagen nur selten Störungen zeigen /Donnerbauer, R. 1997; ISET, 1997; Durstewitz, M., 1997; Sonnenenergie und Wärmetechnik, 1997c/. Angesichts der Tatsache, daß die überwiegende Zahl gerade im mittleren und oberen Leistungsbereich (600 bis 1000 kW) erst wenige Jahre im Betrieb sind, kann über das Langzeitverhalten von WEA nur spekuliert werden.

Für die zukünftige Entwicklung werden Verbesserungen im aerodynamischen Design und in der Regelungstechnik zu Effizienzsteigerungen beitragen. Die durchschnittliche Turmhöhe wird sich erhöhen, um die besseren Windverhältnisse in größeren Höhen zu nutzen. Verbesserungen an Generatoren, Getrieben und Netzanschlüssen werden nur in geringem Umfang erwartet, da sie bereits heute einen hohen technischen Standard besitzen. Das gleiche gilt auch für die Verfügbarkeit der Anlagen. Reduzierungen der Lärmemissionen werden gegenwärtig mit Erfolg durchgeführt.

Ein besonderes Problem beim Upscaling der Anlagen ist die Tatsache, daß dabei die Masse von Gondel und Rotor überproportional zunimmt. Hier liegt eine besondere Herausforderung

-
6. Internationales Wirtschaftsforum an der Universität Münster, Wind Top-News im Internet, 8.2.2000, www.iwr.de
 7. Molly, J.-P. : Öffentliche Anhörung zum Thema Erneuerbare Energien: der Weg zu einer nachhaltigen und klimaverträglichen Energieversorgung; Enquête-Kommission des Deutschen Bundestages Schutz der Erdatmosphäre, Oktober 1993

an die Entwicklungsingenieure, die von dem Dutzend Konkurrenten auf dem Markt unterschiedlich angegangen wird. Ohne eine solche Reduktion werden sich nennenswerte Kostendegressionen bei den MW-Anlagen nicht realisieren lassen /Rehfeldt, K. und Schwenk, B.; 1997/

Windenergieentwicklung weltweit und in Europa

Bevor nun näher auf die Entwicklung der Windenergie in Deutschland und speziell in Bayern eingegangen wird, wird nachfolgend in einem kurzen Abriß die weltweite und europäische Entwicklung der Windenergie dargestellt. Insbesondere wird dabei auf ihre zukünftige energiepolitische Rolle eingegangen. Die Daten und Einschätzungen stützen sich im wesentlichen auf die beiden Literaturquellen /EWEA, 1999/⁸ und /BWE-NE, 2000/⁹.

Status

Die weltweite Windbranche boomt wie nie zuvor, über die letzten 6-7 Jahre betragen die mittleren Zuwachsraten ca. 40%.

Der Schwerpunkt dieser dynamischen Entwicklung liegt in Europa, hier insbesondere in Deutschland, Spanien und mit Abstrichen in Dänemark. Aber auch in den USA kommt die Windenergienutzung nach langen Jahren der Stagnation durch bessere wirtschaftliche Rahmenbedingungen wieder in Schwung, und in vielen Entwicklungsländern incl. Indien, China und Südamerika hat eine starke Zubaudynamik eingesetzt.

Bis Ende 1999 sind mittlerweile mehr als 13.500 MW Windleistung in 38 Ländern weltweit installiert. Die genaue Verteilung kann man der nachfolgenden Tabelle entnehmen.

-
8. Windforce 10, a blueprint to achieve 10% of the worlds electricity form windpower by 2020, erstellt von BTM Consult, Ringkøbing, Dänemark i.A. vom EWEA, London, Forum for Energy and Development, Dänemark und Greenpeace International, London
 9. New Energy, magazine for renewable energies, No.1/January 2000, herausgegeben vom Bundesverband Windenergie, Osnabrück

Land	Installierte Leistung Ende 1999 (MW)	Installierte Leistung Ende 1998 (MW)	Installierte Leistung Ende 1997 (MW)	Zuwachsrate in 1999 (%)	Installierte Leistung pro Einwohner (W/capita)
Deutschland	4443	2875	2081	54,5	54
USA	2706	1820	1673	48,7	10
Dänemark	1761	1448	1148	21,6	334
Spanien	1225	707	512	46,9	31
Indien	1062	968	940	9,7	1,1
Niederlande	411	361	319	13,9	26
Großbritannien	353	333	319	6	6
Italien	283	154	103	57,2	5
China	261	214	166	22,0	0,2
Schweden	215	165	122	23,6	24
Kanada	125	82	25	52,4	4
Griechenland	82	39	29	110,3	8
Irland	73	73	53	0	20
Japan	68	40	18	70,0	0,5
Portugal	60	60	38	0	6
Costa Rica	46	26	20	76,9	13
Österreich	42	30	20	42,1	5
Finnland	38	17	12	118,4	7
Ägypten	35	5	5	600	0,6
Neuseeland	35	5	4	600	9
Brasilien	25	17	3	47,1	0,2
Frankreich	22	19	10	15,8	0,4
Australien	17	17	11	0	1
Argentinien	13	12	9	8,3	0,4
Norwegen	13	9	4	40,0	3
Tschechien	12	7	7	71,4	1
Iran	11	11	11	0	0,2
Luxemburg	10	9	2	11,1	24
Belgien	9	6	4	50,0	1
Türkei	9	9	0	0	0,1
Israel	8	6	6	33,3	1
Polen	7	5	2	40,0	0,2
Südkorea	7	2	2	250	0,2
Russland	5	5	5	0	0,03
Ukraine	5	5	5	0	0,10
Mexico	3	3	2	0	0,03
Sri Lanka	3	0	0		0,2
Schweiz	3	3	3	0	0,42
Summe	13506	9729	7693	38,8	

Tabelle 17: Weltweit installierte Windkraftanlagen /BWE-NE, 2000/

Windressourcen und zukünftiger Bedarf an Elektrizität

Laut /EWEA, 1999/ beträgt das weltweite technische Windstrompotential ca. 53.000 TWh/Jahr; dies ist viermal mehr als der gesamte weltweite Stromverbrauch in 1998. Man sieht also, daß das technische Potential keinen limitierenden Faktor darstellt. Ehrgeizige Ziele wie z.B. 10% Windstromanteil in 2020 erscheinen durchaus realistisch, selbst unter der Prämisse, daß sich die weltweite Stromnachfrage bis 2020 verdoppelt (entspricht einer weltweit installierten Leistung von ca. 1,2 Mio MW (!)).

Insbesondere für Europa wird erwartet, daß im Offshore-Bereich bereits in den nächsten Jahren große Kapazitäten erschlossen werden, die zu einem 20%-igen Anteil am europäischen Stromverbrauch in 2020 führen können. Dabei werden keine Probleme bei der Aufnahmefähigkeit des elektrischen Netzes gesehen; Dänemark z.B. hat konkrete Pläne, bis 2030 50% des Strombedarfs per Windenergie bereitzustellen.

Interessant sind in diesem Zusammenhang auch noch die wirtschafts-, arbeitsmarkt- und umweltpolitischen Zahlen für das weltweite 10%-Szenario bis 2020. Für dessen Umsetzung werden in /EWEA, 1999/ folgende Zahlen genannt:

Ausgehend von einem jährlichen Investitionsbedarf von ca. 3 Mrd. US\$ in 1999 wird dieser bis 2020 auf einen Maximalwert von 78 Mrd. US\$ ansteigen. Parallel dazu wird erwartet, daß sich die mittleren Stromgestehungskosten im Vergleich zu heute fast halbieren werden, was im wesentlichen durch den Preisverfall bei den Anschaffungskosten für die Windkraftanlagen verursacht wird.

Im Bereich Arbeitsplätze werden 1,7 Mio zusätzliche Arbeitsplätze abgeschätzt.

Der Beitrag zum Klimaschutz resultiert bis 2020 in einer jährlichen Einsparung von ca. 1.800 Millionen CO₂; dies entspricht ungefähr dem zweifachen der jetzigen jährlichen CO₂-Gesamtemission in Deutschland.

Fazit

Das weltweite technische Windstrompotential ist groß genug, um den gesamten weltweiten Stromverbrauch, der in Zukunft noch stark steigen wird, zu decken. Mit den richtigen politischen Rahmenbedingungen läßt sich eine überaus dynamische Entwicklung in Gang setzen (Paradebeispiel ist hier Deutschland), die einen riesigen Markt für diese Technologie schafft und zu niedrigen Stromgestehungskosten, hoher Klimaschutzeffizienz und positiven Arbeitplatzeffekten führt.

Windenergieentwicklung in Deutschland

Wie schon oben erwähnt, ist das Zugpferd des rasanten Wachstumskurses der weltweiten Windenergienutzung eindeutig Deutschland. Wie man der Pressemitteilung vom 12.2.2000 des Internationalen Wirtschaftsforums an der Universität Münster, das für das BMWi die offiziellen Windenergiezahlen für die nationalen Energiestatistiken errechnet, entnehmen kann /IWR-2, 2000/¹⁰, stieg der Umsatz auf dem Inlandsmarkt von 2 Mrd. DM in 1998 auf ein neues Rekordniveau von knapp 4 Mrd. DM in 1999 an.

Insgesamt wurden in 1999 knapp 1.700 neue Anlagen (ca. 1.000 in 1998) mit einer Leistung von rund 1.600 MW (ca. 780 MW in 1998) errichtet. Die Gesamtzahl aller Anlagen belief sich zum 31.12.1999 auf knapp 7.900, die installierte Leistung erreichte einen Wert von knapp über 4.400 MW.

Die Windstromproduktion stieg in 1999 um rund 28% im Vergleich zu 1998 auf ca. 5,9 Mrd. kWh an. Für das Jahr 2000 wird laut IWR eine weitere Steigerung auf ca. 9 Mrd. kWh erwartet. Dies entspricht dann ca. 2% des bundesdeutschen Nettostromverbrauches. Die Entwicklung der Windenergienutzung in Deutschland ist in den nachfolgenden Abbildung zusammengefaßt.

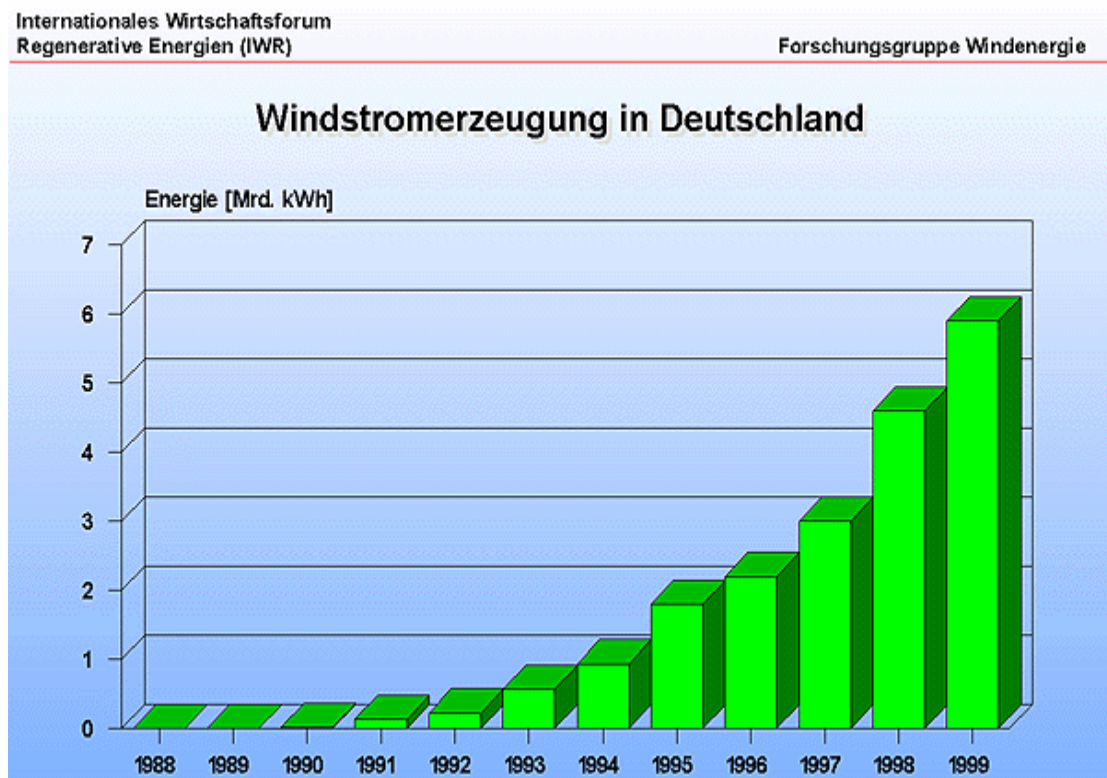


Bild 4: Entwicklung der Windstromerzeugung in Deutschland

10. Internationales Wirtschaftsforum an der Universität Münster, Pressemitteilung vom 12.2.2000

Triebkraft dieser Entwicklung in Deutschland waren vor allem das Stromeinspeisegesetz, das die Netzbetreiber verpflichtet, für Strom aus erneuerbaren Energiequellen eine höhere Einspeisevergütung zu zahlen, in Verbindung mit verschiedenen Landesförderprogrammen, dem 250-Megawatt-Demonstrationsprogramm des BMBF und der baurechtlichen Privilegierung von Windkraftanlagen im Außenbereich, die seit Mitte 1997 in Kraft ist.

In Deutschland sind dadurch direkt (Herstellung, etc.) und indirekt (Planung, Errichtung, Betrieb, Service, Finanzierung, Versicherung, etc.) rund 15.000 Arbeitsplätze entstanden /BWE, 1999/.

Durch das aktuell am 25.2.200 vom deutschen Bundestag „runderneuerte“ Stromeinspeisegesetz (jetzt: Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)) wird sich diese Entwicklung in Deutschland weiter fortsetzen, wenn nicht sogar noch beschleunigen. Gründe hierfür sind, daß das neue Gesetz die zunehmende Verlagerung der Bauaktivitäten ins Binnenland durch eine das Binnenland begünstigende Einspeisevergütung stabilisiert, durch eine degressive Festpreisregelung Planungssicherheit (die Banken akzeptieren wieder wesentlich niedrigere Eigenkapitalanteile) und Marktanreize schafft und erstmals auch (mit gewissen Einschränkungen) Energieversorgungsunternehmen ermöglicht, die Mindestpreisregelung in Anspruch zu nehmen.

Windenergieressourcen in Deutschland

Die Stromerzeugungspotentiale durch Windenergie wurden für Deutschland im Rahmen verschiedener Studien relativ verlässlich abgeschätzt. Ohne Nutzung des Offshore-Potentials reichen die Angaben bis deutlich über 120 TWh/a /Enquete, 1990/¹¹, /Kaltschmitt, 1997/¹². Im Jahr 1994 ist in einer Arbeitsgruppe des Bundesministeriums für Wirtschaft ein Potential von 83 TWh/a ermittelt worden. In einer aktuellen Arbeit der technischen Universität Berlin /Quaschnig, 1999/¹³, in der das Problem der benötigten Speicherkapazitäten bei einer vollständigen Deckung des bundesdeutschen Stromverbrauchs aus regenerativen Quellen untersucht wird, wird ein bis 2050 realisierbares (also technisches abzüglich Restriktionen) Stromerzeugungspotential aus Windenergie von ca. 164 TWh (incl. Offshore-Nutzung) abgeschätzt. Dabei verteilen sich die Potentiale wie folgt auf die einzelnen Regionen:

11. Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre des 11. Deutschen Bundestages (Hrsg.): Schutz der Erdatmosphäre, Economica-Verlag, 1990

12. Kaltschmitt, M. und Wiese, A. (Hrsg.): Erneuerbare Energieträger in Deutschland, Potentiale und Kosten; 2. Auflage, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 1997

13. Quaschnig, V. und Hanitsch R., TU Berlin, Institut für elektrische Energietechnik: Klimaschutz beim Wort genommen, Sonnenenergie & Wärmetechnik, Ausgabe 5/99

Region	Leistung [GW]	Stromerzeugungspotential [TWh/a]
Binnenland	31,8	46,4
Bergland	5,9	8,9
Offshore	23,6	78,6
Küstenland	3,3	8,6
Küstennahland	12,5	21,4
Summe	77	164

Tabelle 18: Verteilung des Windstromerzeugungspotentials

Die weitaus größten Potentiale liegen in den Küstenländern Schleswig-Holstein, Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern. Vor allem in Schleswig-Holstein und Niedersachsen werden diese Potentiale zügig erschlossen. So wird z.B. das energiepolitische Ziel Schleswig-Holsteins, seinen Strombedarf bis zum Jahr 2010 zu etwa 20 Prozent aus Windenergie decken, nach Schätzungen des Deutschen Windenergieinstituts /DEWI, 1999/¹⁴, /DEWI, 2000/¹⁵ bereits im Jahr 2001 erreicht werden. In Niedersachsen ist das Ausbauziel „bis 2005 1000 MW“ bereits im Jahr 1999 deutlich übertroffen worden (Stand 31.12.1999: 1204 MW).

Eine Untersuchung des Deutschen Windenergie Instituts (DEWI) kommt sogar zu noch höheren Potentialen als die oben genannten Studien. Allein in zehn Landkreisen des Küstengebietes von Niedersachsen wurde schon eine installierbare Leistung von zwölf bis vierzehn GW ermittelt /DEWI, 1993/¹⁶. Auch diese Studie berücksichtigt einschränkende Kriterien wie Abstände zum Siedlungsraum und Verkehrswege oder andere nicht nutzbare Bereiche (militärische Anlagen, Waldgebiete, Deiche, Naturschutzgebiete usw.).

Der Unterschied zwischen den Ergebnissen der beiden Studien veranschaulicht, daß um so größere Potentiale ermittelt werden, je enger die räumlichen Grenzen der Untersuchung gezogen sind, da klimatische und andere Bedingungen genauer analysiert werden können. Genau dieser Effekt tritt auch bei der Abschätzung des Windpotentials in Bayern ein. Wir werden darauf noch unten im Details eingehen.

14. Rehfeldt, K.: Windnergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland – Stand: 31.12.1998 - DEWI Magazin Nr, 14, Zeitschrift des Deutschen Windenergie-Instituts, Wilhelmshaven, Februar 1999

15. Deutsches Windenergie-Institut (DEWI), Wilhelmshaven, Press Release 14.01.2000

16. Gerdes, G. und Pahlke, T. : Wind- und Flächenpotentialstudie für die Niedersächsische Küste; DEWI Magazin Nr, 3, Zeitschrift des Deutschen Windenergie-Instituts, Wilhelmshaven, August 1993

Fazit

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die Windenergie in Deutschland langfristig einen bedeutenden Beitrag (größer 20%) zur Stromerzeugung in Deutschland leisten kann. Das aktuell vom Gesetzgeber verabschiedete EEG bildet eine gute Basis für eine zügige Erschließung dieser Potentiale.

Windenergieressourcen in Bayern

Wie bereits oben erwähnt, werden die Küstenländer, aber auch windhöfliche Binnenländer wie z.B. Nordrhein-Westfalen und Sachsen-Anhalt den Hauptbeitrag des Stromerzeugungspotentials durch Windenergie liefern. Die Abschätzung des technischen Potentials in Bayern fußt auf einer aktuellen Arbeit des Bundesverbandes Windenergie, Landesvertretung Bayern zurück /BWE-LVBy, 1999/¹⁷.

Ausgangspunkt der Betrachtungen ist der Bayerische Solar- und Windatlas, herausgegeben vom BStMWVT. In diesem Windatlas werden für verschiedene Höhen (10 m, 30 m und 50 m) die mittleren Windgeschwindigkeiten angegeben. Eine Auswertung dieses Daten liefert folgende Flächenanteile der einzelnen Windklassen:

Mittlere Windgeschwindigkeit in 50 m Höhe (m/s)	Flächenanteil in Prozent
2,6 - 3,0	3,9
3,0 - 3,4	20,9
3,4 - 3,8	36,5
3,8 - 4,2	21,8
4,2 - 4,7	9,3
4,7 - 5,2	3,4
5,2 - 5,7	1,1
5,7 - 6,2	0,6
6,2 - 7,2	0,7
>7,2	1,1

Tabelle 19: Flächenanteile der verschiedenen Windklassen laut Bayerischer Windatlas

17. Guttenberger J., Niebauer, P., Bundesverband Windenergie, Landesvertretung Bayern: Positionspapier zur Integration der Windenergie in das bestehende Förderprogramm „Bayerisches Programm zur verstärkten Nutzung erneuerbarer Energien“, Mai 1999

Mittlerweile liegen aber zahlreiche Messungen an WKA-Standorten vor, die darauf hinweisen, daß die Karten im Bayerischen Solar- und Windatlas in vielen windhöffigen Bereichen die Windgeschwindigkeit unterschätzen. Eine Stichprobe von 17 Meßergebnissen aus ganz Bayern ergibt eine mittlere Differenz zwischen Messung und Obergrenze der im Windatlas angegebenen Windklasse von 0,58 m/s, bei einem Minimum von -0,2 und Maximum von 1,2 m/s in 50 m Höhe (siehe Abb.2). Ein Grund dafür liegt wohl darin, daß das statistische Windfeldmodell des DWD auf Stationen aufbaut, die überwiegend in bebauten Gebieten mit abwechselnder Umgebung aus Gärten und Siedlungen liegen, in den Hügelländern und Mittelgebirgen noch dazu meistens in den Tälern.

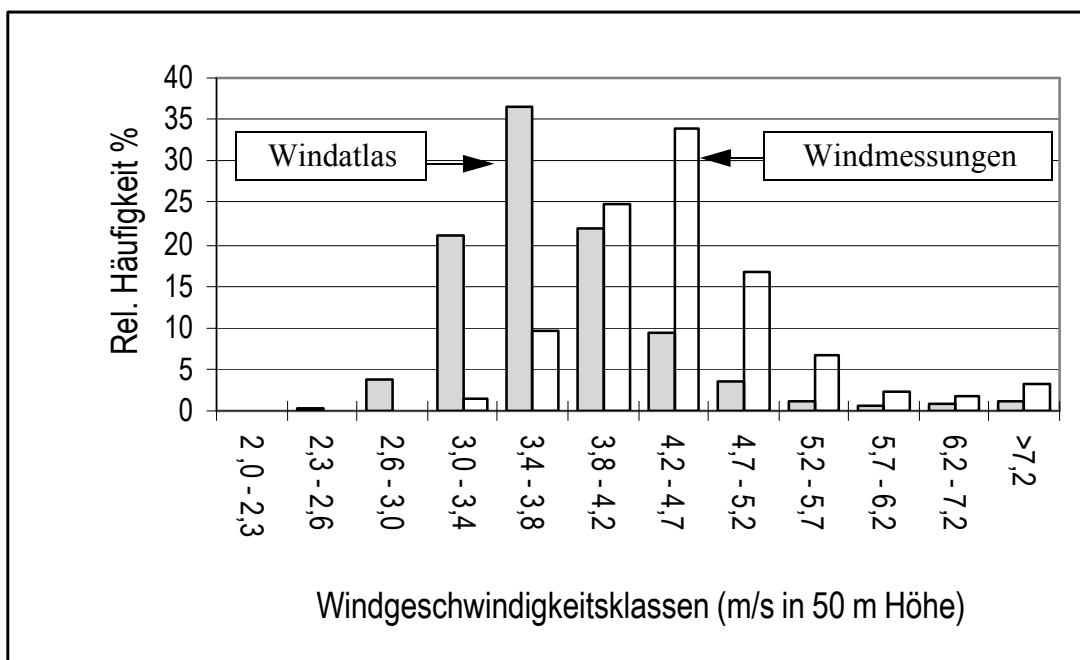


Bild 5: Relative Häufigkeiten der Windgeschwindigkeitsklassen im Bayerischen Windatlas versus Stichprobe Windmessungen

Windkraftstandorte finden sich dagegen im hochgelegenen Freiland, das relativ offen ist und in dem die Strömung nicht durch Vegetation und Gebäude beeinflusst wird. Die gefundenen statistischen Zusammenhänge ergeben somit vor allem für Siedlungsgebiete zutreffende Windgeschwindigkeiten. Eine Übertragung auf das Freiland bedeutet aber eine Extrapolation über den Definitionsbereich des statistischen Grunddatenkollektivs hinaus. Die strömungsdynamischen Vorgänge auf der freien Fläche bleiben bei einer rein statistischen Behandlung unberücksichtigt. Es stellt sich hier nämlich eine ungehinderte Strömung ein, die nicht durch Wirbelbildung im Umfeld von Bäumen oder Gebäuden gestört wird. Eine ähnlich ungestörte Strömung findet man erst wieder über den Siedlungsgebieten bzw. Waldflächen. Von daher kann das Verfahren nicht in jedem Fall zutreffende Ergebnisse liefern.

Wie aus Bild 5 ersichtlich, verschiebt sich der Schwerpunkt der Verteilung von 3,4 - 3,8 m/s auf 4,2 - 4,7 m/s. Dies ergibt eine neue Flächenverteilung, wie sie in der nachfolgenden Tabelle dargestellt ist.

Mittlere Windgeschwindigkeit in 50 m Höhe (m/s)	Aus Messungen abgeschätzter Flächenanteil	
	in qkm	in Prozent
2,6 - 3,0	42	0,1
3,0 - 3,4	1091	1,5
3,4 - 3,8	6717	9,5
3,8 - 4,2	17464	24,8
4,2 - 4,7	23768	33,7
4,7 - 5,2	11655	16,5
5,2 - 5,7	4704	6,7
5,7 - 6,2	1652	2,3
6,2 - 7,2	1180	1,7
>7,2	2182	3,1

Tabelle 20: Schätzung der Flächenverteilung der verschiedenen Windklassen aus der Stichprobe Windmessungen

Geht man – analog zum ZREU-Gutachten, in dem im Auftrag der bayerischen Staatsregierung ein offizieller Kriterienkatalog für die Windenergienutzung in Bayern erarbeitet wurde /ZREU, 1997/¹⁸ – davon aus, daß Gebiete mit einer Windgeschwindigkeit ab 4,7 m/s in 50 m Höhe für die Windenergienutzung geeignet sind, so steigt deren Anteil von ca. 7 % im Windatlas auf ca. 30 % (siehe Tabellen 3 und 4). Alleine der Bereich 4,7-5,7 m/s hat jetzt einen Anteil von ca. 23 % (entspricht ca. 16.500 qkm).

Unter Berücksichtigung weiterer Restriktionen (nur Anteil Äcker/Wiesen ohne NSG, Naturparks, etc.) reduziert sich die nutzbare Fläche der Windklassen 4,7-5,7 m/s auf ca. 5.500 qkm bzw. 550.000 ha.

Auf dieser Fläche könnten theoretisch (technisches Potential), wenn man den in /ZREU, 1997/ errechneten Flächenbedarf von ca. 25 ha pro 1,5 MW-Anlage ansetzt, ca. 20.000 1,5

18. Zentrum für rationelle Energieanwendung und Umwelt GmbH, Regensburg, Planungsbüro Dr. Schaller, Kranzberg: Rahmenbedingungen für eine natur- und landschaftsgerechte, koordinierte und effiziente Nutzung des Windenergiepotentials in Bayern, Studie im Auftrag des BtMWVT, 1997

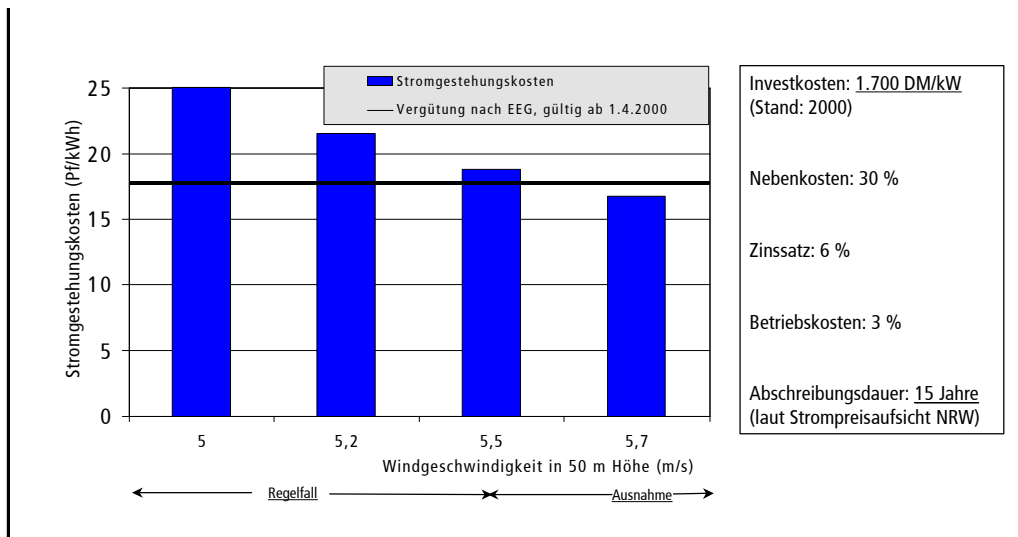
Megawatt-Anlagen mit einer Gesamtjahresproduktion von ca. 45 Milliarden kWh errichtet werden.

Würde man nun z.B. ca. 10 % dieser Flächen tatsächlich nutzen (dies wäre ein vernünftiges Langfristziel), so könnte man in Bayern mit ca. 2.000 großen Megawatt-Anlagen ca. 4,5 Milliarden kWh Strom erzeugen. Dies entspricht ca. 7 % des Netto-Stromverbrauches in Bayern.

Wir möchten an dieser Stelle nochmals ausdrücklich betonen, daß die hier vorgestellte Abschätzung lediglich den bereits in Norddeutschland und anderen Binnenländern festgestellten Trend, daß um so größere Potentiale ermittelt werden, je enger die räumlichen Grenzen der Untersuchung gezogen sind, bestätigt. Es darf lediglich als sicher angesehen werden, daß die Werte aus dem Windatlas die untere Grenze, die Werte der Stichprobe die obere Grenze des technisch Machbaren darstellen. Für eine genauere Bestimmung des Windpotentials wären unserer Meinung nach weitere detailliertere Untersuchungen notwendig, die möglichst vollständig die verfügbaren Daten aus dem Betrieb von Windkraftwerken und seriösen Windmessungen berücksichtigen.

Wirtschaftlichkeit von Windkraftwerken in Bayern

Die Wirtschaftlichkeit in Abhängigkeit von den in Bayern am häufigsten auftretenden Windklassen ist in den beiden Bildern 6 und 7 dargestellt. In die Berechnungen flossen folgende Annahmen ein:



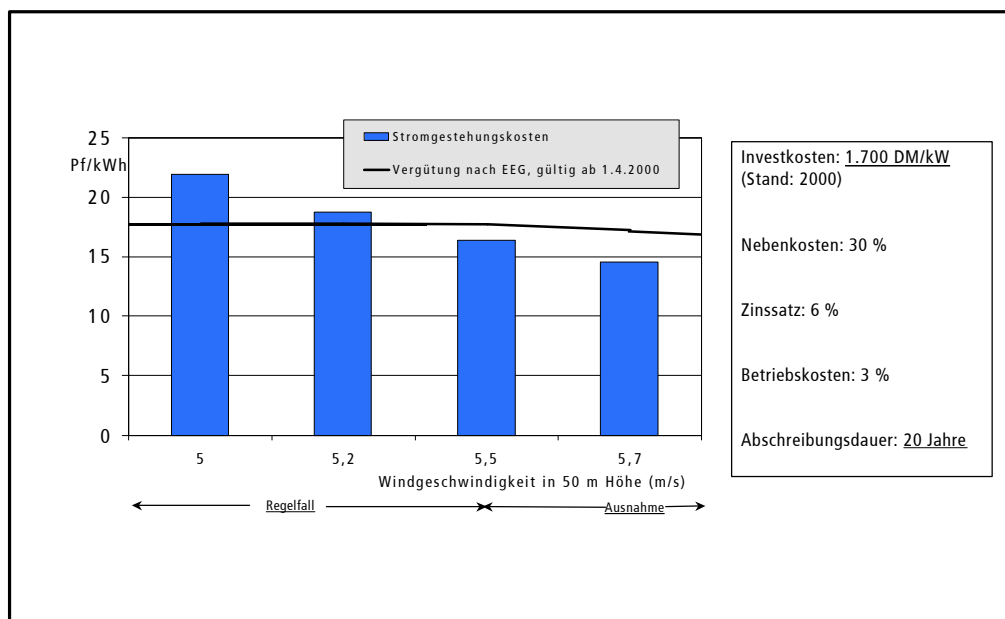
Quelle: BWE, LV Bayern, eigene Berechnungen

Bild 6: Wirtschaftlichkeit von Windkraftwerken in Bayern (15 Jahre Abschreibung)

- Die verwendeten Zahlen für Investkosten, Nebenkosten und Betriebskosten wurden aus den Kostenkalkulationen des Instituts für Solare Energieversorgungstechnik

(ISET e.V.), GHS Kassel übernommen /ISET, 1999/¹⁹. Das ISET betreut das „250 MW Wind“ Programm des BMBF und verfügt wohl über die verlässlichste Datenbasis bei Windkraftanlagen.

- Der Zinssatz errechnet sich wie folgt: 50 % Eigenkapital (Verzinsung 6,5 %, angemessene Verzinsung laut Strompreisaufsicht NRW) und 50 % Fremdkapital (Verzinsung 5,5 %, bedingt durch die günstigen Kreditprogramme des Bundes).
- Die Abschreibungsdauer von 15 Jahren wurde ebenfalls von der Strompreisaufsicht NRW übernommen (siehe Bild 6). Zum Vergleich wurde auch noch die Variante mit Abschreibungsdauer 20 Jahre dargestellt (siehe Bild 7).



Quelle: BWE, LV Bayern, eigene Berechnungen

Bild 7: Wirtschaftlichkeit von Windkraftwerken in Bayern (20 Jahre Abschreibung)

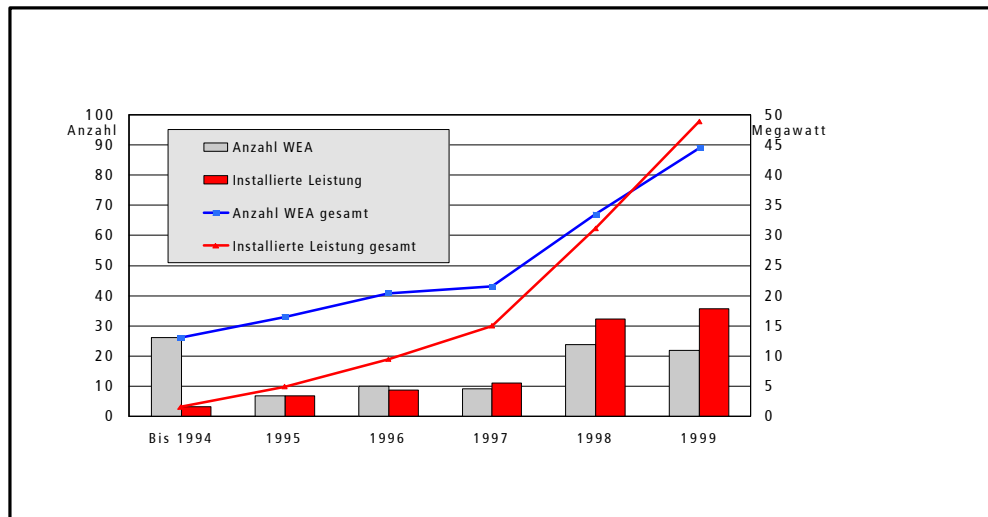
Fazit

Nur an Standorten mit einer mittleren Windgeschwindigkeit von mehr als 5,5 m/s in 50 m Höhe, die in Bayern die Ausnahme darstellen, lassen sich Windkraftwerke wirtschaftlich im Sinne der oben genannten Annahmen betreiben. Um einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlagen zu erzielen, sind die bayerischen Windmüller gezwungen, über längere Zeiträume (20 Jahre und mehr) zu kalkulieren. Dies erhöht natürlich das Risiko von unvorhersehbaren Schadensfällen mit entsprechenden Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit.

19. Institut für solare Energieversorgungssysteme (ISET) an der GHS Kassel: Renewable Energy Information System on Internet (REISI), http://reisi.iset.uni-kassel.de/reisi_de.html

Stand der Windenergienutzung in Bayern

Trotz der immer noch schwierigen Verhältnisse in den Bereichen Wirtschaftlichkeit und Planungssicherheit in Bayern (Stichwort: sehr restriktive Regionalplanung in einigen Bezirken Bayerns /Neuer Tag, 1998/²⁰) kam es im Vergleich zu den vorhergehenden Jahren in 1998 und 1999 doch zu einem deutlichen Anstieg der installierten Leistung (siehe Bild 8).



Quelle: DEWI-Magazine 1996-2000

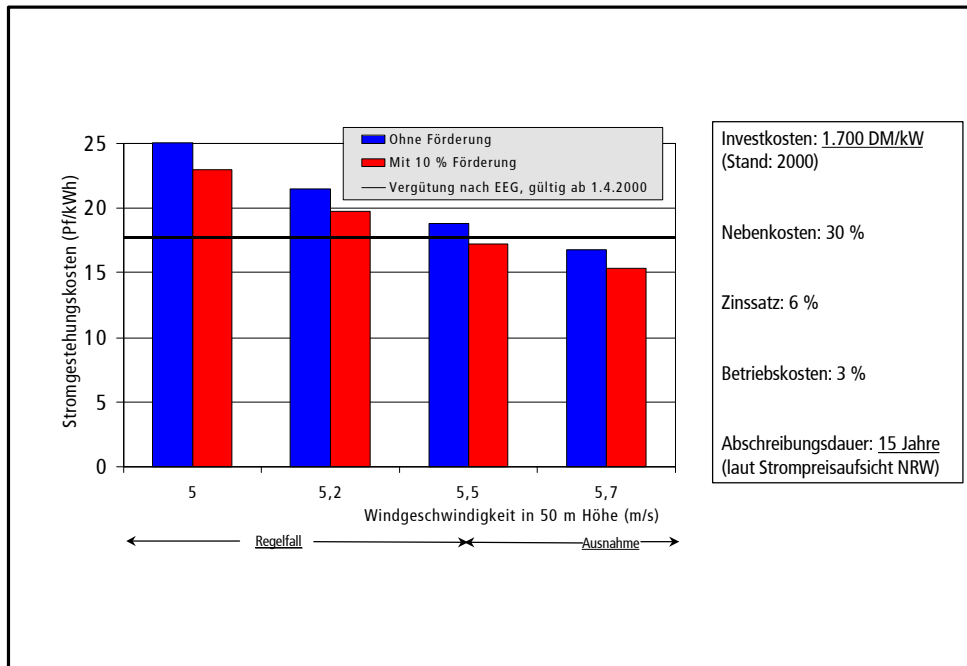
Bild 8: Entwicklung der Windenergienutzung in Bayern (Stand 31.12.1999)

Zum 31.12.1999 sind in Bayern insgesamt 89 Windkraftanlagen mit einer Gesamtleistung von ca. 49 MW am Netz. Dabei kann eindeutig ein Trend zu großen Anlagen (>1 MW) beobachtet werden.

Allerdings hat sich in Bayern aufgrund einer fehlenden Breitenförderung die Windenergienutzung bei weitem nicht so dynamisch entwickelt, wie dies in anderen vergleichbaren Bundesländern wie z.B. Nordrhein-Westfalen der Fall war. In Bayern fehlen bis heute wirksame flankierende Maßnahmen, die eine breitere Erschließung des doch beachtlichen Windpotentials ermöglichen würden.

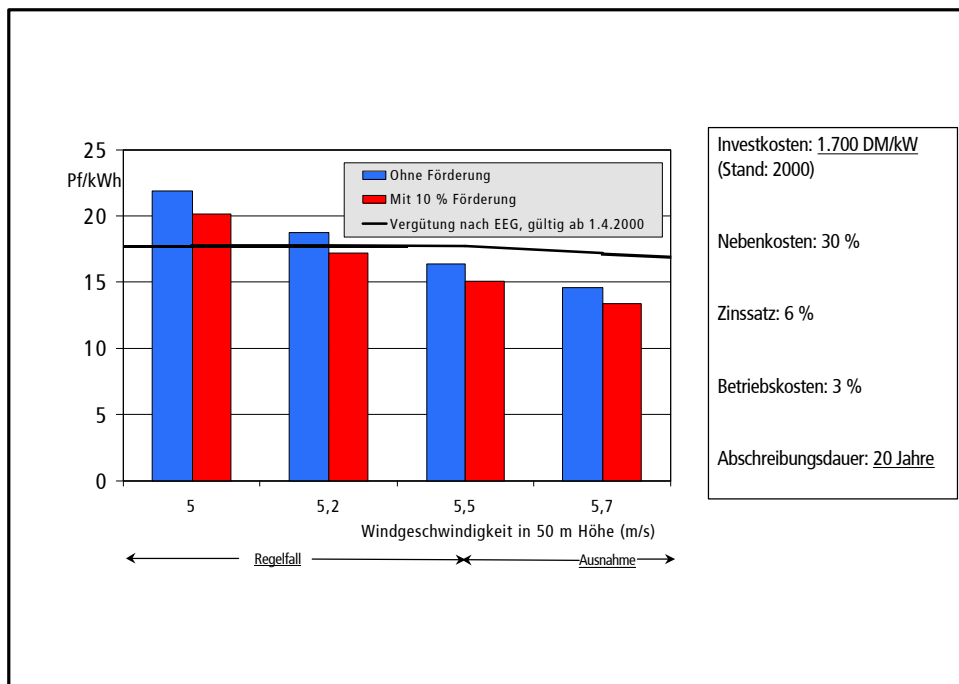
So hat z.B. die Landesvertretung Bayern des Bundesverbandes Windenergie vor einem Jahr vorgeschlagen, die Windenergie in Bayern für einen befristeten Zeitraum von ca. 5 Jahren in das bestehende Breitenförderprogramm für erneuerbare Energien aufzunehmen /BWE-LVBy, 1999/. Die Effekte einer solchen Breitenförderung mittels Investitionszuschüsse sind in den Bildern 9 bis 12 dargestellt. Wie man Bild 9 und 10 entnehmen kann, könnte man bei heutigen Investkosten mit einem Investitionszuschuß von z.B. 10 %, abhängig von der Abschrei-

20. Tageszeitung Neuer Tag, Weiden i.d.Opf: Viel Wind um wenig Windflächen, 20.7.1998



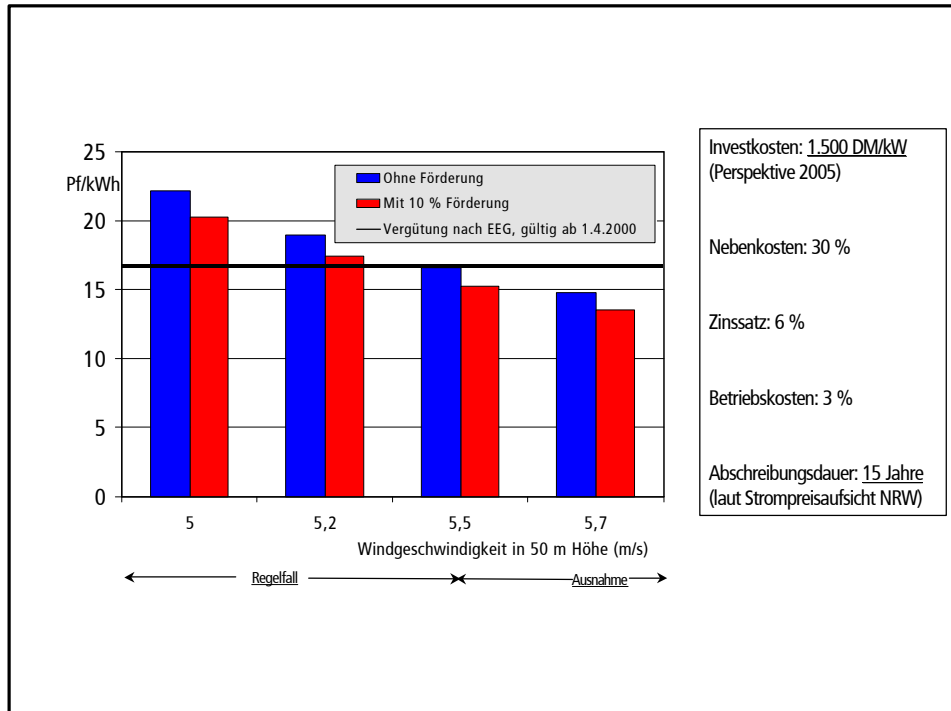
Quelle: BWE, LV Bayern, eigene Berechnungen

Bild 9: Wirtschaftlichkeit von Windkraftwerken in Bayern (15 Jahre Abschreibung)



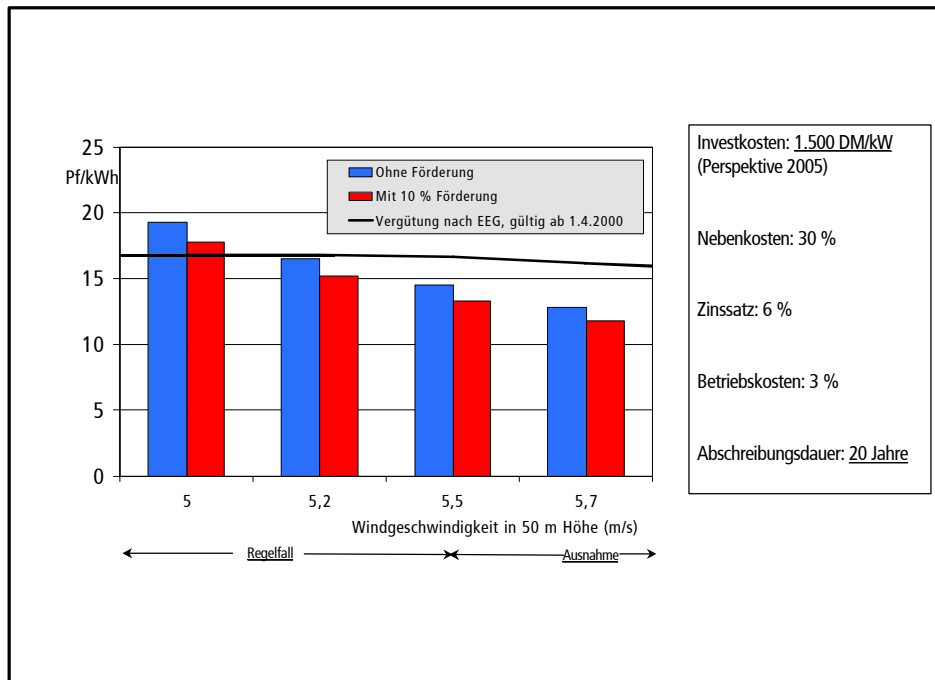
Quelle: BWE, LV Bayern, eigene Berechnungen

Bild 10: Wirtschaftlichkeit von Windkraftwerken in Bayern (20 Jahre Abschreibung)



Quelle: BWE, LV Bayern, eigene Berechnungen

Bild 11: Wirtschaftlichkeit von Windkraftwerken in Bayern (15 Jahre Abschreibung)



Quelle: BWE, LV Bayern, eigene Berechnungen

Bild 12: Wirtschaftlichkeit von Windkraftwerken in Bayern (20 Jahre Abschreibung)

bungsdauer, bereits Standorte mit einer mittleren Windgeschwindigkeit zwischen 5,2 m/s und 5,5 m/s in 50 m Höhe wirtschaftlich erschließen. Solche Standorte gibt es schon wesentlich häufiger in Bayern.

Das ISET rechnet für die kommenden Jahren aufgrund höherer Stückzahlen, Automatisierung der Fertigung, etc. mit einer weiteren Reduktion der Investkosten in Höhe von 10-20 %. Diese Entwicklung würde die Etablierung der Windenergie in Bayern begünstigen, so daß man davon ausgehen kann, daß nach einer zeitlich begrenzten Investförderung bis ca. 2005 gute Chancen bestehen, daß sich Windkraftwerke in Bayern an vielen Standorten ab ca. 5,0 m/s in 50 m Höhe wirtschaftlich betreiben lassen (siehe Bild 11 und 12).

Fazit

Sicherlich ist ein Breitenförderprogramm nur eine Variante der Einführung einer zukunfts-trächtigen Technologie in den Markt, es sollte auf alle Fälle über ein ganzes Maßnahmen-bündel nachgedacht werden. Fest steht jedoch, daß auch die Windenergie in Bayern langfristig einen angemessenen Beitrag zum Klimaschutz und zur Luftreinhaltung leisten kann. Diese Chance sollte genützt werden. Neben diesen positiven Umwelteffekten hat die Windenergienutzung in Bayern weitere Vorteile, die wir abschließend auf einen Blick darstel-len möchten:

Sicherung und Ausbau von Arbeitsplätzen bei mittelständischen, bayerischen Unternehmen

Betroffen sind die folgenden Bereiche:

- Zulieferer wie z.B. Pfeleiderer, Neumarkt und Heilit&Wörner, München (Turmbau), Alstom Sachsenwerk, Regensburg (Transformatoren, Mittelspannungsanlagen), Siemens, Bad Neustadt und Loher, Ruhstorf (Generatoren), gusstec, Weiherhammer (Gußteile), FAG Kugelfischer, Schweinfurt (Lager), etc.
- Durchführung von Infrastrukturmaßnahmen (Fundamentbau, Zuwegungen, Netzanschluß, etc.)
- Planung, Vertrieb, Wartung, Instandhaltung, etc.

Wertschöpfung vor Ort:

Ca. 40-50 % des jährlichen Investitionsvolumens gehen direkt oder indirekt an bayerische Unternehmen . Bei 50 MW geförderter Nennleistung pro Jahr wären dies ca. 50 bis 60 Mil-lionen DM pro Jahr, die direkt an bayerische Zulieferer fließen würden.

Stärkung des ländlichen Raumes

Dies geschieht beispielsweise durch:

- Stärkung der Landwirtschaft durch Pachteinnahmen, Beteiligung an bzw. Eigenbetrieb von Windkraftwerken, etc.
- Stärkung der Finanzkraft ländlicher Kommunen durch Ansiedlung neuer, innovativer Unternehmen (Gewerbeertragssteuer-Einnahmen etc.)

Beachtlicher Beitrag zum Schutz der Erdatmosphäre

Pro MW installierter Leistung werden ca. 1.400 t CO₂ pro Jahr vermieden; bei einem mittel- bis langfristigen Ausbauziel von 2.000-3.000 MW kann die Windenergie in Bayern den CO₂-Ausstoß der bayerischen Stromerzeugung um 15-20 % reduzieren.

Nutzung einer einheimischen Energiequelle

Dadurch Verminderung der Abhängigkeit vom Importen.

Volkswirtschaftliche Vorteile insgesamt

Durch die Vermeidung von Luftschadstoffen und Treibhausgasen.

Photovoltaik

Photovoltaik ist die direkte Umwandlung der solaren Strahlungsenergie in Strom. Dabei dient nicht nur die direkte Strahlung, sondern auch die diffuse Strahlung zur Stromproduktion. Die mittlere jährliche Globalstrahlung (diffuse und direkte Strahlung) beträgt in Bayern zwischen 950 (Nordbayern) und 1 200 kWh (Südbayern) pro Quadratmeter und Jahr. Auf die Fläche von Bayern werden im Jahr in etwa 74 550 TWh = 268 380 PJ eingestrahlt. Das ist ungefähr das 100-fache des jährlichen bayerischen Primärenergieverbrauchs von 2 008 PJ. Es gilt, dieses Energiepotential durch die Nutzung geeigneter Flächen für die Photovoltaik zu erschließen.

Technisches Erzeugungspotential in Bayern

Um eine weitere Versiegelung der Landschaft zu vermeiden, sollten für die Nutzung nur Dach- und Fassadenflächen, sowie Flächen von Lärmschutzwänden und ähnliches in Betracht kommen. In Tabelle 21 sind verschiedene Werte für das technische Erzeugungspotential der Photovoltaik in Deutschland und in Bayern zusammengestellt. Vollständigkeitshalber ist auch die Nutzung von Freiflächen aufgeführt. Werte die mit * bezeichnet sind, stellen eigene Abschätzungen dar. Diese Werte berechnen sich aus dem Potential für Deutschland multipliziert mit dem Faktor 0,18. Der Faktor 0,18 wurde gewählt, da Bayern 15 % der Bevölkerung und 20 % der Fläche von Deutschland umfaßt. Damit wurde das Potential pro Einwohner etwas höher geschätzt als im Bundesdurchschnitt. Aufgrund der Siedlungsstruktur in Bayern scheint diese grobe Abschätzung gerechtfertigt. Bei der Berechnung der Potentiale in kWh/a wurden von den Autoren unterschiedliche Annahmen gemacht, so daß die unterschiedlichen Potentiale nicht unbedingt aus unterschiedlichen Abschätzungen der zur Verfügung stehenden Flächen stammen, sondern daraus, daß unterschiedliche Modulwirkungsgrade, Systemwirkungsgrade oder z.B. auch eine verbesserte Flächenausnutzung durch eine optimierte Modulverschaltung angenommen wurden.

Mit heutigen PV-Standardanlagen können in etwa 80 bis 100 kWh/a pro installiertem Watt Leistung geerntet werden. Zum Vergleich ist in der folgenden Tabelle das Potential angegeben (mit ** gekennzeichnet), das sich ergibt, wenn man auf der von Kaltschmitt [5] ermittelten nutzbaren Dachfläche einen Ertrag von 85 kWh pro Jahr und Quadratmeter annimmt. Es ergibt sich ein Wert von 11 TWh/a, der ca. 14% der jährlichen bayerischen Stromproduktion entspricht.

Der Wirkungsgrad von kommerziellen Solarzellen aus Silizium hat sich in der Vergangenheit stetig verbessert. Er beträgt derzeit 12 – 16 % und wird in den nächsten 10 Jahren auf 14 – 20 % steigen. Auch die Systemwirkungsgrade, d.h. das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten einer PV-Anlage verbessern sich stetig. Daher ist in Zukunft mit steigenden Erträgen pro Fläche zu rechnen.

Das Potential, das mit einem Ertrag von 85 kWh/m² a berechnet wurde, stellt also einen unteren Grenzwert dar. Vergleicht man die Angaben der verschiedenen Autoren, so erscheint in Bayern ein technisches Erzeugungspotential von ca. 24 TWh/a möglich. Das entspricht in etwa 32 % der jährlichen Stromproduktion in Bayern.

		Dach- und Fassadenflächen	Verkehrswege	Freiflächen
Kaltschmitt [5]	Deutschland	800 km ² , 98 TWh/a (nur Dächer)		3518 km ² , 411 TWh/a
	Bayern	127 km ² , 20 TWh/a (nur Dächer)		700 km ² , 93 TWh/a
Eigene Berechnung **	Deutschland			
	Bayern	800 km ² , 11 TWh/a		
Bund Naturschutz [9]	Deutschland	1250 km ² , 125 TWh/a		
	Bayern	ca. 200 km ² , 20 TWh/a		
Quaschnig [6]	Deutschland	1064 km ² , 138 TWh/a	39 km ² , 5,3 TWh/a	250 km ² , 32 TWh/a
	Bayern*	192 km ² , 25 TWh/a	7 km ² , 1 TWh/a	45 km ² , 6 TWh/a
LTI-Gruppe [11]	Deutschland	250 TWh/a		
	Bayern*	45 TWh/a		

*eigene Abschätzungen für Bayern aus den Angaben des Autors (siehe Text)

** konservative Abschätzung (siehe Text)

Tabelle 21: Solar nutzbare Flächen und technisches Erzeugungspotential der Photovoltaik

Aus der bayerischen Baustatistik kann man entnehmen, dass 1997 und 1998 in Bayern jeweils ca. 35 000 neue Wohngebäude errichtet wurden. Da es sich dabei hauptsächlich um Gebäude mit ein oder zwei Wohnungen handelt, kann man davon ausgehen, dass diese Gebäude die klassischen Eigenheime mit kleinem Garten in einer neuen Wohnsiedlung sind. Geht man davon aus, dass diese Häuser vernünftigerweise nach Süden orientiert sind und durchschnittlich Platz für eine 1kWp Anlage bieten, so hätte man bei Nutzung dieses Potentials pro Jahr eine neu installierte PV Leistung von ca. 32 MWp und entsprechend 27 Mio kWh Solarstrom pro Jahr. Das sind 50% der bis 1999 in Deutschland gesamt installierten PV-Leistung von 64 MWp.

Technisches Erzeugungspotential in Deutschland und Europa

Nach Hans Unger kommen weitere 770 Quadratkilometer oder zirka 9,5 Quadratmeter pro Kopf Fassadenfläche hinzu, die für Photovoltaikmodule geeignet wären / Gernhardt, D., Mohr, M., Skiba, M. und Unger, H., 1993/²¹. Mit der heute verfügbaren Technik könnten dort etwa 110 Terawattstunden elektrischer Energie pro Jahr erzeugt werden, was etwa 22 Prozent der Nettostromerzeugung der Bundesrepublik im Jahr 1992 entspricht. Drei Viertel dieses Stroms werden auf Dachflächen und der Rest auf Fassadenflächen bei einem Systemwirkungsgrad von zehn Prozent erzeugt. Dies ist eine vorsichtige Schätzung, wenn man bedenkt, daß die heute im Labor erreichten Wirkungsgrade der Solarzellen von mehr als zwanzig Prozent spätestens in zehn Jahren im praktischen Einsatz realisiert werden können. Ein Arbeitskreis ‚Potentiale‘, der im Rahmen der Energiekonsensgespräche im Jahr 1994 tagte, ermittelte ein technisches Potential innerhalb Deutschlands von 18 bis 302 Terawattstunden pro Jahr.

Die Dachflächen wurden anhand der Ergebnisse von Arbeiten aus Deutschland / Kaltschmitt, M. und Wiese, A. (Hrsg.), 1993/²² und den Niederlanden / van Brummelen, M., 1992/²³ ermittelt. Eine Studie aus Großbritannien / Hill, R., Pearsall, N. M. und Claiden, P., 1992/²⁴ ermöglichte zusätzlich die Ermittlung der potentiell geeigneten Fassadenflächen in der EU. Die Ergebnisse der Hochrechnungen sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Die möglichen Energiegewinne durch Photovoltaik sind in Prozent angegeben und beziehen sich auf den derzeitigen Stromkonsum in den einzelnen Ländern der EU. Als Umwandlungsfaktor von der eingestrahlten Sonnenenergie in elektrischen Strom wurde ein Modulwirkungsgrad von 13,5 Prozent angesetzt. Da heute schon Module mit höheren Wirkungsgraden produziert werden können, wurde der Wirkungsgrad der Infrastruktur einer photovoltaischen Anlagen zum Beispiel der Wechselrichter, die den Gleichstrom aus den Zellen in Wechselstrom für das Netz umwandeln, hier vernachlässigt

-
21. Gernhardt, D., Mohr, M., Skiba, M. und Unger, H. : Theoretisches und technisches Potential von Solarthermie, Photovoltaik, Biomasse und Wind in Nordrhein-Westfalen, 4. Technischer Fachbericht zum Forschungsvorhaben IV B3-258 002; Ruhr Universität Bochum 1993
 22. Kaltschmitt, M. und Wiese, A. (Hrsg.): Erneuerbare Energieträger in Deutschland, Potentiale und Kosten; Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 1993
 23. van Brummelen, M. : Scenarios for introduction of buildings in the Netherlands, 11th European Photovoltaics Solar Energy Conference, Montreux 1992
 24. Hill, R., Pearsall, N. M. und Claiden, P. : The Potential Generating Capacity of PV-Clad Building in the UK, Newcastle Photovoltaics Applications Centre University of Northumbria, 1992

Länder	Stromkonsum (1992)	technische Potentiale in Prozent des Stromkonsums		
		Kaltschmitt	Brummelen	Hill
	(TWh/a)	(Prozent)	(Prozent)	(Prozent)
Deutschland	498,4	17	24	66
EU 12	1862,6	21	30	83

Quelle: Eursolar: Das Potential der Sonnenenergie in der EU; Bonn 1993 und Eurostat: Grundzahlen der Gemeinschaft; 31. Ausgabe, Luxemburg 1994

Tabelle 22: Potential Stromproduktion der Photovoltaik in der EU.

Ähnliche Prozentzahlen ergeben sich für die EU insgesamt. 21 bis 30 Prozent des europäischen Stromverbrauchs können auf den Dächern gewonnen werden. Verwendet man auch die Fassaden zur Stromproduktion, könnte mit der heute verfügbaren Technik 83 Prozent des Bedarfs bereitgestellt werden.

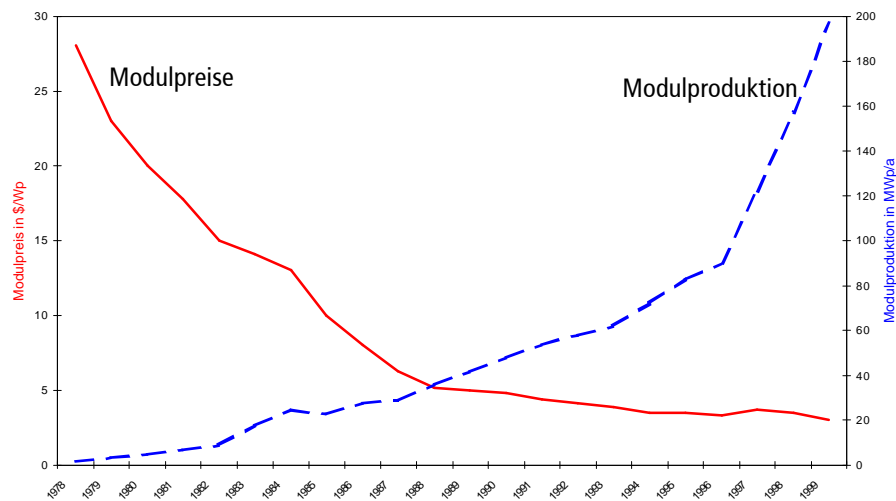
Warum liegen die Berechnungen von Hill so weit über den Ergebnissen der Extrapolationen nach Kaltschmitt und Brummelen? Der Grund ist, daß der Umfang der eingestrahlteten Sonnenenergie auf die verfügbaren Fassadenflächen bisher unterschätzt wurde. Hills detaillierte Untersuchungen ergaben, daß von der gesamten Sonnenenergie, die auf die Hülle eines Gebäudes in Plymouth eingestrahlt wird, 67 Prozent die Fassade treffen und 'nur' 33 Prozent das Dach.

Marktentwicklung und Kosten

Die Kosten von Photovoltaik-Anlagen haben sich kontinuierlich verringert. Bisher werden PV-Module noch in Fabriken mit kleinen Kapazitäten ohne großen Automatisierungsgrad gefertigt. Die PV-Industrie ist noch von einer günstigen automatisierten Massenproduktion entfernt. Shell Solar rechnet mit einer jährlich Reduktion der Modulkosten von 6%. Das bedeutet eine Halbierung der Kosten in den nächsten 10 Jahren [17]. Auch andere Hersteller haben sich dieser Aussage angeschlossen, darunter ASE und BP. Eine Kostenreduktion bei den übrigen elektronischen Bauteilen wie Wechselrichter allein durch Fertigung hoher Stückzahlen ist nach Herstellerabgaben kein Problem [17].

In Bild 13 ist die Entwicklung der Modulpreise und der Modulproduktion dargestellt. Die Solarzellenproduktion betrug 1998 weltweit etwa 140 MWp. Die Preise für Module haben sich in den letzten 10 Jahren um etwa ein Drittel reduziert. Die Kosten für netzgekoppelte Hausdachanlagen sanken auf etwa die Hälfte [17].

Der Rohstoff für Solarzellen aus Silizium stammt aus der Elektronikindustrie und besitzt einen Reinheitsgrad, der für die Produktion von Solarzellen eigentlich nicht nötig wäre. Die Verfügbarkeit des Ausgangsmaterials hängt dadurch auch von der Auftragslage in der Halbleiterindustrie ab. Dies erklärt auch die wieder leichte Zunahme der Modulpreise, die 1997 eingetreten ist, als der Umsatz der Elektronikindustrie abnahm und damit auch weniger Restsilizium aus diesem Industriezweig für die Solarzellenproduktion zur Verfügung stand. Überschreitet der Markt für Solarzellen eine Größe bei der sich eine eigene Produktion von sogenanntem solargrade Silizium (Silizium mit einem Reinheitsgrad der für die Produktion von Solarzellen ausreicht) rentiert, so ergeben sich dadurch weitere Kostenreduktionen und die Unabhängigkeit von der Elektronikbranche.



Quelle: Erneuerbare Energien 11/1998, Renewable Energy World 11/99 und eigene Ergänzungen

Bild 13: Entwicklung der Modulproduktion und der Modulpreise

Auch die Dünnschichttechnologien aus den Verbindungshalbleiter Kadmiumsulfid (CdS) und Kupferindiumdiselenid (CIS), die bereits die Marktreife erreicht haben, versprechen eine kostengünstige Produktion von unter 2 DM pro Wattpeak.

Der gesamte PV-Markt setzt derzeit etwa 2,5-3,5 Mrd. DM pro Jahr um, davon ca. 100 Millionen DM in Deutschland.

Deutschland ist hinter den USA und Japan der drittgrößte Absatzmarkt für Photovoltaik. 1999 wurden ca. 14 MWp installiert, so daß insgesamt ca. 64 MWp installiert sein dürften. Die Entwicklung seit 1992 ist in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Jahr	Zubau gesamt	Zubau netzgekoppelt	Gesamte installierte Leistung	Gesamte installierte Leistung netzgekoppelt
	(MWp)	(MWp)	(MWp)	(MWp)
1992			5,6	5,3
1993	3,3	3,1	12,4	11,6
1994	3,5	3,1	12,4	11,6
1995	5,4	4,5	17,8	16,1
1996	8,8	7,4	26,6	23,5
1997	13,7	11,5	40,3	35,0
1998)	10	8	50	43
1999	14		64	

Tabelle 23: In Deutschland installierte PV-Module /Stryi-Hipp, G. 1999/

Man erkennt eine Vervierfachung des Marktwachstums innerhalb der 3 Jahre bis 1997 und eine Konsolidierung des Marktes im Jahre 1998. Als Grund für die Konsolidierung nennt / Stryi-Hipp, G. 1999/ die Bundestagswahl in Deutschland und das damit verbundene abwartende Verhalten potentieller Käufer aufgrund in Aussicht gestellter verstärkter Förderung. In knapp 5 Jahren, so eine Einschätzung von Eurosolar-Präsident Hermann Scheer, kann sogar die 140 MW-Marke durchbrochen werden /VDI-Nachrichten 21/99/.

Energierücklaufzeit und Umweltverträglichkeit

In die Berechnung des kumulierten Energieaufwands zur Herstellung von Solarzellen und damit die Energierücklaufzeit gehen verschiedene Annahmen ein, die folglich auch zu verschiedenen Ergebnissen führen. Bludenzler und Räuber [17] haben die Werte aus verschiedenen Literaturquellen (darunter auch Hagedorn und Wagner) verglichen und sind zu dem Ergebnis gekommen, daß sich energetische Rücklaufzeiten von weniger als 2 Jahren für PV-Systeme jeder Art in unseren Breiten in den Fertigungsanlagen der nächsten 10 Jahre realisieren lassen.

Ausführliche Recherchen [17] bzgl. der Umweltverträglichkeit ergaben, daß die umweltrelevanten Masseneinträge, die im Rahmen der Fertigung von PV-Modulen anfallen, sich durch geeignete Entsorgungs- und Recyclingtechniken in den nächsten 10 Jahren auf ein vernachlässigbares Maß reduzieren lassen. Das Gefährdungspotential im Bereich der Produktion bei Modulen auf Basis von Silizium unterscheidet sich nicht prinzipiell von dem in der Halbleiterindustrie und wird entsprechend den gültigen Sicherheitsvorschriften beherrscht. Das Material der Verbindungshalbleiter ist sehr stabil, so daß einzig im Falle eines Brandes ein Teil der Stoffe austreten könnte. Allerdings liegen beim Brand eines Hauses die Giftgaskonzentrationen durch andere Geräte um einiges höher.

Ressourcenverfügbarkeit

Bei den Modulen aus Silizium gibt es kein Ressourcenproblem mit Ausnahme in geringem Umfang bei Silber für die Kontaktierung der Zellen. Bei den Verbindungshalbleitern läßt sich aufgrund der Datenunsicherheit nur feststellen, daß es in den nächsten 20 Jahren keine Engpässe durch Belastung natürlicher Materialressourcen geben wird [17].

Literatur

[5] Kaltschmitt M., Wiese A.; Erneuerbare Energieträger in Deutschland; Springer Verlag 1993

[6] V. Quaschnig, R. Hanitsch, TU Berlin: Klimaschutz beim Wort genommen, Sonnenenergie & Wärmetechnik 5/99; Diese Arbeit ist ein Teil der Habilitation von Dr.-Ing. Quaschnig, die im Frühjahr 2000 veröffentlicht wird.

[9] Dr. L. Trautmann-Popp, Energiereferent des Bund Naturschutz in Bayern e.V.: Energievision BN 1996

[11] Long-Term Integration of renewable energy sources into the european energy system and its potential economic and environmental impact (EU-APAS project RENA-CT94-0041

[17] Fachgespräch Energie, Solarstiftung Ulm 1999, PV in Energiewirtschaft und Industrie, Thesenpapier; wird im Laufe des Jahres 2000 veröffentlicht

Wärmepumpen

Seit Anfang der 70er Jahre werden elektrische Wärmepumpen zur Gebäudeheizung eingesetzt. Der anfängliche Boom erstarb aber binnen einer Dekade, da die Anlagen technisch nicht ausgereift waren und neben den vergleichsweise hohen Investitionskosten auch noch zu hohe Betriebskosten hatten. Hinsichtlich der Zuverlässigkeit ist dieses Hemmnis inzwischen beseitigt worden. Bleibt noch die Frage der Kosten und - vor allem – nach der ökologischen Sinnhaftigkeit der, wie auch immer gearteten, Nutzung elektrischen Stroms zu Heizzwecken offen.

Prinzip der Wärmepumpe

Wärmepumpen sind in der Lage, durch Verdampfung und Kondensation eines Betriebsmittels vorhandene „Umgebungswärme“ zu sammeln und auf ein, für den Menschen nutzbares, Temperaturniveau anzuheben. Das Funktionsprinzip gleicht dem des Kühlschranks, der z.B. einer warmen Wasserflasche ihre Wärme entzieht, und diese an der Rückseite quasi gebündelt an die Küchenluft abgibt. Im Falle einer Wärmepumpenheizung würde die Wasserflasche hier als Wärmequelle wirken und auch falls diese vielleicht nur 15°C „warm“ wäre, handelt es sich hier um eine Wärme im physikalischen Sinn. Wärmepumpen heben mittels Zuführung zusätzlicher Energie das Temperaturniveau einer aus der Umwelt entnommenen Wärme (z.B. Erd- und Grundwasserwärme) in sensible, d.h. für den Menschen fühlbare und somit zu Heizzwecken verwertbare Wärme an. Die Energieeffizienz dieses thermodynamischen Kreisprozesses wird mittel einer Leistungszahl (vergleichbar dem Wirkungsgrad bei Gas- oder Ölheizungen) beschrieben und steht und fällt mit dem zu überwindenden Temperaturunterschied zwischen Umwelt- und Heizwärme. Aus diesem Grund sollte die Heizungstemperatur nicht über 35°C bis 40°C liegen. Um mit solch niedrigem Temperaturniveau komfortabel zu heizen, bedarf es großer Heizflächen wie Fußboden- oder Wandheizung und eines Gebäudes mit niedrigem Wärmebedarf. Anforderungen, die sich fast nur in Neubauten (Niedrigenergiehäuser) sinnvoll wirtschaftlich darstellen lassen.

Leistungs- versus Arbeitszahl

Eines haben beide Zahlen gemeinsam: Sie beschreiben das Verhältnis von zugeführter elektrischer Energie zur aus der Umwelt gewonnener Wärme. Die Leistungszahl beschreibt aber lediglich die Energieeffizienz des einzelnen Wärmepumpenaggregats in einem Betriebspunkt mit festgelegten Rahmenbedingungen. Typische Werte für Leistungszahlen liegen, je nach Wärmequelle, zwischen 3 und 6. Weit wichtiger und aussagefähiger ist die sogenannte Arbeitszahl oder Jahresarbeitszahl (vgl. mit den Nutzungs- bzw. Jahresnutzungsgrad). Dieser Wert beschreibt nicht nur das Verhältnis zwischen Umweltenergiemenge und tatsächlich zugeführter Menge an elektrischem Strom während einer Heizperiode, sondern erfasst, im Gegensatz zur Leistungszahl, das gesamte Heizungssystem einschließlich Gebäudezustand, Warmwasserbereitung oder Nutzerverhalten. Arbeitszahlen müssen über einen längeren

Zeitraum für jedes Gebäude einzeln ermittelt werden. Aus diesem Grund ist der Datenbestand bei den Arbeitszahlen beschränkt.

Typische Werte für Jahresarbeitszahlen im Einfamilienhausneubau mit Warmwasserbereitung mit den Wärmequellen /Loerbroks; Niebauer/:

- Luft 2,5 – 3
- Erdreich 2,8 – 3,5
- Grundwasser 3,5 – 4,0

Die Arbeitszahlen sind, neben der Effizienz der Stromerzeugung, die am kontroversesten diskutierten Punkte. In Verkaufs- oder Beratungsgesprächen mit Energieversorgern werden meistens um knapp einen Punkt höhere Arbeitszahlen als die oben genannten herangezogen. Die gelten aber nur für optimal geplante Anlagen in Niedrigenergiehäusern bei absolut diszipliniertem Heizverhalten der Bewohner. Auch entsteht häufig Verwirrung, weil Leistungszahlen mit Arbeitszahlen schlichtweg „verwechselt“ werden.

Bei den Rahmenbedingungen muß die Warmwasserbereitung ausdrücklich berücksichtigt werden, was die Arbeitszahl gleich um fast einen halben Punkt anhebt. Generell bedarf es hier mehr Transparenz bei den Daten, z.B. normierter Prüfbedingungen für Gesamtsysteme zur Effizienzbestimmung.

Strommix

Neben der Kontroverse über die Höhe der Arbeitszahlen scheiden sich bei der Diskussion über den zum Betrieb der Wärmepumpe verwendeten Strommix die Geister. Die Spannbreite reicht hier vom reinem Braunkohlestromszenario (ca. 900 g CO₂/ kWh) über den deutschen Strommix (ca. 500 g CO₂/ kWh) bis zur ausschließlichen Betrachtung des bayerischen Strommix mit 70 % Kern- und Wasserkraftanteil (ca. 220 g CO₂/ kWh). Letzterer dürfte auch angesichts der Liberalisierung des Strommarktes als Berechnungsgrundlage nicht mehr tragfähig sein. Desweiteren gilt: Solange nicht ein Altbau pro Neubau abgerissen wird, ist grundsätzlich jeder Neubau unabhängig vom Dämmstandard oder der Effizienz der Heiztechnik erstmal ein zusätzlicher Verbraucher. Zum Betrieb einer Wärmepumpe muß also zu 85% zusätzlich Strom erzeugt werden. Da Kern- und Wasserkraft bereits die Grundlast abdecken, liegt es nahe, dass dieser zusätzlich benötigte Strom aus dem wirtschaftlich günstigsten Teil des Kraftwerksparks kommt, der den Mittellastbereich beliefert. Hier handelt es sich meist um Steinkohlekraftwerke. Öl- Gas- oder GuD-Kraftwerke sind im Betrieb teurer und daher meist zur Spitzenlastabdeckung flexibel am Netz.

Sinnvolle Optimierung des Kraftwerksparkes im Mittellastbereich zugunsten der Wärmepumpentechnik

Gerade bei der Strombereitstellung lassen sich Verbesserungen zugunsten der Ökobilanz der Wärmepumpensysteme erzielen. Im Prinzip ist es möglich, die Gesamtemissionen der Wärmepumpensysteme auf ein sehr niedriges Niveau abzusenken.

Dies ist jedoch nur möglich, falls es in den nächsten Jahren und Jahrzehnten zu einer merklichen Durchdringung des Mittellast-Kraftwerksparkes mit hocheffizienten Kraftwerken wie z.B. GuD-Kraftwerken und regenerativen Energieerzeugungsanlagen kommt.

Dieser Prozeß könnte ab dem Jahr 2005 in Gang kommen, wenn im bestehenden Kraftwerkspark erste größere Ersatzmaßnahmen anstehen. Welches Potential sich dahinter verbirgt, verdeutlicht folgende überschlägige Abschätzung:

Angenommen, der Mittellastbereich wird zu 100 % durch hocheffiziente GuD-Kraftwerke mit einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von 50 % (konservative Annahme!) abgedeckt, dann werden dort ca. 440 g CO₂-Äquivalent pro erzeugte kWhel emittiert. Dies würde eine 50 %-ige Reduktion der Treibhausgas-Emissionen der hier betrachteten Wärmepumpensysteme im Vergleich zu heute bedeuten.

Direkter Vergleich mit Gas-Brennwert- und Öl-Niedertemperaturheizung

Vergleicht man Wärmepumpen mit anderen Heizungssystemen wie z.B. Gas-Brennwert-Heizungen so gibt es zwar bei Arbeitzahlen größer als 3 Einsparungen im Primärenergieverbrauch, aber die CO₂ Bilanz ist nicht oder nur unwesentlich günstiger /LBST/. Dies hängt selbstverständlich vom Mix des verwendeten Stroms, den Jahresarbeitzahlen (Luft 2,7; Erdreich 3,2; Grundwasser 3,7), von der Wärmequelle und dem Einsatzbereich (Trinkwassererwärmung, Heizung) ab.

- Bei einem Vergleich Gas-Brennwert und Luft/Wasser-Wärmepumpe liegen die CO₂-Äquivalent-Emissionen der Wärmepumpe (Szenario Strommix BRD; zentrale Trinkwassererwärmung) um ca. 30 % höher. Die Erdreich-Wärmepumpe ca. 20% über der Gas-Brennwertheizung. Am besten schneidet die Grundwasser-Wärmepumpe im Szenario Strommix BRD ab. Hier liegen die Treibhausgas-Emissionen der Wärmepumpe im Bereich der Gas-Brennwert-Heizung.

Im Vergleich zwischen Wärmepumpen mit der Öl-Niedertemperaturheizung schneiden alle Wärmepumpen bei der CO₂ Bilanz besser als die Ölheizung ab.

- Bei einem Vergleich Öl-Niedertemperatur und Luft/Wasser-Wärmepumpe liegen die CO₂-Äquivalent-Emissionen der Wärmepumpe (Szenario Strommix BRD;

zentrale Trinkwassererwärmung) um 8 % niedriger. Die Erdreich-Wärmepumpe ca. 20% unter der Ölheizung. Am besten schneidet die Grundwasser-Wärmepumpe ab. Hier liegen die Treibhausgas-Emissionen der Wärmepumpe ca. 30% unter der Ölheizung.

Kostenbetrachtung im Vergleich mit Gas-Brennwert- und Öl-Niedertemperatur-Heizung

Die Kosten für Wärmepumpenanlagen variieren je nach Wärmepumpentyp und Wärmequelle zwischen 2.500 und 5.000 DM/kW_{th}. Sie sind damit zwar in den Investitionskosten teurer als konkurrierende Öl- und Gasbrennwertanlagen, die Wärmegestehungskosten sind aber praktisch identisch. Bei Niedrigenergiehäusern mit entsprechender Fußbodenheizung und den zunehmend als Wärmequelle eingesetzten Erdreichsonden genügen dabei schon elektrische Wärmepumpenleistungen um 2 kW_{el}.

Handlungsbedarf

Verbesserungsbedarf bei Vertrieb, Planung und Ausführung

- Beratungsinfrastruktur
- Homogene Qualifizierungsmaßnahmen für Planer und Bauer
- Homogene Gewerkerstellung aus einer Hand
- Durchdringung eines optimierten Kraftwerkparcs mit GuD etc.

Nach wie vor wird die Wärmepumpe zu wenig als Teil eines komplexen Heizungssystems gesehen, dessen Effizienz stark von der optimalen Abstimmung der einzelnen Komponenten aufeinander abhängig ist. Um aber die Potentiale der Wärmepumpe auch zu nutzen, ist eine sorgfältige Planung der gesamten Heizungsanlage unerlässlich. Diese Tatsache wird noch zu oft von den Planern vernachlässigt bzw. mangels Problembewußtsein nicht wahrgenommen. Abhilfe könnten hier verstärkte Ausbildungs- und Qualifizierungsmaßnahmen für Handwerker und Techniker schaffen, evtl. sogar mit dem langfristigen Ziel der Definition eines eigenen Berufsbildes für Wärmepumpenanlagenbauer und -planer. Letzteres hätte den Vorteil, daß die Anlagenplanung und -erstellung „aus einer Hand“ käme sowie zu mehr Sicherheit bei der Kostenplanung, Umgang mit genehmigenden Behörden und der Akquisition von Fördergeldern führen würde. Mittelfristig dürfte sich der Trend in Richtung Spezialisierung einzelner Handwerksbetriebe (z.B. Brunnenbauer, Heizungsbauer) auf die Gewerke Wärmequellenerschließung und Wärmepumpeninstallation bewegen.

Um Kostenreduktionspotentiale auszuschöpfen, bedarf es insbesondere bei dem Verfahren

zur Wärmequellenerschließung bei Erdreich (horizontale Kollektoren bzw. Erdsonden) und Grundwasser anderer kommerzieller Strukturen sowie der Standardisierung von genehmigungsrechtlichen Verfahren und des technischen Ablaufes. So kann eine wirtschaftliche Basis (durch Fachkompetenz, Marktvolumen, Risikostreuung) für garantierte Kostenobergrenzen, die das Risiko für die Bauherren abfedern und zu mehr Sicherheit bei der Planung führen, geschaffen werden. Einzelne Energieversorger haben diese Unsicherheit als Markthemmnis erkannt und bieten die Wärmequellenerschließung als Paketlösung an. Das Angebot ist aber bis dato noch nicht flächendeckend.

Ferner bedarf es der weiteren Verdichtung im flächendeckenden Angebot einer kompetenten und unabhängigen Beratung als Hilfestellung für Bauherrn und Handwerksbetriebe. Unter diesem Umstand leiden zur Zeit besonders die ausführenden Handwerksfirmen, die mit Projektierung und Baukostenkalkulation oft überfordert sind mit der Folge der Überdimensionierung der Anlagen und deren unnötige Überteuerung durch „Angstzuschläge“.

Förderung

Die Förderung sollte vor allem vom Erreichen vorgegebener Jahresarbeitszahlen (JAZ) (nach Schweizer Vorbild) und weiteren Kriterien abhängig sein:

- 3,0 für Luftwärmepumpen
- 3,3 für Erdreich- und Wasserwärmepumpen
- Der Planer oder ausführende Handwerker muss die geforderten JAZ garantieren
- Die zur Kontrolle notwendigen Messgeräte müssen in die Anlagen mit eingebaut werden
- Die JAZ müssen von Mitarbeitern der fördernden Behörde im fertig erstellten und bautrockenen Gebäude gemessen und kontrolliert werden

Desweiteren herrscht Förderungsbedarf bei:

- Aufbau eines Netzwerkes unabhängiger Berater
- Homogene Qualifizierungsmaßnahmen für Planer und Bauer
- Synergienutzung mit Solarthermie und der Kraft-Wärme-Koppelung in

- Einzelanlagen
- Groß- und Nahwärmeprojekten
- Synergienutzung mit Kälte im Gewerbebereich

Weitere konkurrierende Technologien

Im folgenden wird noch auf eine weitere konkurrierende Technologie zur elektrischen Wärmepumpe, die kleine Absorptionswärmepumpe, näher eingegangen. Im Unterschied zur elektrischen Kompressionswärmepumpe wird bei der Absorptionswärmepumpe das Arbeitsmittel (hier Ammoniak) statt über eine Druckerhöhung durch einen thermischen Prozeß quasi ausgekocht. Die hierzu notwendige Temperatur von ca. 170°C liefert ein Gas- oder Ölbrenner. Dies hat den Vorteil, daß der elektrische Energieverbrauch des Systems nur auf die Umwälzpumpen beschränkt bleibt und somit sehr klein ist. Das energieaufwendige Ausstreuen des Arbeitsmittels erfolgt direkt über einen Primärenergieträger und unterliegt damit keinerlei Wirkungsgradverlusten. Wird die Anlage in Brennwerttechnik ausgeführt, liegt der Wirkungsgrad des Brenners entsprechend hoch. Wegen der hohen Betriebstemperaturen erlaubt diese Technik den Betrieb mit Radiatorenheizungen und ist somit für die Altbausanierung geeignet.

Zur Zeit sind noch keine Absorptionswärmepumpen mit kleiner Heizleistung, die für den Einsatz in Niedrigenergiehäusern geeignet sind, auf dem Markt verfügbar. Es gibt jedoch hoffnungsvolle Ansätze für diesen Bereich.

Die österreichische Firma Heliotherm hat einen derartigen Prototyp weiter entwickelt, wobei die größten technischen Schwierigkeiten im regeltechnischen Bereich und der dynamischen Anpassung an verschiedene Heizungstemperaturen und in der Haltbarkeit kostengünstiger Lösungsmittelpumpen bestanden. Diese Hemmnisse sind nach Aussagen der dortigen Entwicklungsingenieure so weit beseitigt, daß ein Feldtest mit ca. 100 Geräten für das Jahr 2000 geplant ist. Das Gerät wird stufenlos im Leistungsbereich von 4 – 18 kW modulieren können.

Literatur

Loerbroks, Niebauer: diverse Arbeiten von LBST

M. Fishedick, T. Schmutzler, D. Wolters: Elektrische Wärmepumpen, Wuppertal Papers Nr. 77, 1997

Wuppertal Institut, Halbwahrheiten über Wärmepumpe, Solarthemen 81, 2000

Geothermie

Überblick

Die Temperatur der Erde nimmt in den obersten Erdschichten um ca. 3 °C pro 100 m Tiefe zu. Diese Wärme stammt vom radioaktiven Zerfall und dem Wärmestrom aus dem Erdkern. Nur die obersten 20 m der Erdschicht werden von der Sonneneinstrahlung beeinflusst. Die gesamte gespeicherte Energie in den obersten 3 km der Erdkruste beträgt rund 43 Mio EJ [5].

Weltweit sind derzeit 8000-9000 MW_{el} und c.a. 10.000 MW_{th} geothermische Anlagen installiert. In Deutschland sind zur Zeit etwa 18 größere thermalwassernutzende Anlagen mit einer installierten Leistung von $100\text{ kW}_{\text{th}}$ und 20 MW_{th} in Betrieb. Hierbei handelt es sich um hydrothermale Heizzentralen oder Thermalbäder mit kombinierter Gebäudeheizung. Die Temperatur des geförderten Wassers bzw. der Sole beträgt jeweils weniger als 110 °C . Die gesamte installierte Leistung beträgt 50 MW_{th} /Baumgärtner/.

/Kleemann, M.; Meli, M., 1993/ weisen darauf hin, daß geothermische Stromerzeugung keineswegs von vorneherein sehr umweltfreundlich ist. Dies ist begründet in den Beimischungen von Feststoffen und Chemikalien wie Schwefel, Bor, Ammoniak, Schwefelwasserstoff und Salzen, die zu Umweltbelastungen führen können. Die Stoffe zu reinjizieren ist nicht immer möglich und führt in jedem Fall zu einer Erhöhung der Kosten. Ob eine längerfristige Wasserentnahme aus dem Untergrund zu Bodensenkungen führen kann oder Einfluß auf die Erdbebenetätigkeit hat, ist noch nicht hinreichend geklärt.

Geothermie in Bayern

In Bayern wird ein im Vergleich zu Gesamtdeutschland sehr hohes Potential an nutzbarer geothermischer Energie vermutet. In der Literatur findet man eine große Spannbreite an Werten, die im Folgenden aufgelistet sind. Dabei bedeutet Ressourcen den Anteil des zugänglichen Energievorrats, der sich beim gegenwärtigen Stand der Technik dem Untergrund entnehmen läßt und möglicherweise auch eine wirtschaftliche Nutzung erwarten läßt. Reserven sind der Anteil der Ressourcen, der beim gegenwärtigen Preisniveau wirtschaftlich genutzt werden kann.

Kaltschmitt [5] schätzt folgende Potentiale ab:

- Energie der warmwasserführenden Aquifere in Bayern (hydrogeothermische Energie)
- Ressourcen: $74\text{ }10^3\text{ PJ}$ (= 46% der deutschen Menge);
Reserven: $32,5\text{ }10^3\text{ PJ}$ (=84% der deutschen Menge; 44% der angegebenen Ressourcen)

Daraus abgeschätzte jährliche Wärmeabgabe: 325 PJ/a (=84% der deutschen Menge von 385 PJ/a)

- Energie des heißen Gestein (Hot-Dry-Rock)
- Eine Abschätzung ist äußerst schwierig. Das Potential dürfte aber noch sehr viel größer als das der hydrothermischen Energie sein.
- Energie des flachen Untergrunds (bis 100 m Tiefe)
- Grober Schätzwert für Deutschland: 788 PJ/a, 940 PJ/a [5a]
rechnet man davon einen Anteil von 20% für Bayern: 158 PJ/a (eigene Abschätzung)

Christoph Clauser [13] zitiert eine Studie des Bundeswirtschaftsministeriums [12], in der für die Erdwärmennutzung in größeren, hydrothermalen Zentraleinrichtungen ein Potential von 1622 PJ/a ermittelt wurde. Geht man bei dieser Abschätzung von derselben regionalen Verteilung der hydrothermalen Energievorräte aus, wie sie Kaltschmitt macht (84% in Bayern), ergibt sich für Bayern ein Potential von 1363 PJ/a (eigene Abschätzung).

Werner Bußmann [14] schätzt das hydrothermale Energiepotential für Bayern wie folgt ab:

- Ressourcen $53,6 \cdot 10^3$ PJ
- Reserven: $31,3 \cdot 10^3$ PJ (58% der Ressourcen)
- Gesamtleistung der Reserven 27,5 PJ/a.

Aus der großen Spannweite der angegebenen Werte von 27,5 PJ/a, 325 PJ/a und 1363 PJ/a für die hydrothermalen Energiepotentiale in Bayern läßt sich die große Unsicherheit bei der Abschätzung der Ressourcen und die unterschiedlichen Ansichten über die davon wirtschaftlich nutzbaren Reserven erkennen.

In Bayern gibt es bereits eine Reihe von Geothermieprojekten und die Nutzung von Thermalquellen ist in Bayern bereits weit verbreitet. Es sind bereits ca. 24 MWth installiert und weitere 88 MWth in der Realisierungsphase. Dabei wurden nur Anlagen mit mehr als 100 kWth berücksichtigt [13].

Die Wärmegestehungskosten sind stark abhängig von den einzelnen Gegebenheiten. Sie betragen unter sehr günstigen Bedingungen ca. 3 Pf/kWh und bis zu etwa 11 Pf/kWh bei weniger günstigen Bedingungen [5]. Für die Stromgestehungskosten aus Geothermie wird für

den Süddeutschen Raum ein Wert von unter 37 Pf/kWh genannt [5].

Literatur

[5] Kaltschmitt M., Wiese A.; Erneuerbare Energieträger in Deutschland; Springer Verlag 1993

[5a] Kaltschmitt M., Wiese A.; Erneuerbare Energieträger in Deutschland; Springer Verlag 1997

[12] BMWi (Hrsg.): Einschätzung der technischen und wirtschaftlichen Erschließungspotentials erneuerbarer Energien zur Energieversorgung in Deutschland; in Energieeinsparung und erneuerbare Energien, BMWi Dokumentation Nr. 361, S.88, 1994

[13] Christoph Clauser, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung: Erdwärmennutzung in Deutschland; Geothermische Energie, Mitteilungsblatt der Geothermischen Vereinigung e.V. Nr. 21 , Heft 1, Mai 1998

[14] Werner Bußmann: Bayerns „weiße Bodenschätze“; Geothermische Energie, Mitteilungsblatt der Geothermischen Vereinigung e.V. Nr. 3, Oktober 1992

Netzverträglichkeit der regenerativen Energien und Speicherproblematik

Windenergie und Photovoltaik sind intermittierende Stromproduzenten, die im Interesse der Netzstabilität nur einen Teil der in das Stromnetz eingespeisten Energie liefern können. Doch könnte dieser Anteil in einem veränderten, flexibleren Versorgungsnetz wesentlich höher sein, als er heute veranschlagt wird. Es zeigt sich zudem, daß Wind und Photovoltaik einander recht gut ausgleichen: wenn einer ausfällt, liefert gerade der andere, so daß Anlagen dieser beiden Techniken zusammen kaum intermittieren.

Wie weit das bestehende Stromnetz die fluktuierende Einspeisung von Strom aus regenerativen Energiequellen wie Wind und Sonne aufnehmen kann, ist umstritten.

Der Wissenschaftlich-Technische Beirat der Staatsregierung WTB [16] geht davon aus, daß Solarstrom (ohne Speicherung) bis zu 5% der bayerischen Stromerzeugung ausmachen könnte. Für den Anteil von Windstrom wird eine Grenze von 3% genannt, bis zu der die auftretenden Schwankungen in der Erzeugung noch im Stromnetz abgefangen werden können.

Die RWTH Aachen kommt in einer Studie [20] zu dem Ergebnis, daß ein negativer Einfluß von Photovoltaik-Kraftwerken auf die Spannungsqualität nachweisbar ist. Diese Flickererscheinungen sind jedoch durch technische Maßnahmen beherrschbar. Das Substitutionspotential (d.h. die substituierbare thermische Leistung im konventionellen Kraftwerkspark) von Wind- und Photovoltaikkraftwerken wird in dieser Studie als nicht wesentlich betrachtet.

Luther [17] dagegen kommt zu dem Ergebnis, daß eine signifikante Abnahme des Grundlastanteils der konventionellen Kraftwerke möglich ist. Auch die stochastischen Fluktuationen im Substundenbereich werden durch die räumliche Mittelung in großen Verbundnetzen stark gedämpft. Voraussetzung für die Simulationen von Luther ist jedoch ein Verbundnetz, das für bidirektionalen Energieaustausch über große Entfernungen und von großen Leistungen technisch ausgelegt ist.

Quaschnig [6] weist in seinen Arbeiten darauf hin, daß sich die Leistungsabgabe von Photovoltaik und Windkraftanlagen sehr gut ergänzen. In den aufgestellten Szenarien bei denen sich der Anteil der regenerativen Energien an der Stromerzeugung mehr als verfünffacht, sind noch keine neuen Speicher erforderlich. Auch bei einer vollständigen Deckung des für Deutschland angenommenen Strombedarfs von 418 TWh mit regenerativen Energien wären nur Speicher mit einer maximalen Energiespeicherkapazität von rund 13 TWh nötig. Das entspricht 3% der regenerativen Erzeugung.

Unumstritten ist vermutlich, daß es bei einem weiteren signifikanten Ausbau der regenerativen Energien und Beibehaltung der bisherigen Versorgungsstruktur Probleme geben kann. Es gibt jedoch keine unüberwindlichen Hindernisse, eine Versorgungsstruktur zu ändern und den neuen Gegebenheiten und Anforderungen anzupassen.

Literatur

[6] V. Quaschnig, R. Hanitsch, TU Berlin: Klimaschutz beim Wort genommen, Sonnenenergie & Wärmetechnik 5/99; Diese Arbeit ist ein Teil der Habilitation von Dr.-Ing. Quaschnig, die im Frühjahr 2000 veröffentlicht wird.

[16] Regenerative Energien und rationeller Energieeinsatz. Ein Bericht des Wissenschaftlich-Technischen Beirats des bayerischen Staatsregierung. Hrsg. Bayerische Staatskanzlei RB Nr.02/94/04

[17] Fachgespräch Energie, Solarstiftung Ulm 1999, PV in Energiewirtschaft und Industrie, Thesenpapier; wird im Laufe des Jahres 2000 veröffentlicht

[20] K.W.Edwin, Institut für elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, RWTH Aachen, Die Bedeutung der Sonnenenergie für die elektrische Energieerzeugung in Deutschland in den nächsten Jahrzehnten, eine systematische Grundsatzstudie, Aachen 1996

Anlage II: Weißbuch der EU

Weißbuch der EU

Hintergrund

Erneuerbare Energieträger werden gegenwärtig in der Europäischen Union ungleichmäßig und in unzureichender Weise genutzt. Obwohl viele erneuerbare Energieträger in großen Mengen verfügbar sind und trotz ihres beträchtlichen wirtschaftlichen Potentials ist der Anteil der erneuerbaren Energieträger am gesamten Bruttoinlandsenergieverbrauch der Europäischen Union mit ca. 6% äußerst gering.

Als ersten Schritt zur Entwicklung einer Strategie zur Förderung erneuerbarer Energieträger legte die Europäische Kommission am 20.11.1996 ein Grünbuch vor. Eine umfassende öffentliche Debatte setzte sich Anfang 1997 mit der Frage auseinander, welche Art prioritärer Maßnahmen auf der Ebene der Gemeinschaft und der Mitgliedstaaten eingeleitet werden könnten. Die Institutionen der Gemeinschaft haben zu dem Grünbuch ausführliche Stellungnahmen abgegeben und sich dazu geäußert, welche Elemente als wesentlich anzusehen sind, welche Maßnahmen eine künftige Gemeinschaftsstrategie zur Förderung erneuerbarer Energieträger vor allem enthalten sollte und welche Rolle der Gemeinschaft hierbei zukommt.

Der Rat und das Europäische Parlament bestätigten in ihren Entschlüssen, daß hinsichtlich der erneuerbaren Energieträger Handlungsbedarf besteht, um ein nachhaltiges und umweltverträgliches Wirtschaftswachstum zu verwirklichen und eine Strategie zu entwickeln, die langfristig zu größerer Wettbewerbsfähigkeit und zu einem hohen Anteil von erneuerbaren Energiequellen an der Energieversorgung führt. Ziel sollte die Erhöhung des Anteil erneuerbarer Energiequellen am Gesamtenergieverbrauch der EU bis zum Jahr 2010 auf mindestens 15% sein.

Eine solche umfassende Strategie sollte auf einigen grundlegenden Schwerpunktsetzungen beruhen. Hierzu zählen die Festlegung von Zielen für die einzelnen Mitgliedstaaten, das Konzept eines gemeinschaftlichen energiebezogenen Steuermodells, freien Zugang zum Netz ohne Diskriminierungen, verbunden mit einer Mindestvergütung, die die Versorgungsunternehmen für Strom aus erneuerbaren Energiequellen entrichten müssen. Hinzu kommen die Grundzüge eines Plans zur Errichtung eines Europäischen Fonds für erneuerbare Energiequellen, ein Konzept für ein Gemeinschaftsprogramm zur Förderung erneuerbarer Energiequellen mit 1.000.000 zusätzlichen Photovoltaik-Kleinanlagen auf Dächern, 15.000 MW Windenergie und 1.000 MW Energie aus Biomasse sowie die Forderung nach einer Gebäuderichtlinie, einem Plan zur verstärkten Nutzung der Strukturfonds, einem Konzept zur besseren Nutzung von Biomasse land- und forstwirtschaftlichen Ursprungs und einer Exportstrategie für Technologien für erneuerbarer Energiequellen. Flankierend wird die Harmonisierung von Normen für erneuerbare Energieträger, geeignete ordnungspolitische Maßnahmen im Hinblick auf Markimpulse, die Verbreitung von Information, um das Vertrauen

des Marktes zu vergrößern, und die Durchführung von Sonderaktionen, um fundierte Verbraucherentscheidungen zu ermöglichen, vorgeschlagen.

Eine Strategie zur Umsetzung der oben genannten Ziele und Forderungen wurde von der Kommission der Europäischen Gemeinschaften im nachfolgend beschriebenen Weißbuch der EU erarbeitet.

Das Weißbuch der EU

Im Weißbuch der EU wird die Strategie zur Erhöhung des Marktanteils erneuerbarer Energieträger auf 12% in den EU15-Staaten und ein entsprechender Aktionsplan dargestellt. Die Beiträge der einzelnen erneuerbaren Energieträger und die einzelnen Marktsegmente wurden vorläufig abgeschätzt (siehe Tabelle). Hierbei handelt es sich um die Projektion einer Möglichkeit, wie der angestrebte EE-Gesamtwuchs verwirklicht werden kann. Dem Szenario zufolge wäre der wichtigste Beitrag zum EE-Zuwachs von der Biomasse (90 Mio. t RÖE) zu erwarten, deren derzeitige Menge verdreifacht würde. Die zweitgrößte Zunahme ist mit einem Beitrag von 40 GW von der Windenergie zu erwarten. Auch bei den thermischen Solarkollektoren wird eine erhebliche Zunahme erwartet. Bis zum Jahr 2010 soll eine Kollektorfläche von 100 Mio. m² installiert werden. Geringe Beiträge werden von der Photovoltaik (3 GWp), Erdwärme (1 GWe und 2,5 GWth) und Wärmepumpen (2,5 GWth) erwartet. Wasserkraft wird wahrscheinlich die zweitwichtigste erneuerbare Energiequelle bleiben. Bei einer bescheidenen Zunahme (13 GW) wird sich ihr Anteil auf dem heutigen Stand stabilisieren. Schließlich könnte die passive Nutzung der Sonnenenergie maßgeblich dazu beitragen, die Nachfrage nach Energie zum Heizen und Kühlen von Gebäuden zu senken. In diesem Sektor gilt ein Beitrag von 10%, der einer Brennstoffeinsparung von 35 Mio. t RÖE entspricht, als erreichbar.

Beiträge der einzelnen Sektoren - Szenario für 2010		
Energieträger	Anteil in der EU 1995	Prognose: Anteil 2010
Windenergie	2,5 GW	40 GW
Wasserkraft	92 GW	105 GW
Große Anlagen	(82,5 GW)	(91 GW)
Kleine Anlagen	(9,5 GW)	(14 GW)
Photovoltaik	0,03 GWp	3 GWp
Biomasse	54,8 Mio. TRÖE	135 Mio. TRÖE
Erdwärme		
Elektrizität	0,5 GW	1 GW
Wärme einschl. Wärmepumpen	1,3 GWth	5 GWth
Thermische Solarkollektoren	6,5 Mio. m ²	100 Mio. m ²
Passive Sonnenenergienutzung		35 Mio. TRÖE
Sonstige		1 GW

Quelle: /Kommission der Europäischen Gemeinschaften, November 1997/

Tabelle 24: Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien auf ca. 12% bis ins Jahr 2010 - Investitionsvolumen und Arbeitsplatzeffekte des Szenarios

Insgesamt werden für den Zeitraum 1997 bis 2010 Investitionsausgaben in Höhe von schätzungsweise 165 Mrd. ECU (ca 300 Mrd SFr.) erforderlich sein, um das Gesamtziel zu erreichen (siehe). Noch bedeutsamer sind jedoch die Nettoinvestitionen; sie werden auf 95 Mrd. ECU geschätzt. Dem ist jedoch entgegenzuhalten, daß bei den Brennstoffkosten ganz erhebliche Einsparungen erzielt werden können. Die folgende Tabelle enthält einen Vergleich dieser Zahlen mit den Gesamtinvestitionen im Energiesektor im selben Zeitraum. Grundlage dieses Vergleichs ist das "Kontinuitäts-Szenario" der Kommissionsstudie "Die Energie in Europa bis zum Jahre 2010" /Kommission der Europäischen Gemeinschaften, 1996/. Wenn man in Betracht zieht, daß in diesem Szenario die Investitionskosten für erneuerbare Energieträger bereits enthalten sind, belaufen sich die zusätzlichen Nettoinvestitionen, die erforderlich sind, damit der Aktionsplan voll zur Geltung kommt, auf 74 Mrd. ECU. Für die Verdoppelung des Anteils erneuerbarer Energieträger wird für den gesamten Energiesektor ein Investitionsanstieg von etwa 30% erforderlich sein. Den Schätzungen zufolge könnten

dabei brutto 500.000 bis 900.000 Arbeitsplätze geschaffen werden. Im Jahre 2010 könnten Brennstoffkosten in Höhe von 3 Mrd. ECU eingespart werden. Für den Zeitraum 1997 bis 2010 würden insgesamt Brennstoffkosten in Höhe von 21 Mrd. ECU eingespart. Der Anteil der importierten Brennstoffe würde um 17,4 % zurückgehen. Die CO₂-Emissionen würden bis zum Jahr 2010 um 402 Mio. t pro Jahr reduziert.

Szenario für 2010	
Gesamtinvestitionen Energiesektor	249 Mrd. ECU
davon EE	39 Mrd. ECU
Gesamtinvestitionen EE im Aktionsplan	165 Mrd. ECU
Nettoinvestitionen EE im Aktionsplan	95 Mrd. ECU
Nettoinvestitionen EE pro Jahr im Aktionsplan	6,8 Mrd. ECU
Zusätzliche Nettoinvestitionen auf Grund der EE	74 Mrd. ECU
Zunahme der Gesamtinvestitionen im Energiesektor	29,7 %
Schaffung von Arbeitsplätzen	500.000 bis 900.000 (Brutto)
Eingesparte Brennstoffkosten im Jahre 2010	3 Mrd. ECU
Eingesparte Brennstoffkosten insgesamt 1997-2010	21 Mrd. ECU
Reduzierung der Einfuhren (Bezugsjahr 1994)	17,4 %
CO ₂ -Reduzierung(Bezugsjahr 1997) (Bezug: Prä-Kyoto-Szenario für 2010)	bis zu 402 Mio. t/a 250 Mio. t/a
Jährlicher Nutzen auf Grund der CO ₂ -Reduzierung	5 bis 45 Mrd. ECU

Quelle: /Kommission der Europäischen Gemeinschaften, November 1997/

Tabelle 25: Geschätzte Investitionskosten und Nutzen der Gesamtstrategie;

Vorrangig eingestufte Maßnahmen

In Weißbuch werden zahlreiche, als vorrangig eingestufte Maßnahmen genannt, die darauf ausgerichtet sind, Hindernisse zu überwinden und das Gleichgewicht zugunsten der erneuerbaren Energieträger wiederherzustellen, damit das Ziel von 12 % bis zum Jahr 2010 verwirklicht werden kann. Zusammenfassend sind folgende Maßnahmen zu nennen:

- Fairer Zugang erneuerbarer Energieträger zum Elektrizitätsmarkt

- Steuer- und Finanzmaßnahmen
- Eine Initiative zum Einsatz von Bioenergie im Verkehr sowie zur Wärme- und Stromerzeugung
- Verbesserte Vorschriften im Gebäudebereich und ihre Auswirkungen auf Stadt- und Regionalplanung

Zentrale Aktionen

Folgende zentrale Aktionen werden für eine Förderung im Rahmen der Kampagne vorgeschlagen:

- eine Million Photovoltaik-Anlagen (50% in der EU, 50% in Entwicklungsländern)
- 10.000 MW aus großen Windparks
- 10.000 MWth aus Biomasse-Anlagen
- Integration erneuerbarer Energieträger in 100 Gemeinden

Eine erste Schätzung geht davon aus, daß die Kampagne im Zeitraum 1998 bis 2010 mit Investitionen in Höhe von 20,5 Mrd. ECU verbunden sein könnte (siehe die folgende Tabelle). An öffentlichen Mitteln aus allen verfügbaren Quellen (auf europäischer, nationaler, regionaler und lokaler Ebene) sind als Anstoß für die Kampagne Fördermittel in Höhe von 4 Mrd. ECU bzw. 300 Mio. ECU pro Jahr zu veranschlagen. Gleichzeitig ist hervorzuheben, daß bei den Brennstoffkosten bis zum Jahre 2010 Einsparungen in Höhe von 3,3 Mrd. ECU erzielt werden können. Der externe Nutzen wird auf etwa 2 Mrd. ECU pro Jahr geschätzt.

Aktion im Rahmen der Kampagne	neu installierte Kapazität	Gesamt-investitions-kosten	eingesetzte öffentliche Mittel	eingesparte Brennstoff-kosten	CO ₂ -Reduktion
		Mrd. ECU	Mrd. ECU	Mrd. ECU	Mio. t/Jahr
1.000.000 PV Anlagen	1.000 MW _p	3	1	0,07	1
10.000 MW Windparks	10.000 MW	10	1,5	2,8	20
10.000 MW _{th} Biomasse	10.000 MW _{th}	5	1	-	16
Integration in 100 Gemeinden	1.500 MW	2,5	0,5	0,43	3
Summe		20,5	4	3,3	40

Quelle: /Kommission der Europäischen Gemeinschaften, November 1997/

Tabelle 26: Geschätzte Kosten-Nutzen-Bewertung der Förderkampagne

Umsetzung und Überwachung des Aktionsplans

Während der Umsetzung der im Weißbuch dargelegten Strategie wird eine ständige Überwachung der laufenden Aktivitäten notwendig sein, um die bei der Marktdurchdringung durch erneuerbare Energieträger erzielten Fortschritte intensiv zu beobachten und die Koordinierung der in den Zuständigkeitsbereich der Gemeinschaft bzw. der Mitgliedstaaten fallenden Programme zu gewährleisten und zu verbessern. In diesem Zusammenhang spricht viel für eine Verbesserung der Koordinierung und der Datenerhebung in bezug auf die zur Förderung erneuerbarer Energieträger durchgeführten Maßnahmen sowie für die Ausarbeitung eines einheitlich, konsensfähigen, auf dem Substitutionsprinzip beruhenden statistischen Verfahrens. Im Rahmen des ALTENER II-Programms wird deshalb in der EU ein Überwachungssystem entwickelt, das in der Lage ist, alle Fördermaßnahmen der Gemeinschaft für erneuerbare Energieträger ebenso zu erfassen wie die einzelstaatlichen Maßnahmen und die in den einzelnen Sektoren erzielten Fortschritte. Um ein effektives Follow-up und eine entsprechende Umsetzung innerhalb der Kommission durchzusetzen, soll die interne Koordinierung intensiviert werden.

Eine Arbeitsgruppe aus Vertretern der Kommission und der Mitgliedstaaten soll eingerichtet werden, deren Aufgabe darin besteht, die eingeleiteten Maßnahmen zu überprüfen und die auf allen Ebenen getroffenen energiepolitischen Entscheidungen auf ihre Auswirkungen auf den Einsatz erneuerbarer Energieträger zu bewerten.

Alle zwei Jahre soll eine Mitteilung an das Europäische Parlament, an den Rat, den Wirtschafts- und Sozialausschuß und den Ausschuß der Regionen vorgelegt werden, um den Erfolg der Strategie zu bewerten und einen neuen Weg und/oder neue Aktionen vorzuschlagen, sofern es sich abzeichnet, daß die im Hinblick auf einzelne Zielsetzungen erzielten Fortschritte hinter den Erwartungen zurückzubleiben scheinen.

Dieses Weißbuch ist von der Kommission, Ministerrat und Parlament diskutiert worden, die Ziele sind akzeptiert worden, die Umsetzung und Einhaltung der Ziele auch in Verbindung mit den Klimagas Reduktionszielen den einzelnen Ländern überlassen worden.