

Die Rolle der regenerativen Energien in der Zukunft - Entwicklungsmöglichkeiten und notwendige Rahmenbedingungen (Fallbeispiel Deutschland)

Joachim Nitsch¹

1. Zukünftige globale Bedeutung regenerativer Energien

Aus einer Gegenüberstellung aktueller globaler Energieszenarien (**Abb. 1**) ist ersichtlich, dass zukünftig weiterhin von einem Mehrbedarf an Energie infolge der Notwendigkeit einer Angleichung des weltweiten Pro-Kopf-Verbrauchs an Energie auszugehen ist. Alle Szenarien nehmen auch einen beträchtlichen Zuwachs an regenerativen Energien (REG) an; in Szenarien mit „business as usual“-Charakter (Shell, WEC A3 und B) steigen darüber hinaus jedoch sowohl der Bedarf an fossilen Ressourcen (und damit die Treibhausgasemissionen) und an Kernenergie. Lediglich Szenarien, die *gleichzeitig* eine weitaus effizientere Energienutzung (und damit einen absoluten Rückgang des Energieverbrauchs in den Industrieländern) unterstellen (WEC C1, RIGES, Factor 4, SEE), bieten die Chance zur substantiellen Verringerung des Verbrauchs endlicher Energieressourcen und von Treibhausgasemissionen.

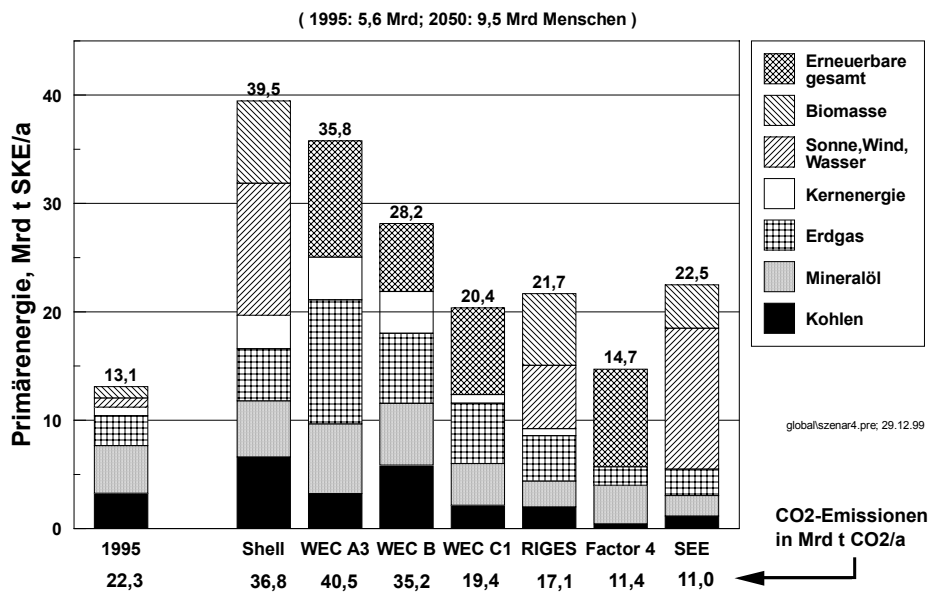


Abb.1: Aktuelle Szenarien des Weltenenergieverbrauchs für das Jahr 2050 (Bevölkerung 2050: 9,5 Mrd.; Shell = Szenario „Nachhaltige Entwicklung“ [Shell 1995]; WEC = Diverse Szenarien der Weltenergiekonferenzen 1995 und 1998 [WEC 1995, 1998]; RIGES = „Renewable Intensive Global Energy Scenario“ [Johansson 1993]; Factor 4 = Szenario aus [Lovins, Hennicke 1999]; SEE = Szenario „Solar Energy Economy“ [Nitsch 1999]; 1 Mrd. t SKE/a = 29,3 EJ/a.

¹ DLR Stuttgart; Institut für Technische Thermodynamik, Abt. Systemanalyse und Technikbewertung, (www.dlr.de/tt/system); Beitrag für die Tagung :Regenerative Energien – So können regenerative Energiequellen in Zukunft profitabel werden. Hotel Adlon Berlin; 4. –5. Dezember 2001

Ein deutlich verstärkter Ausbau REG stellt ein zentrales Element einer Nachhaltigkeitsstrategie dar; REG werden daher zu Recht als eine der Schlüsseltechnologien dieses Jahrhunderts bezeichnet. Die Aussagen der Szenarien unterscheiden sich lediglich in der Dynamik und Intensität des Ausbaus. Für die zukünftige Entwicklung der REG liegen folgerichtig in der EU und speziell in Deutschland für 2010 konkrete Zielsetzungen in Form des „Verdopplungsziels“ vor. Ebenfalls diskutierte langfristige Zielsetzungen bis zum Jahr 2050 mit potentiellen Beiträgen der REG von dann rund 50% am Energiebedarf Deutschlands sind anspruchsvoll, können aber zur Erreichen der bis dahin angestrebten 80%-igen Treibhausgasemissionen wesentliches beitragen; aus Potenzialsicht sind sie erreichbar.

2. Regenerative Energien in Deutschland – heutige energiewirtschaftliche Bedeutung, Umsätze und Förderung

Die deutsche Energiepolitik der letzten Jahre ist durch zahlreiche Widersprüchlichkeiten gekennzeichnet. Auf der einen Seite steht der rasante Vollzug der „Liberalisierung“ der leitungsgebundenen Energiewirtschaft mit einschneidenden – wenngleich zum Teil gewünschten – Folgen, wie Preissenkungen und einer stärkeren Kundenorientierung. Andererseits zeigen sich in wachsendem Ausmaß auch die Schattenseiten dieses im Wesentlichen frei laufenden Prozesses, nämlich Konzentration und Zentralisierung der Marktkräfte. Die ehemaligen Monopole sind dabei, sich zusehends zu schlagkräftigen Oligopolen zu entwickeln, die leicht in Versuchung geraten können, den „liberalisierten“ Markt neu aufzuteilen, um ihn wiederum wirksam kontrollieren zu können. Die erreichten Preiseffekte würden dann schnell wieder schwinden. Eine ökologische Flankierung des Liberalisierungsprozesses ist daher mehr denn je notwendig.

Ein Beispiel für den Veränderungswillen und die – fähigkeit der Energiepolitik ist der im Juni 2001 geschlossene Vertrag zwischen der Bundesregierung und den Betreibern der deutschen Kernkraftwerke über den sukzessiven Ausstieg aus der nuklearen Stromerzeugung. Die daraus resultierende energiepolitische Botschaft ist klar: Die deutsche Energiepolitik muss früher oder später ohne Kernenergie auskommen. Doch welche Folgen wird dies haben, wenn sich die Marktkräfte ohne wesentliche politische Flankierung weiter verselbstständigen? Wenn die Politik wirklich an Veränderungen interessiert ist, darf sie die Marktakteure jetzt nicht allein lassen. Denn die der Marktöffnung zugeschriebene Innovationsfunktion durch einen Wettbewerb der besten Konzepte wird es bei fehlender Chancengleichheit der Marktteilnehmer nicht oder in nur geringem Ausmaß geben. Werden die Klimaschutzziele ernst genommen, muss der weitere Weg in liberalisierten Energiemärkte daher mit deutlichen energiepolitischen Leitplanken versehen werden (Wuppertal 2000).

Die ersten Schritte in dieser Richtung sind ermutigend und geben zur Hoffnung Anlass. Die Einführung der ökologischen Steuerreform (inkl. Stromsteuer), das 100.000 Dächer Solarstrom -Programm, das Marktanreizprogramm zur Unterstützung von regenerativen Energien (REG), vor allem aber das Erneuerbare Energien-Gesetz (EEG), das längerfristig kalkulierbare Randbedingungen für die Stromerzeugung aus regenerativen Energien geschaffen hat und das weltweit effektivste Förderinstrument zur Markteinführung von REG im Strombereich ist, sind wesentliche Meilensteine dieser energiepolitischen Strategie. Die bisherigen Erfolge des EEG (bzw. des zuvor geltenden Stromeinspeisungsgesetzes) geben dem eingeschlagenen Weg auf eindrucksvolle Weise recht. In den letzten 10 Jahren sind im Bereich der Anlagengenerierung und des –betriebes knapp 40.000 neue Arbeitsplätze entstanden, und die Technologien haben sich zu einer merklichen Exportgröße entwickelt. In mehreren europäischen Staaten hat das EEG Nachahmer gefunden, und der Europäische Gerichtshof hat jüngst seine Kompatibilität mit den Beihilferichtlinien der EU bestätigt. Die Verwirklichung der Ausbauziele für REG bis 2010 stellt günstigstenfalls die „Eintrittskarte“ dar, aber erst mittels langfristiger Konzepte ist ein unumkehrbares Einschwenken in eine nachhaltige, klimaverträgliche Energieversorgung möglich. Erst danach können sich über die ausgelösten Investi-

tionen und Innovationen dauerhafte Vorteile für den Industriestandort Deutschland ergeben, insbesondere im Export. Trotz aller bisherigen Erfolge der Energiepolitik im Bereich der REG sollte dies nicht vergessen werden.

Die prinzipielle Unverzichtbarkeit eines deutlichen REG - Ausbaus ist weitgehender energiepolitischer Konsens, keineswegs jedoch die Art und Intensität ihrer auf absehbare Zeit noch erforderlichen Förderung. Eine Zwischenbilanz der Förderung und ihrer volkswirtschaftlichen Wirkungen ist deshalb für die weitere Diskussion zweckmäßig. Für die Markteinführung ist in erster Linie die finanzielle Förderung maßgeblich, mit der die Kostenunterschiede gegenüber konventionellen Formen der Energiebereitstellung verringert werden. Als besonders wichtiges Instrument für den Ausbau der REG - Stromerzeugung haben sich in Deutschland das 1991 eingeführte Stromeinspeisungsgesetz bzw. das seit dem vergangenen Jahr geltende EEG erwiesen. Danach ist die REG -Stromeinspeisung in das öffentliche Netz mit einem Mindestsatz zu vergüten, der über dem erzielbaren Marktpreis liegt. Die Kosten tragen zunächst die aufnehmenden Netzbetreiber, sie werden jedoch im Rahmen einer bundesweiten Ausgleichsregelung auf alle Stromverbraucher umgelegt. Diese Form der Förderung ist aus staatlicher Sicht gegenüber anderen Instrumenten wie Investitionszuschüssen, verbilligten Darlehen oder Steuervergünstigungen auch deshalb besonders attraktiv, weil dadurch öffentliche Haushalte nicht belastet werden und gleichzeitig die Wettbewerbsneutralität unter den EitVU gewahrt wird.

Seit jeher umstritten ist die Höhe der aus dem EEG resultierenden finanziellen Förderung², also die Differenz zwischen der vorgeschriebenen Mindestvergütung und dem „tatsächlichen“ Wert des Stroms aus REG, der sich aus den Kosten einer alternativen Strombeschaffung ergibt. Die großen Stromerzeuger setzen hierfür, wegen des Verdrängungswettbewerbes und den bestehenden Kraftwerksüberkapazitäten die aus der Stromerzeugung in bereits abbeschriebenen Kraftwerken resultierenden geringen Beschaffungskosten als Vergleichsbasis an, die bei 4 bis 5 Pf/kWh liegen. Volkswirtschaftlich korrekt ist es dagegen im Sinne einer längerfristigen Betrachtung Strombereitstellungskosten aus neuen Kraftwerken anzusetzen. Hinzu addieren sich Kosteneinsparungen für die Stromnetze, die daraus resultieren, dass Stromeinspeisungen aus REG überwiegend in der Mittelspannungsebene erfolgen. Reduzierend wirkt die geringere Leistungsverfügbarkeit von Wind- und Photovoltaikstrom. Insgesamt kann so von einem Wert des Stroms aus REG von 9 bis 10 Pf/kWh ausgegangen werden. Bezogen auf die mittlere Einspeisevergütung nach dem EEG von 16,7 Pf/kWh im vergangenen Jahr errechnen sich somit Differenzkosten von 980 Mio. DM [Jahrbuch 2001]. Jeder Pfennig Unterschied im anlegbaren Preis bzw. bei den auf die Kilowattstunde bezogenen Differenzkosten verändert das „Fördervolumen“ für REG unter Bezugnahme auf die Stromeinspeisung des letzten Jahres um 130 Mio. DM und bietet so Spielräume für eine durchaus unterschiedliche Bewertung der REG-Förderung [BMU 2000].

Summiert man die Fördervolumina aus den wichtigsten Maßnahmen zur Markteinführung von REG so ergibt sich für das abgelaufene Jahr ein Betrag von insgesamt etwa 2,3 Mrd. DM (**Tab.1**). Betrachtet man die Bereitstellung von Fördermitteln nach Technologiebereichen, so entfällt der mit Abstand größte Teil auf die Nutzung der Windenergie (**Abb. 2**). Mindestens ebenso bemerkenswert ist der - gemessen an ihrem Beitrag zur Energieversorgung - sehr hohe Förderetat für die Photovoltaik und die nach wie vor geringe Mittelbereitstellung für die Geothermie. Rechnet man alle stromerzeugenden Biomasseanlagen vollständig dem Strommarkt zu, so lässt sich bereits seit einigen Jahren ein starkes Auseinanderdriften der Fördersummen für strom- und wärmeerzeugende Systeme beo-

² Diese Förderung tritt übrigens indirekt bei einer Quotenregelung – einem weiteren diskutierten und in einigen europäischen Ländern praktizierten Förderungsinstrument - in ähnlicher Höhe auf und wird ebenfalls auf alle Energie- bzw. Stromverbraucher umgelegt.

bachten, die im Strommarkt inzwischen fast dreimal so hoch sind (Strom: 1 350 Mio. DM/a, Wärme 500 Mio. DM/a, Kraftstoffe 450 Mio. DM/a). Auch fällt der vergleichsweise hohe Förderaufwand für REG - Kraftstoffe auf. Ein rasches Nachholen des Wärmemarktes ist mit Blick auf den zukünftig erforderlichen Ausbau der REG in diesem Bereich deshalb mit Nachdruck geboten. Es genügt daher nicht, allein auf die Erfolge des EEG zu verweisen, wenn man das angestrebte Verdopplungsziel der REG für das Jahr 2010 im Auge hat. Zwar dürfte die Verdopplung im Strombereich relativ sicher erreicht, wenn nicht sogar überschritten werden. Im REG - Wärmebereich müssen aber noch deutlich verstärkte Marktanreizprogramme und marktwirtschaftliche Instrumente über eine Zuschussförderung hinaus in absehbarer Zeit vorliegen, wenn die erfreuliche Entwicklung im Kollektor- und Geothermiebereich des letzten Jahres nicht nur ein Strohfeuer bleiben soll. Dabei geht es weniger um die Frage der Förderbudgets als vielmehr um die Einführung längerfristig tragfähiger Instrumente. Das könnte beispielsweise eine Quote sein, etwa im Zusammenhang mit der Wärme aus Kraft - Wärme-Kopplung.

Tab. 1: Monetäre Förderung der Markteinführung regenerativer Energien aus den wichtigsten Förderinstrumenten auf Bundes- und Landesebene im Jahr 2000 [Jahrbuch 2001]

	Förderung [Mio. DM]	Berechnungsgrundlage
Erneuerbare Energien-Gesetz/ Strom-einspeisungsgesetz	980	Einspeisung von 13,2 Mrd. kWh bei einer mittleren Einspeisevergütung von 16,7 Pf/kWh und einem anlegbaren Wert für den Strom von 9,28 Pf/kWh
Marktanreizprogramm EE (Zuschüsse)	200	gestellte Anträge unter der Annahme, dass 20% der Vorhaben nicht realisiert werden
Marktanreizprogramm EE (Darlehen)	49	bewilligte Darlehen für Neuanlagen 182 Mio. DM, Barwert von 8,3% aus einer angenommenen Zinsverbilligung über 10 Jahre von etwa 1,5% p.a.
100.000 Dächer Solarstrom-Programm	115	neu installierte Leistung 42 MW _p , Investitionsvolumen 460 Mio. DM, Barwert von 25% aus einer Zinsverbilligung über 10 Jahre von etwa 4,5% p.a.
ERP-Umwelt-Programm	76	Darlehensvolumen für Neuanlagen 1,38 Mrd. DM, Barwert von 5,5% aus einer angenommenen Zinsverbilligung über 10 Jahre von etwa 1% p.a.
DtA-Umweltprogramm	81	Darlehensvolumen für Neuanlagen 0,98 Mrd. DM, Barwert von 8,3% aus einer angenommenen Zinsverbilligung über 10 Jahre von etwa 1,5% p.a.
Eigenheimzulage	3	nur Neuanlagen
Länderprogramme	186	
Mineralölsteuerbefreiung Biodiesel	450	auf der Basis eines Absatzes von 410 Mio. Litern und einem Mineralölsteuersatz von 1,10 DM/l
Ökosteuerebefreiung wärmeerzeugende REG	182	Steuersatz 0,32 Pf/kWh Erdgas und 4 Pf je Liter Heizöl, zzgl. MwSt.
Gesamtförderung	ca. 2.300	Ohne kommunale und private Förderung

Die Absolutbeträge der REG - Förderung lassen vielfach den Eindruck entstehen, dass daraus eine erhebliche finanzielle Belastung für jeden Bürger resultiert. Dies relativiert sich sehr stark, wenn man die entsprechenden „Aufschläge“ auf die Energiepreise betrachtet. Sie

betragen derzeit beim Strom insgesamt etwa 0,3 Pf/kWh, im Bereich der Wärmebereitstellung 0,04 Pf/kWh_{th} – entsprechend 0,4 Pf je Liter Heizöl – und bei Kraftstoffen 0,07 Pf/kWh – entsprechend rund 0,7 Pf je Liter Benzin oder Diesel. Sie sind damit deutlich geringer als die üblichen Preisschwankungen bei fossilen Energieträgern. Dies wird besonders augenfällig anhand der Heizölpreisentwicklung des vergangenen Jahres, als der Preis je Liter zwischen September 1999 und September 2000 um etwa 40 Pf anstieg.

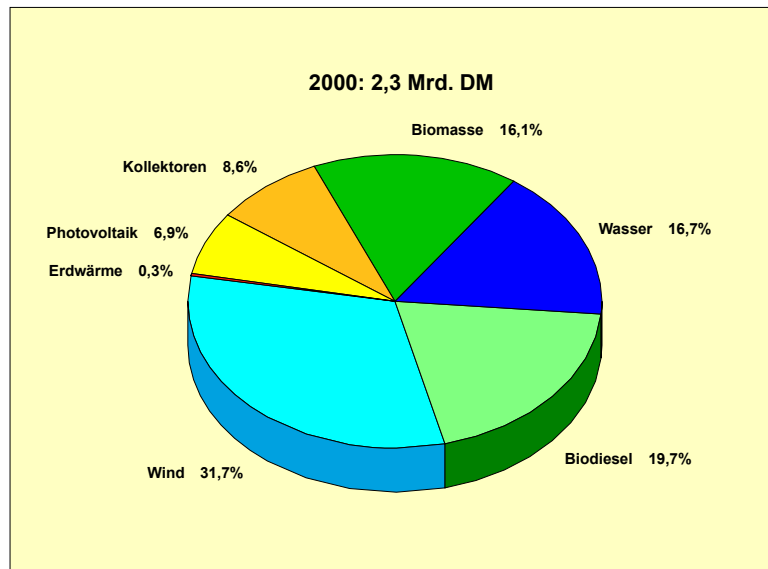


Abb. 2: Öffentliche Förderung regenerativer Energien im Jahr 2000 nach Technologien (ohne kommunale Förderung), [Jahrbuch 2001]

Die oben genannten Fördersummen induzieren inzwischen beachtliche Umsätze im Bereich der Anlageninvestitionen. Im Jahr 2000 sind rund 8 Mrd. DM/a in den Neubau von Anlagen geflossen, was gegenüber dem Vorjahr einer zweistelligen Zuwachsrate entspricht [Jahrbuch 2001; ohne Wärmepumpen]; (**Abb. 3**). Hinzu kommen Umsätze aus dem Betrieb der Anlagen in der Größenordnung von 4,8 Mrd. DM. Im investiven Bereich entfällt knapp die Hälfte der Umsätze, wie schon bisher, auf Windenergieanlagen. Es folgt die Biomasse, wobei die Kleinanlagen dominieren. Deutlich gewachsen sind die Umsätze im Kollektormarkt. Neben den günstigen Förderbedingungen hat auch der stark gestiegene Ölpreis dazu beigetragen. Berücksichtigt man neben den direkten Arbeitsplätzen (z.B. Verkauf von Anlagen sowie Umsätze aus dem Anlagenbetrieb) auch noch indirekte Arbeitsplatzeffekte (z.B. Wertschöpfung bei Vorlieferanten) so lässt sich abschätzen, dass inzwischen rund 100 000 Arbeitsplätze direkt oder indirekt von Ausbau und Nutzung der REG abhängen. Allerdings ist zu beachten, dass in anderen Bereichen der Energieversorgung Arbeitsplätze durch Verdrängungseffekte verloren gehen, so dass der Nettoeffekt geringer ausfällt.

Die ökologischen Effekte der Nutzung von REG bestehen in der Bereitstellung von 33 TWh/a Strom (Anteil an gesamter Stromerzeugung 6,6%), von 44 TWh/a Nutzwärme (Anteil 3,3%) und 3,7 TWh/a Kraftstoffen (Anteil 0,6%). Damit werden rund 300 PJ/a fossile Primärenergie (Anteil 2,2%) substituiert und der Ausstoß an Kohlendioxid um gut 40 Mio. t CO₂/a (Anteil 4,7 % des Ausstoßes von 2000 mit 858 Mio. t/a) verringert.

In der vergangenen Dekade ist es somit gelungen, den Anteil der REG an der deutschen Energieversorgung um etwa 70% zu steigern. Insbesondere bei den „neuen“ REG ist in den letzten Jahren ein deutliches Wachstum eingeleitet worden. Dass in keinem anderen Land der Welt mehr Strom aus Wind und mehr Niedertemperaturwärme aus Sonnenenergie produziert wird und selbst bei der Photovoltaik bislang nur Japan (und zur Zeit noch die USA)

mehr erreicht hat, ist umso bemerkenswerter, als Deutschland seitens der natürlichen Ressourcen keineswegs als bevorzugt bezeichnet werden kann. Allerdings verschieben sich bei Betrachtung der Pro-Kopf-Zahlen teilweise die Relationen zugunsten kleinerer Länder. Diese Entwicklung hat natürlich auch sehr positive Auswirkungen auf die technologische und industriepolitische Wettbewerbsposition im internationalen Energieanlagenmarkt.

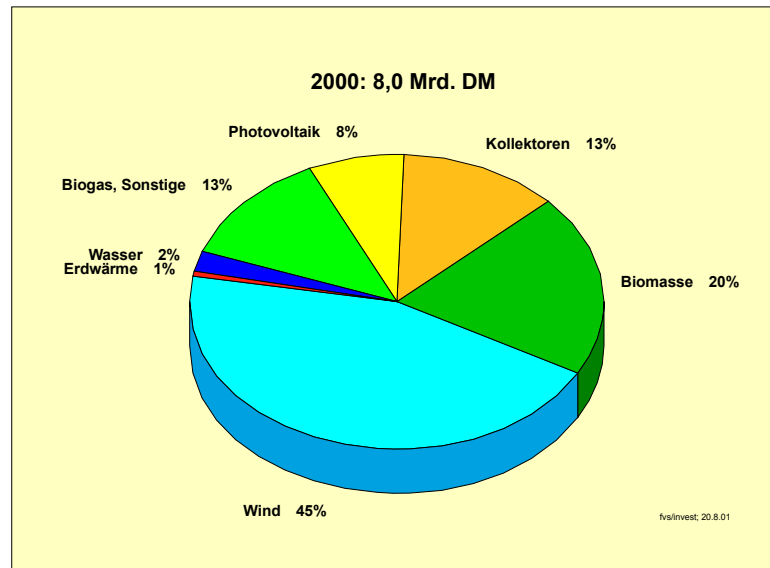


Abb. 3: Umsätze im REG – Markt im Jahr 2000 nach Technologien

3. Technischen Potenziale der zukünftigen Energieerzeugung aus REG und deren Kostenstruktur

a) Stromerzeugung

Die gegenwärtigen Kosten von REG - Techniken überstreichen eine beträchtliche Bandbreite. Ohne Berücksichtigung der Photovoltaik, deren heutige Stromkosten in Deutschland zwischen 115 und 180 Pf/kWh liegen, bewegen sich die derzeitigen Stromgestehungskosten zwischen **4 und 35 Pf/kWh**; sie variieren also um etwa eine Größenordnung. Die beträchtlichen technisch verfügbaren Potenziale der REG zur Stromerzeugung lassen sich nach Kostenklassen zusammenfassen. Ohne Stromimport beläuft sich die technische Potenzialuntergrenze für Deutschland bereits auf rund **450 TWh/a**. Je nach der Nutzungsintensität von Offshore-Wind-Potenzialen, der Nutzung weiterer Dachflächen für die Photovoltaik und der Erschließung der Potenziale des Stromimports kann der heutige Stromverbrauch Deutschlands praktisch vollständig mit REG gedeckt werden. Außer der Wasserkraft und der Biomasse besitzen alle Technologien noch teilweise beträchtliche Kostenreduktionsmöglichkeiten, die u.a. auch von ihren Marktvolumina abhängen. Diese Rückkopplung ist von wesentlicher Bedeutung für Art und Ausgestaltung von Förderinstrumenten, die eine längerfristig wirksame Mobilisierung der REG zum Ziele haben. Die Analyse in [HGF 2001] führt zu der in **Abb.4** dargestellten Kostenstruktur der Potenziale.

Derzeit existiert ein kostengünstiges Potenzial mit Stromkosten bis zu **0,15 DM/kWh** in Höhe von rund **25 TWh/a**. Zwischen 0,15 und 0,25 DM/kWh liegen rund 65 TWh/a. Weitere 190 TWh/a kosten mehr als 0,25 DM/kWh, davon allein 150 TWh/a der Photovoltaik. Das kos-

tengünstige Potenzial allein reicht derzeit nicht aus, um die angestrebte Verdopplung des Beitrags bis 2010 zu erreichen. Dazu muss auf die nächste Potenzialklasse zurückgegriffen werden. Stromerzeugung aus Geothermie steht derzeit noch nicht zur Verfügung; Stromimport wird erst im Potenzial 2020 berücksichtigt.

Wird die Marktentwicklung aller Technologien ausreichend stimuliert, so kann das kostengünstige Potenzialsegment mit Kosten zwischen 0,10 und 0,15 DM/kWh infolge Kostendegressionen und Marktzutritt neuer Technologien (Offshore-Wind; Geothermie) bis 2010 auf rund **90 TWh/a** anwachsen. Aus demselben Grund wächst das Gesamtpotenzial auf rund 450 TWh/a. Längerfristig (> 2020) kann durch weitere Mobilisierung aller Technologien das kostengünstige Potenzialsegment (Kosten < 0,15 Pf/kWh) auf rund **350 TWh/a** steigen, das Gesamtpotenzial 600 TWh/a überschreiten. Das entspricht mehr als dem heutigen Stromverbrauch in Deutschland.

b) Wärmeerzeugung

In entsprechender Weise lässt sich auch das Potenzial zur Wärmebereitstellung strukturieren (**Abb. 5**). Insgesamt ergibt sich ein Nutzungspotenzial von 960 PJ/a (Endenergie), was rund 65 % der derzeitig zur Wärmeerzeugung eingesetzten Brennstoffmenge entspricht. Etwa zwei Drittel stehen jedoch derzeit aus strukturellen und technischen Gründen noch nicht zur Verfügung (Solare Nahwärme mit hohem Solaranteil, Erdwärme aus tiefen Schichten, Biomasse aus Energieplantagen). Das preisgünstige Potenzial unter 15 Pf/kWh_{th} in Höhe von derzeit knapp 100 PJ/a besteht ausschließlich aus Biomassereststoffen. Kostendegressionen erhöhen dieses Potenzial bis zum Zeitpunkt 2010 auf rund 235 PJ/a. Ist im Jahr 2020 das technische Potenzial vollständig erschließbar, so kann knapp die Hälfte davon (395 PJ/a) in diese Kostenkategorie eingestuft werden.

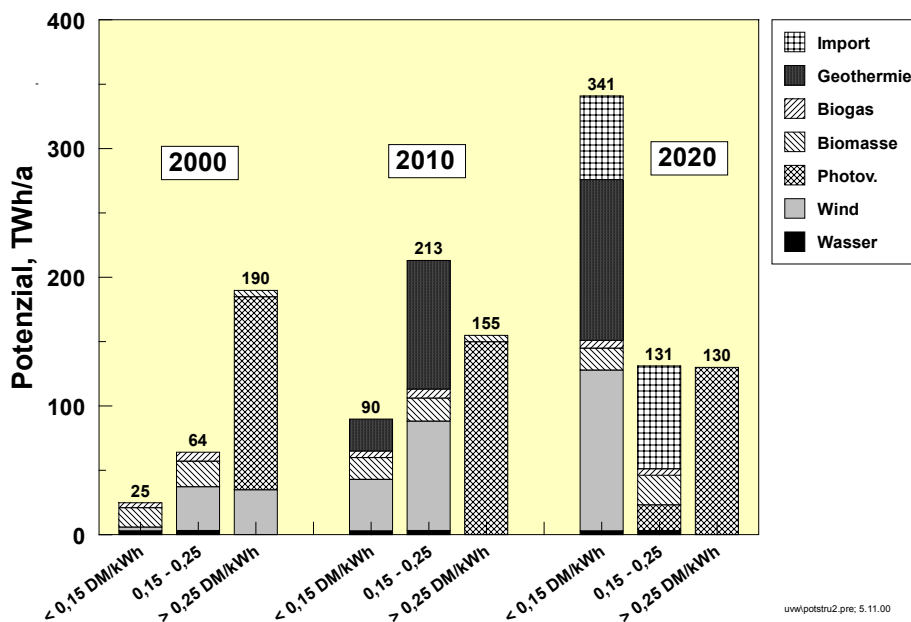


Abb. 4: Kostenstruktur der in den Jahren 2000, 2010 und 2020 verfügbaren Potenziale von REG zur Stromerzeugung.

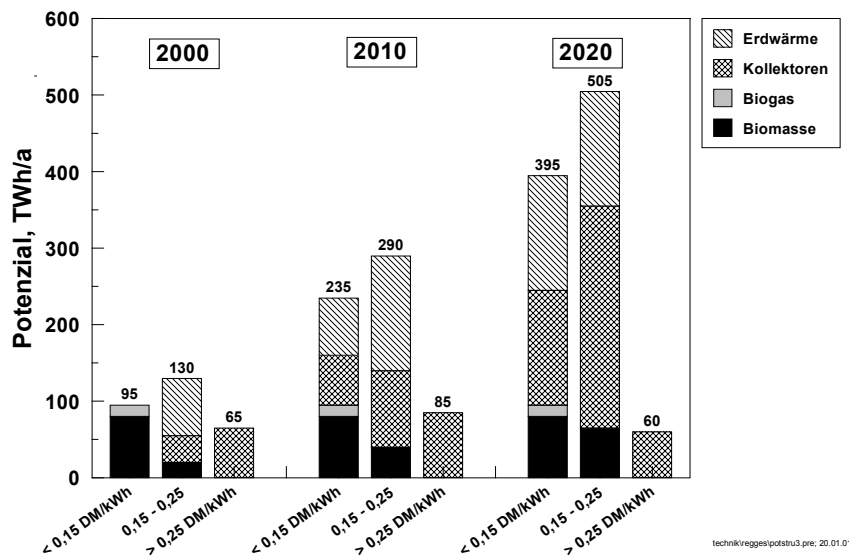


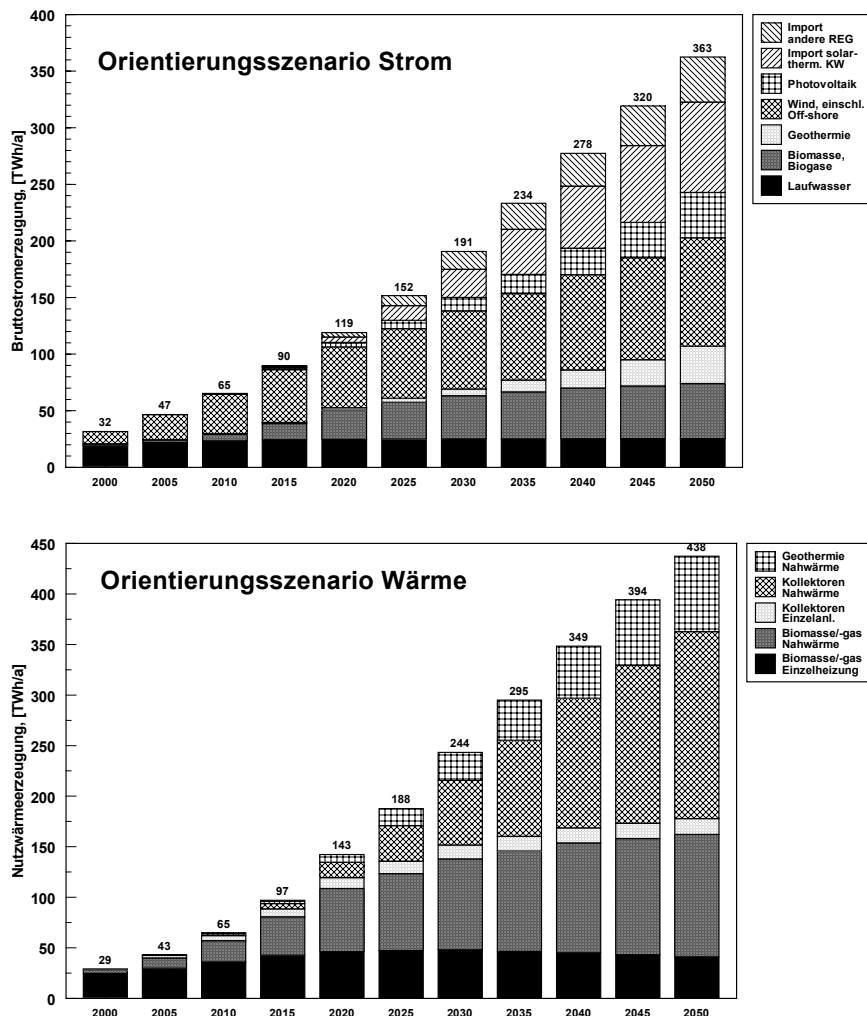
Abb. 5: Kostenstruktur der in den Jahren 2000, 2010 und 2020 verfügbaren REG - Potenziale zur Wärmeerzeugung.

4. Der Ausbau regenerativer Energien in längerfristiger Perspektive – ein „Orientierungsszenario“

Um die Wirkungen eines Ausbaus von REG auf das Energiesystem unter ökonomischen, ökologischen und sozialen Gesichtspunkten abschätzen zu können, bedarf es einer Vorstellung darüber, in welchem Ausmaß REG in den nächsten Jahrzehnten zur Energieversorgung Deutschlands beitragen können. Als „Einstieg“ für den Zeitraum bis 2010 dient dazu eine Zubauentwicklung, die sich am Verdopplungsziel der Bundesregierung (und der EU) orientiert. Dieser geht von einer „ausgewogenen“ Mobilisierung **aller Technologien** aus, so dass diese spätestens nach 2010 in die Lage versetzt werden eigenständig wachsende Märkte herauszubilden. Die Erreichung dieses Zwischenziels ist eine wesentliche Voraussetzung dafür, dass REG überhaupt in den nächsten Jahrzehnten eine wichtige Rolle am Energiemarkt bestreiten können [BMU 2000]. Für den Zeitraum nach 2010 wird davon ausgegangen, dass sich die angestoßene Ausbaudynamik im Rahmen der liberalisierten Märkte mit entsprechend angepassten Instrumenten weiter aufrechterhalten lässt. Auf der Basis dieser günstigen Rahmenbedingung wird ein „Orientierungsszenario“ des REG-Ausbaus dargestellt, welches einen Ausbaupfad bis zum Jahr 2050 beschreibt. Er stellt etwa die obere Leitplanke des zukünftig möglichen Beitrags von REG an der Energiebedarfsdeckung dar [HGF 2001]. Der Zeithorizont 2050 ist erforderlich um dem langfristigen Charakter des Aufbauprozess von REG gerecht werden und den Übergang von energiepolitisch gestützten Märkten, z.B. mittels Erneuerbarem Energie Gesetz (EEG) oder europäisch harmonisierten Quotenregelungen mit Zertifikaten zu eigenständigen Märkten darstellen zu können [Öko/DLR 2001]

Die Beiträge der einzelnen Technologien im Orientierungsszenario zeigen bis zum Jahr 2020 im Strombereich (**Abb. 6, oben**) die Dominanz der Windenergie, die um 2005 die Wasserkraft überholt. Alle anderen Technologien etablieren sich ab ca. 2010 ebenfalls in beträchtlichem Umfang am Markt mit bis zum zehnfachen Marktvolumen gegenüber heute. So erweitert vor allem Biomasse und Biogas ihren Beitrag bis 2020 deutlich und übertreffen dann ebenfalls die Wasserkraft. Der Import von Strom aus REG ist ab etwa 2015 Bestandteil dieses Orientierungsszenarios. Der Anteil von REG erreicht, bezogen auf den gegenwärtigen Nettostromverbrauch von 510 TWh/a, im Jahr 2010 rund 13 % und im Jahr 2020 rund 23 % (1999: 5,7 %).

Im Wärmebereich (**Abb. 6, unten**) sind sowohl Ausgangssituation und Mobilisierungsbedingungen schwieriger. Ein dem EEG vergleichbares Förderinstrument gibt es hier nicht, der jetzige Beitrag ist mit rund 2 % am Brennstoffbedarf noch gering. Große Anteile von REG im Wärmebereich erfordern u.a. den Einsatz größerer Anlagen mit Nahwärmenetzen für die heute noch keine adäquaten Förderinstrumente existieren. Die Wahrscheinlichkeit, die Ausbauziele 2010 und 2020 zu erreichen, ist hier deutlich unsicherer als bei der Stromversorgung. Bis 2020 dominiert die Nutzung der Biomasse, wobei wachsende Anteile von KWK - Anlagen zum Einsatz kommen. Im Jahr 2020 decken REG rund 10% des Nutzwärmebedarfs (Bezugswert 1999).



HGF-bericht/orientsz.pre; 7.2.01

Abb. 6: Orientierungsszenario für den möglichen Ausbau von REG in der Stromerzeugung (oben) und der Wärmeerzeugung (unten) bis 2050 unter günstigen energiepolitischen Rahmenbedingungen

Die eigentliche Dynamik eines REG - Ausbaus wird erst nach 2020 deutlich, da dann infolge einer deutlichen Verringerung der Kostenschiere von einer weitgehenden Wirtschaftlichkeit der meisten REG - Technologien ausgegangen werden kann und damit energiepolitische Instrumente und Fördermittel größtenteils nicht mehr benötigt werden. Die Analyse bis 2050 führt – getrennt nach Strom- und Wärmebereitstellung – zu folgenden Ergebnissen :

Im Strombereich sind um 2020 die Potenzialgrenzen bei Wasserkraft mit 25 TWh/a zu 100 % ausgeschöpft. Auch das Wachstum von KWK - Anlagen auf der Basis von Biomasse verlangsamt sich nach starkem Wachstum zwischen 2010 und 2010 bereits wieder. Wind wächst weiterhin, wobei der Ersatzbedarf für heutige Anlagen an Bedeutung gewinnt. Die übrigen Technologien, also Photovoltaik, Strom aus Erdwärme und Stromimport, beginnen mit ihrem energiewirtschaftlich relevanten Wachstum erst nach 2020. Um 2040 kann unter den genannten Rahmenbedingungen mit dem Überschreiten der 50 %-Marke an der Stromerzeugung und bis zur Jahrhundertmitte mit dem Erreichen der 65 %-Marke gerechnet werden. Die in REG - Anlagen insgesamt installierte Leistung beträgt zu diesem Zeitpunkt 120 GW (Wasser 5; Wind 40; Biomasse 10, Photovoltaik 40; Geothermie 5, Importleistung 20 GW). Damit ist auch die Biomasse völlig erschlossen, während die anderen inländischen Potenziale erst zu etwa 30 bis 35 % ausgeschöpft sind. Importpotenziale stehen noch in sehr großem Umfang zur Verfügung [TAB 2000]. Potenziell sind also auch nach 2050 noch große Spielräume für eine weitergehende Deckung des Strombedarfs durch REG vorhanden.

Im Wärmemarkt stützt sich der Zuwachs nach 2020 weitgehend auf Nahwärmanlagen, wobei sowohl bei Kollektor- wie auch Erdwärmanlagen lang anhaltende mittlere Zuwachsraten um 10 %/a bei jährlichen Umsätzen um 20 Mio. m²/a bzw. 1.000 MW_{th}/a (Erdwärme) vorausgesetzt werden. Bis 2040 sind, in Verbindung mit der Stromerzeugung in KWK - Anlagen die Potenziale der Biomasse vollständig ausgeschöpft. Solarkollektoren und Erdwärme verfügen zwar noch über weitere Nutzungspotenziale, jedoch sind bedarfsseitig (Höhe des Niedertemperaturbedarfs) um 2050 die Nutzungsmöglichkeiten weitgehend ausgeschöpft. Ein weiteres Vordringen der REG in der Energieversorgung erfordert spätestens dann die Bereitstellung eines speicherbaren Energieträgers, wozu sich insbesondere Wasserstoff anbietet.

5 . Einordnung des REG - Ausbaus in die gesamte Energieversorgung

Mit der Ausweitung des Beitrags von REG in der Energieversorgung sind erhebliche Umstrukturierungen der heutigen Erzeugungs- und Nutzungsstrukturen für Energie verbunden. Da gleichzeitig neben die (Teil-) Strategie des REG - Ausbaus eine gleichwertige (Teil-) Strategie zur deutlich rationelleren Energienutzung treten muss, ist zu prüfen, wie diese Teilstrategien in kompatibler Form zusammenwirken können. Für die unterstellte Gesamtentwicklung der Energieversorgung wurden dazu die maßgebenden Eckwerte bis 2020 [Prognos 2000; vgl. auch Politik 1999] entnommen und näherungsweise bis 2050 fortgeschrieben [Langniß u.a. 1997; FEES 2001]. Die derzeit wirksamen energiepolitischen Rahmenbedingungen und Zielsetzungen wurden berücksichtigt. Der obige REG - Ausbau wurde dementsprechend mit einer Strategie der intensivierten Effizienzsteigerung (REN - Strategie) bei der Energiewandlung (Kraft-Wärme-Kopplung - KWK) und Energienutzung (insbesondere Raumheizung; Verkehr) verknüpft.

Diese REN - Strategie ist durch eine Verringerung der Primärenergieintensität bis 2020 um durchschnittlich - 3,2 %/a gekennzeichnet (Referenz nach [Prognos 2000]: -2 %/a) und zwischen 2020 und 2050 um durchschnittlich - 2,2 %/a. Im Jahr 2050 beträgt demnach die Primärenergieintensität noch 27 % des Wertes von 1999. Der entsprechende Wert für die Endenergie liegt bei 32 %, der für Elektrizität bei 50 %. In Verbindung mit dem angenommenen Wachstum des Bruttoinlandsprodukt um 48 % bis 2020 und um 105 % bis 2050 resultiert daraus zu diesem Zeitpunkt ein Endenergieverbrauch von 6.100 PJ/a und ein Stromverbrauch von 1.775 PJ/a. Der gesamte Endenergieverbrauch geht also bis 2050 auf zwei Drittel des heutigen Wertes zurück. REG tragen dann mit 45 % zur Endenergiebereitstellung bei. Der Anteil von REG am Primärenergieeinsatz beträgt 2050 knapp 43 %; die CO₂-Emissionen aus der energetischen Nutzung sinken bis 2010 auf 75 % des Bezugswertes 1990, auf 51 % im Jahr 2030 und auf 23 % im Jahr 2050.

Der Zeitraum von 50 Jahren erlaubt prinzipiell eine weitgehende Umgestaltung der Energieversorgung, wenn der Umbau zielgerichtet und stetig erfolgt. In der Stromerzeugung ergeben sich daraus die in **Abb. 7** dargestellten Strukturveränderungen im Stromsektor. Der Rückgang der Kernenergie verläuft entsprechend des „Energiekonsenses“ mit einer Regellaufzeit von 32 Kalenderjahren. Im nahezu konstant bleibenden Strommarkt verlagert sich die Investitionstätigkeit zu Gas-GuD - Kondensationskraftwerken, KWK - Anlagen (einschließlich Brennstoffzellen) und REG - Anlagen. Bis 2020 bleibt der Steinkohleeinsatz bei einer Verlagerung hin zum KWK-Bereich, nahezu konstant, der Braunkohleeinsatz verringert sich um rund 15 %, dagegen steigt der Gaseinsatz auf das Dreifache, wovon jedoch der größte Teil in KWK-Anlagen eingesetzt wird. REG-Anlagen haben zu diesem Zeitpunkt einen Anteil von 21 % an der Stromerzeugung. Nach 2020 beschleunigt sich der Strukturwandel hin zu REG. Im Jahr 2050 besteht die fossile Stromversorgung im wesentlichen aus Gas-GuD - Anlagen, die sich dem Stromangebot der REG anpassen und aus KWK - Anlagen auf Gas- und Steinkohlebasis.

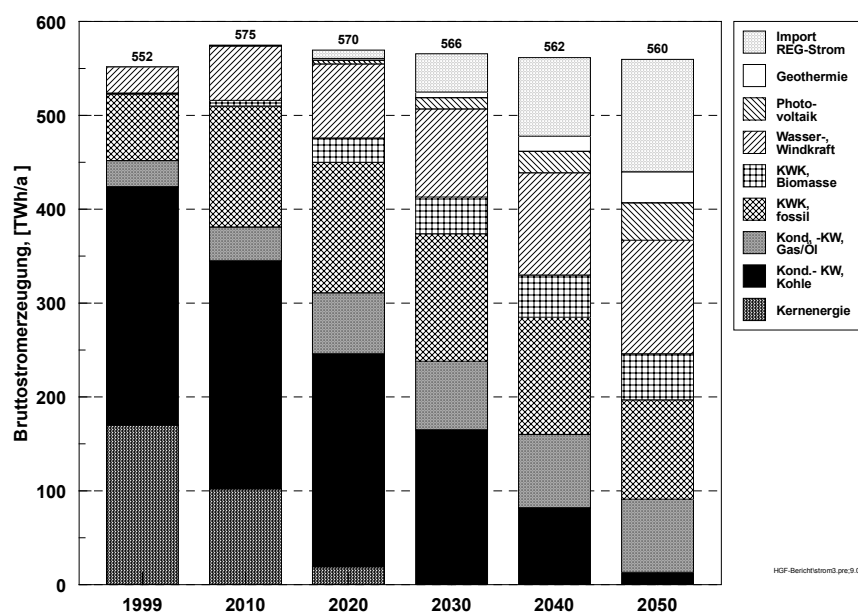


Abb. 7: Bruttostromerzeugung nach Kraftwerksarten im Orientierungsszenario bis 2050, getrennt nach Kondensationskraftwerken, KWK- und REG-Anlagen.

Die CO₂-Emissionen der Stromversorgung sinken von 293 Mio. t/a im Jahr 1999 auf 276 Mio. t/a bis 2020 nur leicht. Der Abbau der Kernenergie führt nicht zu Mehremissionen, die gewünschten nationalen Reduktionsziele können in diesem Zeitraum allerdings nur von den übrigen Verbrauchssektoren erbracht werden. Nach 2020 sinken die Emissionen dagegen deutlich und belaufen sich im Jahr 2050 noch auf 70 Mio. t/a, also auf nur noch 25% des heutigen Wertes. Die CO₂-Intensität der gesamten Stromerzeugung liegt dann bei 0,125 kg/kWh_{el}. Der in der Abbildung gezeigte Strukturwandel der Stromversorgung ist mit der Altersstruktur der bestehenden Kraftwerke kompatibel.

Im Wärmebereich (**Abb. 8**) wird der Einfluss einer forcierten REN - Strategie noch deutlicher. Der Endenergieeinsatz für Wärme sinkt bis 2050 auf 60 % des heutigen Wertes, wovon die Verringerung des Raumwärmebedarfs um nahezu 50 % den größten Anteil hat. Gleichzeitig verändert sich, ähnlich wie bei der Stromversorgung, auch hier die Versorgungsstruktur in diesem Zeitraum sehr weitgehend. Derzeit stammen 88 % der gesamten Wärme aus Einzelheizungen und nur 12 % aus Fern- und Nahwärmeversorgungen. Im Jahr 2050 ist die direkte Versorgung mit Gas, Heizöl, Biomasse und Strom auf 32 % geschrumpft, aus Fern- und

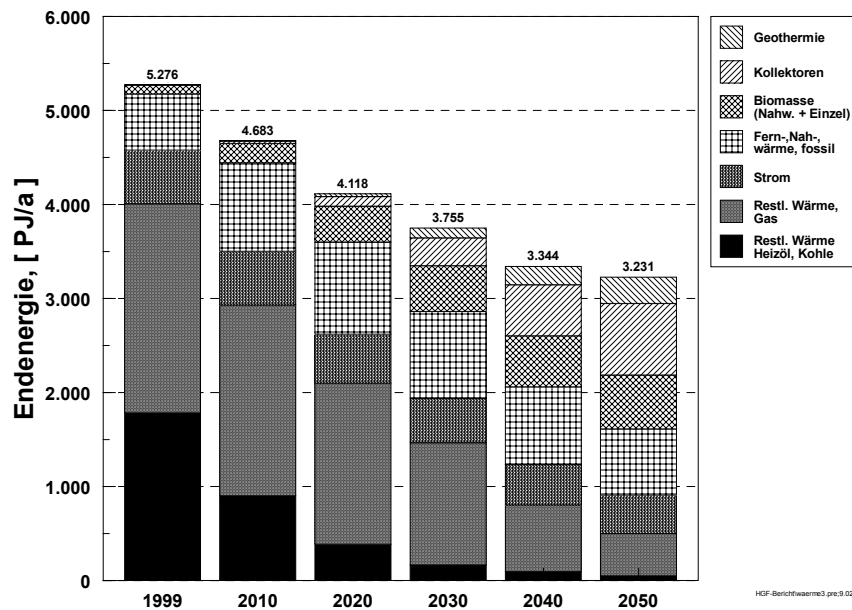


Abb. 8: Strukturveränderungen im Wärmemarkt im Orientierungsszenario bis 2050 nach Einzelsystemen und Fern- und Nahwärmeversorgungen.

Nahwärmeversorgungen (fossil, Biomasse und Erdwärme) kommen 45 % und aus Kollektoranlagen 23 %. Die Umsetzung dieser Veränderungen erfordert eine beschleunigte Altbauanierung und *gleichzeitig* ein Vordringen von Nahwärmenetzen und -inseln in Altbaubestände.

Der weitere Ausbau der KWK verstärkt die Wechselwirkungen zwischen Strom- und Wärmeversorgung. Er kann die für eine breitere Nutzung von REG notwendigen Strukturen vorbereiten, da der KWK-Ausbau bis 2020 im wesentlichen abgeschlossen sein wird. Im Gegensatz zur Stromerzeugung sinken die CO₂-Emissionen der Wärmebereitstellung bereits bis 2020 deutlich von derzeit rund 350 Mio. t/a auf 215 Mio. t/a, also um 40 %, und kompensieren so den geringen Rückgang in der Stromerzeugung. Bis 2050 ist die Wärmeerzeugung mit CO₂-Emissionen von 50 Mio. t/a nur noch in sehr geringem Ausmaß an den Treibhausgasemissionen beteiligt.

6. Zusammenfassung der Wirkungen . . .

Der lange Betrachtungszeitraum des „Orientierungsszenarios“ erlaubt es, den gesamten Prozess einer REG-Einführung – der aus energiewirtschaftlicher Sicht gerade erst beginnt – mit hinreichender Genauigkeit beschreiben zu können. Es können dabei mehrere Phasen unterschieden werden: Bis 2010: Energiepolitisch gestützter „Einstieg“ /vgl. UBA 2000/; 2010 – 2020: „Stabilisierung“ des Wachstums, 2020 – 2030: Vollwertige „Etablierung“, nach 2030: Beginnende „Dominanz“ in der Energieversorgung. Die bedarfsbestimmenden Eckdaten für die gesamte Energieversorgung bis 2050 (Bevölkerung, BIP-Wachstum, Anzahl Haushalte, Gebäude und Wohn- bzw. Nutzflächen, Fahrzeuge und Fahrleistungen u.a.) sind Trendentwicklungen entnommen. Der energiewirtschaftlichen Struktur des Szenarios liegt dagegen ein Zielkatalog zugrunde, der den angestrebten Zustand der wesentlichen energierelevanten Nachhaltigkeitsindikatoren bis zum Jahr 2050 enthält. Der Ausbau der REG- Technologien im Rahmen des hier beschriebenen Orientierungsszenarios hat zusammenfassend folgende Wirkungen auf Umwelt, Volkswirtschaft und Gesellschaft:

- Mit rund 2.800 PJ/a tragen REG im Jahr 2050 zu 45 % zum (bis dorthin um 35 % reduzierten) **Endenergieverbrauch** bei. Die technischen Potenziale der Einzeltechnologien

erlauben nach 2050 einen weiteren Ausbau bis zu einer prinzipiell 100 %-igen Deckung des Energiebedarfs durch REG.

- Zur Reduktion der **CO₂-Emissionen** im Orientierungsszenario zwischen **1999 und 2050** um insgesamt 610 Mio. t/a tragen REG mit rund 220 Mio. t/a bei; insgesamt 300 Mio. t/a tragen die verstärkte rationelle Energienutzung (d.h. über die Trendentwicklung hinaus) einschließlich des Ausbaus der Kraft-Wärme-Kopplung bei. Im Jahr **2020 betragen die CO₂-Emissionen 650 Mio. t/a** (= 66% von 1990), bis 2010 werden die ursprünglichen Kyoto-Reduktionsziele (Reduktion um 21% bis 2008 – 2012) mit – 25% erreicht.
- Die mit dem Ausbau von REG verknüpften **ökologischen Belastungen** entstehen im wesentlichen **durch die Anlagenherstellung**. Für den REG-Anlagenmarkt im Jahr 2050 werden 5% der (heutigen) Stahlproduktion, 6% der NE-Metallproduktion und 0,4% der Steine/Erden-Produktion benötigt. Die im Mittel höhere Materialintensität von REG - Anlagen, verglichen mit fossil betriebenen Kraftwerken oder Heizungen, ist kein gravierendes Hindernis für deren Ausbau. Weitere ökologische Auswirkungen eines REG-Ausbaus können bei sorgfältiger Planung, angepasster Auslegung und bei möglichst rationeller Energienutzung verglichen mit alternativen Optionen weitgehend vermieden werden.
- Das zur Erfüllung der Zielvorgaben erforderliche **Wachstum der REG-Technologien** kann von einer modernen Industriegesellschaft leicht bewältigt werden. Für einen effektiven Einstieg in die Energiewirtschaft ist jedoch eine gute Abstimmung des Wachstums der Einzeltechnologien untereinander erforderlich.
- Der Ausbau der REG-Technologien entwickelt sich bei den angenommenen Ausbauraten zu einem beachtlichen **Wirtschaftsfaktor**. Die Anlageninvestitionen im Jahr 2050 von rund 50 Mrd. DM/a (**Tabelle 2**) entsprechen etwa dem Wert der Mineralölimporte des Jahres 2000. Schätzungsweise 250.000 Bruttoarbeitsplätzen werden durch sie hervorgerufen. REG zeigen insgesamt eine **positive Arbeitsplatzbilanz**

Tabelle 2: Jährliche Investitionen in REG-Technologien (Mio. DM/a, Geldwert 1999) im Orientierungsszenario bis zum Jahr 2050 (in 2000 andere Abgrenzung als in [Jahrbuch 2001])

	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Stromversorgung *)	4750	5845	11360	14158	18450	23635
Wärmeversorgung **)	2550	5143	10087	14335	20212	26079
Gesamt	7300	10988	21447	28493	38662	49714
Anteil an PEV (%)	2,2	4,3	9,2	18,7	30,3	42,6

*) ab 2015 einschl. Investitionen für Solarstromimport; **)einschließlich Nahwärmenetze

- Die Substitution fossiler Energien durch REG (sowie durch rationelleren Energieeinsatz) erhöht die **Versorgungssicherheit** bei der Energieversorgung. Die Importquote sinkt von derzeit 60% auf 35% im Jahr 2050. Parallel dazu erfolgt eine zunehmende **Abkopplung von zu erwartenden Preisanstiegen** bei fossilen Energierohstoffen.
- Die im Orientierungsszenario beschriebene Entwicklung kann nicht isoliert in Deutschland ablaufen. Abgesehen von Vorreitereffekten, die aus Wettbewerbssicht für einen gewissen Zeitraum Vorteile erbringen können, muss eine vergleichbare Entwicklung EU-weit und letztlich global stattfinden. REG -Technologien ermöglichen in besonderem Maße ar-

beitsteilige **Kooperationen zwischen Industrie- und Entwicklungsländern**, woraus sich erhebliche Chancen für eine beiderseitige „win-win“ – Situation ableiten lassen.

. . . und der energiepolitischen Erfordernisse

- Auf der Basis heutiger und in absehbarer Zeit bestehender Energiepreise sind REG - Technologien in größerem Ausmaß **noch nicht wirtschaftlich**. Sie benötigen daher „geschützte“ Märkte, um sich hinsichtlich Marktgröße, Kostendegression und Technologiereife in dem im Orientierungsszenario unterstellten Ausmaß entwickeln zu können.
- Die Unterstützung der REG muss ausreichend lang bestehen, aus heutiger Sicht – abgestuft nach Technologien – bis etwa zum Jahr 2020. Dies verlangt eine außerordentlich **zielstrebige und langfristig angelegte Energiepolitik**. Die durch diese Vorleistungen hervorgerufene spezifischen Mehrbelastungen sind mit maximal 1 Pf/kWh allerdings relativ gering. Je nach Preisanstieg fossiler Energien kann die im Orientierungsszenario bereitgestellte Energie ab 2030/2040 kostengünstiger werden, als diejenige ohne REG-Ausbau.
- Das für einen selbsttragenden REG-Ausbau erforderliche **Strom- bzw. Wärmekostenniveau liegt bei etwa dem Zweifachen der heutigen Werte** (Strom und Wärme aus Neuanlagen). Rationellere Energienutzung reduziert die absoluten Mehrkosten bis 2050 auf real 30% bei einem gegenüber heute zweifach höheren Pro-Kopf-Einkommen. Die relativen Ausgaben für Energie sind dann also geringer als heute.

Als Fazit kann festgehalten werden, dass ein deutliche Erhöhung des Anteils von REG an der zukünftigen Energieversorgung die derzeitigen **Nachhaltigkeitsdefizite der Energieversorgung deutlich mindern** kann ohne größere neuartige, nicht bewältigbare Probleme aufzuwerfen. Die Entlastungseffekte treten allerdings anfänglich nur langsam in Erscheinung und erfordern ausreichend hohe und lang andauernde Vorleistungen. Die Wirkung kann in Verbindung mit einer ebenfalls anspruchsvollen **Strategie der rationelleren Energienutzung** erheblich beschleunigt werden. Letztere ist sogar Voraussetzung, damit sich die anfänglich erforderlichen Aufwendungen in REG-Technologien in Grenzen halten und aus ihrem Einsatz ein ausreichend hoher Nutzen in hinreichend kurzer Zeit resultiert. In Vorbereitung auf eine effektive Marktteilnahme von REG müssen solange Unterstützungsmaßnahmen ergriffen werden, bis die Energiepreise aktiv (d.h. mittels gezielter Energie- oder Emissionssteuern; Umwelt- oder Emissionszertifikate) oder passiv (Ressourcenverknappung und deren Folgen) ein deutlich höheres Niveau (im Mittel zweifach) als derzeit erreichen.

7. Literatur

- BMU 2000 J. Nitsch, M. Fishedick, N. Allnoch, F. Staiß u.a.: Klimaschutz durch Nutzung regenerativer Energien. Studie im Auftrag des BM für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und des Umweltbundesamtes, Berichte des UBA 2/00, Erich Schmidt Verlag Berlin, 2000
- FEES 2001 Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalyse, Modellexperiment II. Executive summary (Rev.01) und Rahmendaten. Download www.ier.uni-stuttgart.de
- F. Staiß: Jahrbuch Erneuerbare Energien 2000. Bieberstein-Verlag, Ra-

Jahrbuch 2001	debeul. 2001
Johansson 1993	T. B. Johansson, H. Kelly et al.: Renewable Energy Sources for Fuels and Electricity. Island Press, Washington DC, 1993
Langniß et al. 1997	O. Langniß, J. Nitsch, J. Luther, E. Wiemken, Strategien für eine nachhaltige Energieversorgung – Ein solares Langfristszenario für Deutschland. Studie von DLR Stuttgart und Fraunhofer Institut ISE Freiburg, Stuttgart, Freiburg, Oktober 1997
Lovins/Hennicke 1999	P. Hennicke, A. Lovins. Voller Energie – Die globale Faktor Vier-Strategie für Klimaschutz und Atomausstieg. Campus Verlag, 1999
Nitsch 1999	J. Nitsch: „Entwicklungsperspektiven regenerativer Energien und ihre Bedeutung für die Energieversorgung von Entwicklungsländern.“ In Tagungsband zur Tagung: „Märkte der Zukunft – Erneuerbare Energien für Entwicklungsländer. Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Friedrichshafen, 127.1.1999.
HGF 2001	J. Nitsch, C. Rösch u.a.: Schlüsseltechnologie Regenerative Energien. Teilbericht im Rahmen des HGF-Verbundprojekts: „Global zukunftsfähige Entwicklung – Perspektiven für Deutschland“, DLR Stuttgart, FZK Karlsruhe, Juli 2001.
Öko/DLR 2001	C. Timpe, H. Bergmann, J. Nitsch : „Umsetzungsaspekte eines Quotenmodells für Strom aus regenerativen Energien. Untersuchung im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr in Baden-Württemberg. Entwurf des Endberichts, Freiburg, Heidelberg, Stuttgart, Februar 2001.
Politik 1999	G. Stein, B. Strobel (Hrsg.). Politikszenerarien für den Klimaschutz II. Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO ₂ -Emissionen in Deutschland bis 2020. DIW Berlin, FZ Jülich, FhG-ISI, Öko-Institut. Untersuchung im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin. In Schriften des FZ Jülich, Reihe Umwelt/Environment, Band 20, Jülich.1999.
Prognos 2000	Prognos AG, EWI: Energiereport III - Die längerfristige Entwicklung der Energiemärkte im Zeichen von Wettbewerb und Umwelt. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart 2000
Shell 1995	„Energie im 21. Jahrhundert.“ Studie der Shell-AG Hamburg, aktuelle Wirtschaftsanalysen 5, Heft 25 (1995)
STE 2000	A. Kraft, P. Markewitz, A. Ziegelmann: Auswirkungen eines verstärkten Einsatzes regenerativer Energien und rationeller Energienutzung. Studie für die ARGE Solar NRW. STE, FZ Jülich, in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen 50, Heft 10 (2000), S. 766-769.
TAB 2000	J. Nitsch, F.Trieb. Potenziale und Perspektiven regenerativer Energieträger. Studie im Auftrag des Büros für Technikfolgenabschätzung am Dt. Bundestag (TAB), Stuttgart, März 2000
WEC 1995	„Global Energy Perspectives to 2050 and Beyond.“ Joint IIASA - World Energy Council Report, Luxemburg, London 1995
WEC 1998	„Energie für Deutschland - Fakten, Perspektiven und Positionen im globalen Kontext.“ Dt. Nat. Komitee DNK des Weltenergiesrates. Düsseldorf 1998

