

Politikstrategien für die Integration erneuerbarer Energien in Deutschland.¹

Dr. Manfred Fishedick, Wuppertal Institut; Dr. Joachim Nitsch, DLR; Dr. Frithjof Staß, ZSW

1. Energiepolitik zwischen Verdrängungswettbewerb, Atomausstieg und Klimaschutz

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 und der politisch gewollte, gerade beginnende Aufbau eines ökologisch orientierten Marktes möglicherweise noch mehr Gegenwind spüren als heute. Eine ökologische Flankierung des Liberalisierungsprozesses ist daher mehr denn je notwendig. Dies zeigen auch die jüngsten Überlegungen der großen Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EltVU), Strom aus umweltbelastenden oder unsicheren osteuropäischen Kraftwerken zu importieren sowie die Bestrebungen, die ökologische und effiziente Stromerzeugungsoption Kraft-Wärme-Kopplung in ihrer weiteren Ausdehnung zu behindern oder auf spätere Zeitpunkte zu verschieben.

Ein Beispiel für den Veränderungswillen und die – fähigkeit der Energiepolitik ist andererseits der im Juni 2001 geschlossene Vertrag zwischen der Bundesregierung und den Betreibern der deutschen Kernkraftwerke über den sukzessiven Ausstieg aus der nuklearen Stromerzeugung. Die flexiblen Umverteilungsmechanismen berücksichtigt, bedeutet dies, dass das letzte deutsche Kernkraftwerk etwa im Jahr 2025 außer Betrieb gehen wird. Für die Einen sind die verbleibenden Laufzeiten wegen der vielfältigen mit der Nutzung der Kernenergie verbundenen Risiken und der ungeklärten Endlagerung viel zu lang. Nach Aussagen der Anlagenbetreiber liegen sie hingegen weit unterhalb der wirtschaftlichen Laufzeit. Allerdings hat bisher noch kaum eine der weltweit in Betrieb befindlichen Anlagen eine derart hohe Laufzeit erreicht. Häufig sind zuvor Nachrüstungen – zumeist sicherheitstechnischer Art – notwendig geworden, die wegen der damit verbundenen Investitionen einen wirtschaftlichen Weiterbetrieb nicht sinnvoll haben erscheinen lassen.

Gleichgültig ob realer oder virtueller Kompromiss, die derzeitige 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. Die auch nach dem Ausstiegsbeschluss noch über einen längeren Zeitraum verbleibenden Überkapazitäten können weiterhin von den Energieversorgungsunternehmen dazu genutzt werden, innovative Projekte im dezentralen Bereich der Kraft-Wärme-Kopplung und der Stromeinsparung zu verzögern, d. h. sie zum Beispiel durch Niedrigpreise zu unterbieten. Chancengleichheit und diskriminierungsfreier Zugang zu den Stromnetzen sind für den heutigen Strommarkt noch weitgehend Fremdwörter. Die der Marktöffnung zugeschriebene

¹ Vortrag auf der Jahrestagung des Forschungsverbunds Sonnenenergie: „Integration Erneuerbarer Energien in Versorgungsstrukturen.“, Potsdam, 20 – 21. Sept. 2001

Innovationsfunktion durch einen Wettbewerb der besten Konzepte wird es aber bei fehlender Chancengleichheit der Marktteilnehmer nicht oder in nur geringem Ausmaß geben.

Dies hätte erhebliche Konsequenzen für die wiederholt bekräftigte Entschlossenheit der Bundesregierung, das CO₂-Minderungsziel von 25% bis zum Jahr 2005 (gegenüber dem Niveau des Jahres 1990) und die weitergehenden Ziele bis hin zu einer 80%igen Reduktion des Ausstoßes von Treibhausgasen um das Jahr 2050 ohne den Einsatz von Kernenergie zu erreichen. Werden die Klimaschutzziele ernst genommen, muss der weitere Weg in liberalisierten Energiemärkte daher mit deutlichen energiepolitische Leitplanken versehen werden (WI 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 erneuerbaren Energien (REG), vor allem aber das Erneuerbare Energien-Gesetz (EEG), das längerfristig kalkulierbare Randbedingungen für die Stromerzeugung aus erneuerbaren 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 Anlagenerstellung 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.

Auch das im Herbst des letzten Jahres verabschiedete Klimaschutzprogramm setzt in den bisher vernachlässigten Bereichen des sparsameren Umgangs mit Energie erste Impulse. Wird es ernst genommen, könnte dies nicht nur ein wichtiger Schritt zu einer klimaverträglichen Energieversorgung in Deutschland sein, sondern vor allem auch international neuen Aufschwung geben. Aber wird es ernst genommen? Denn auch hier sind energiepolitische Widersprüche zu finden: Die zähe Diskussion um die Umsetzung eines wirksamen Förderinstrumentes für die Kraft-Wärme-Kopplung und deren bisher unbefriedigender Ausgang und die vorgesehene Kürzung des Marktanreizprogramms für REG zeigen, dass manchem Wort noch deutliche Taten folgen müssen. Erst recht gilt dies für die noch allzu zaghafte Versuche die Erhöhung der Energieeffizienz energiepolitisch zu stimulieren.

Dabei ist jetzt entschlossenes Handeln mehr denn je notwendig, um auf dem eingeschlagenen Weg weiter voranzukommen und um die Anfangserfolge abzusichern (Fischedick u. a. 2000). Weitere Anreize für die Bereiche Energie-/Stromeinsparung sowie für eine deutliche Ausweitung der Kraft-Wärme-Kopplung müssen dringend folgen. Dass hierfür ausreichende wirtschaftliche und technische Potentiale zur Verfügung stehen, ist unbestritten. **Erneuerbare Energien, Kraft-Wärme-Kopplung und Energieeinsparung bilden nun einmal gemeinsam das Fundament einer innovativen und klimafreundlichen Energiepolitik.** Um die vielfältigen Möglichkeiten ausgenutzt zu werden, bedarf es konsequenter und langfristiger Konzepte. Zehn Jahre, wie sie im Klimaschutzprogramm und im Verdopplungsziel der REG angelegt sind, mögen aus politischer Sicht langfristig sein, in energiewirtschaftlichen Zusammenhängen und erst recht aus klimapolitischer Sicht ist dies jedoch ein sehr kurzer Zeitraum. Die Verwirklichung der Ziele für 2005 und 2010 stellt daher 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 Investitionen 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.

2. Erneuerbarer Energien heute – Förderung, Umsätze und energiewirtschaftliche Bedeutung.

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 abgeschriebenen 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].

Die Annahmen verdeutlichen aber auch, dass es eindeutige vermiedene Kosten durch REG nicht gibt, denn diese hängen nicht nur vom Stromerzeugungsmix ab, sondern auch vom Leistungsbeitrag der REG sowie den vermiedenen Netzkosten. Hinzu kommt die Frage, ob von den langfristigen oder den kurzfristigen Strombeschaffungskosten auszugehen ist. Im Ergebnis hat diese „Pfennig“ - Diskussion erhebliche energiepolitische Auswirkungen: Setzt man als Untergrenze beispielsweise die o.g. kurzfristigen Strombeschaffungskosten von 4 - 5 Pf/kWh an, so verdoppelt sich das „Fördervolumen“ aus dem EEG auf nahezu 2 Mrd. DM. Andererseits gibt es auch eine Reihe von Untersuchungen, die für den Wert des Stroms aus REG Beträge von deutlich über 10 Pf/kWh bis etwa 17 Pf/kWh ausgehen (teilweise unter Berücksichtigung der sog. Externen Kosten), so dass sich das Förderäquivalent auf Null reduziert. Jeder Pfennig Unterschied 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].

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.

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. 1**). 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 beobachten, die – unter den oben getroffenen Annahmen - 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 Marktanzreizprogramme 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. Bedauerlich ist in diesem Zusammenhang, dass für den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung keine Einigung bezüglich einer Quotenregelung erzielt werden konnte, die auch eine Vorreiterfunktion für den regenerativen Wärmebereich hätte übernehmen können.

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.

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. 2**). 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.

3. REG - Beitrag zu einer nachhaltigen Energieversorgung – Zielsetzungen und Umsetzungsschritte

Ausgangspunkt für den längerfristigen Ausbau und die Integration von REG in die Energieversorgung ist die These, dass ihr Beitrag bis zur Mitte des Jahrhunderts substantielle Ausmaße annehmen muss, wenn erfolgreich versucht werden soll, die Nachhaltigkeitsdefizite der gegenwärtigen Energieversorgung, nämlich Klimabeeinflussung, Ressourcenabbau durch Nutzung fossiler Energien, Risiken der Kernenergie und globale Ungleichverteilung von Energie, abzubauen oder wenigstens zu mildern (Fischedick u. a. 2001). Der Zeitraum von 50 Jahren erlaubt eine weitgehende Umgestaltung der Energieversorgung, wenn dies zielgerichtet und stetig erfolgt. Dabei handelt es sich nicht um eine „Anpassung“ der REG - Technologien an die konventionelle Energieversorgung, sondern um eine „Neuoptimierung“ der gesamten Energieversorgung unter Einbeziehung von REG -Technologien, anderer vorwiegend dezentraler Energiewandler (z.B. Brennstoffzelle), insgesamt deutlich effizienterer Nutzungstechnologien und den Möglichkeiten einer immer besseren Vernetzung und Regelung zahlreicher kleinerer Energiewandler. Geht man vom Erreichen des Verdopplungsziels bis 2010 für REG aus, so wird es für den Zeitraum danach erforderlich sein, die angestoßene Ausbaudynamik im Rahmen weiterentwickelter liberalisierter Märkte mit entsprechend angepassten Instrumenten weiter aufrechtzuerhalten. Das setzt voraus, dass der Ausbau der REG auch danach über längere Zeiträume zu den prioritären Zielen der deutschen bzw. europäischen Energiepolitik gehört (vgl. z.B. die Zielsetzung des BMU eines 50 % -igen REG- Beitrags um 2050). Hierzu gehört auch, dass innerhalb der EU bis 2010 ein einheitliches und dem liberalisierten Markt angemessenes Förderinstrumentarium für etwa ein weiteres Jahrzehnt aufgebaut wird. Zu diesem Zeitpunkt wird man sich auch auf international gehandelte REG -Zertifikate einstellen müssen.

Unter diesen Prämissen wird im Folgenden ein „**Orientierungsszenario**“ des REG - Ausbaus in Deutschland bis 2050 dargestellt [HGF 2001; TAB 2000]. Dieser Zeithorizont ist auch erforderlich, um dem langfristigen Charakter des Aufbauprozess von REG gerecht werden und den Übergang von energiepolitisch abgesicherten Märkten zu eigenständigen Märkten für REG darstellen zu können. Auch wenn die relativen Zuwächse in den ersten beiden Jahrzehnten am größten sind, wird die eigentliche Dynamik eines REG - Ausbaus (gemessen in absoluten Zuwächsen) vor allem **nach 2020** deutlich, da dann infolge einer deutlichen Verringerung der Kostenschere - infolge der Kostendegressionen bei REG Technologien und durch Preisanstiege konventioneller Energien - von einer weitgehenden Wirtschaftlichkeit der meisten REG - Technologien ausgegangen werden

kann und damit energiepolitische Instrumente und Fördermittel größtenteils nicht mehr benötigt werden.

Windenergie und Biomasse dominieren den Strombereich, wobei bereits der Ersatzbedarf für heutige Anlagen an Bedeutung gewinnt. Andere Technologien, wie Photovoltaik, Strom aus Erdwärme und Stromimport, beginnen dann aber erst mit ihrem eigentlichen, energiewirtschaftlich relevanten Wachstum. Um 2040 kann unter den genannten Rahmenbedingungen die 50 %-Marke an der Stromerzeugung überschritten und bis zur Jahrhundertmitte die 65 %-Marke erreicht werden (**Abb. 3**) In 2050 beträgt die in REG - Anlagen insgesamt installierte elektrische Leistung 120 GW (Wasser 5; Wind 40; Photovoltaik 40, Geothermie 5, Biomasse 10, REG-Stromimport 20 GW). Auch nach 2050 sind noch große Spielräume für eine weitergehende Deckung des Strombedarfs vorhanden, wenn eine Strategie der ausgewogenen Erschließung aller REG -Technologien verfolgt wird.

Der REG-Ausbau resultiert in den in Abb. 3 dargestellten Strukturveränderungen bei den eingesetzten Kraftwerksarten. Der Rückgang der Kernenergie verläuft mit der vereinbarten Restlaufzeit. Bei einer nahezu konstant bleibenden Stromnachfrage (die erfolgreiche Umsetzung von Stromeinsparmaßnahmen vorausgesetzt) verlagert sich die Investitionstätigkeit zu Gas-GuD - Kondensationskraftwerken, KWK - Anlagen auf der Basis von Erdgas, Biomasse und Kohle und zu REG - Anlagen. Im Jahr 2050 besteht die fossile Stromversorgung im wesentlichen aus Gas-GuD - Kraftwerken sowie Gas-Brennstoffzellen (die sich dem Stromangebot aus nicht speicherbaren REG anpassen) und aus KWK - Anlagen auf Gas- und Steinkohlebasis; Braunkohle wird nicht mehr eingesetzt. Die CO₂-Emissionen der Stromversorgung sinken von 293 Mio. t/a im Jahr 1999 auf 276 Mio. t/a bis 2020 nur leicht ab. Verantwortlich hierfür ist der Abbau der Kernenergie, entgegen zahlreichen Befürchtungen führt er aber nicht zu Mehremissionen im Strombereich. Die gewünschten nationalen Reduktionsziele müssen in diesem Zeitraum allerdings vor allem 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. Der Strukturwandel der Stromversorgung ist mit der Altersstruktur der bestehenden Kraftwerke kompatibel.

Im Wärmemarkt stützt sich nach 2020 der weitere Zuwachs sehr stark auf Nahwärmeanlagen, wobei sowohl bei Kollektor- wie auch Erdwärmeanlagen 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 2050 sind, in Verbindung mit der Stromerzeugung in KWK - Anlagen die Potenziale der Biomasse fast vollständig ausgeschöpft. Solarkollektoren und Erdwärme verfügen zwar noch über weitere Nutzungspotenziale, jedoch sind bedarfsseitig (Höhe des Niedertemperaturbedarfs) um 2050 die Nutzungsmöglichkeiten weitgehend ausgenutzt. Der Endenergieeinsatz für Wärme (Raumwärme, Warmwasser, Prozesswärme) sinkt bis 2050 auf 60 % des heutigen Wertes, wovon die Verringerung des Raumwärmebedarfs um rund 50 % den größten Anteil hat (**Abb. 4**). Gleichzeitig verändert sich, ähnlich wie bei der Stromversorgung, auch hier die Versorgungsstruktur in diesem Zeitraum vollständig. Derzeit stammen 88 % der gesamten Wärme aus Einzelheizungen mit Gas, Heizöl, Biomasse und Strom und nur 12 % aus KWK - Anlagen bzw. aus Fern- und Nahwärmeversorgungen. Im Jahr 2050 ist die direkte Wärmeversorgung mit Gas, Heizöl, Biomasse und Strom auf 32 % geschrumpft, aus Fern- und Nahwärmeversorgungen sowie aus dezentraler KWK (fossil, Biomasse und Erdwärme) kommen 45 % und aus Kollektoranlagen 23 % (überwiegend auch aus Nahwärmeversorgungen). Die Umsetzung dieser Veränderungen erfordert eine beschleunigte Altbausanierung und gleichzeitig, im Zuge von Sanierungsmaßnahmen, ein Vordringen von Nahwärmenetzen und -inseln in Altbaubestände, wobei die Größe der Netze u.a. stark vom Dezentalisierungsgrad der KWK - Anlagen abhängt (Brennstoffzellen bieten hier die Möglichkeit auch in kleinräumige Strukturen vorzudringen). 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 im Bereich 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.

Der obige REG - Ausbau ist mit einer Strategie der intensivierten Effizienzsteigerung (REN - Strategie) bei der Energiewandlung und Energienutzung (insbesondere Raumheizung; Verkehr) verknüpft, ohne die eine gleichzeitige Verringerung aller genannten Nachhaltigkeitsdefizite nicht erreicht werden kann. Die REN - Teilstrategie ist durch eine deutliche Verringerung der Energieintensität bis 2020 um durchschnittlich - 3,2 %/a gekennzeichnet (Trendentwicklung nach [Prognos 2000]: -2 %/a) und zwischen 2020 und 2050 um durchschnittlich - 2,2 %/a. Der gesamte Endenergieverbrauch geht somit bis 2050 auf zwei Drittel des heutigen Wertes zurück. REG tragen dann mit 45 % zur Endenergiebereitstellung bei, wobei sich in diesem Szenario der (dann effizientere) Verkehr noch zu nahezu 100 % auf fossile Kraftstoffe abstützt. Der Primärenergieeinsatz sinkt auf 56 % des heutigen Wertes; die CO₂-Emissionen aus der energetischen Nutzung sinken bis 2010 auf 75 % des Bezugswerts 1990, auf 50 % im Jahr 2030 und auf 23 % im Jahr 2050. Der forcierte KWK – Ausbau verstärkt die Wechselwirkungen zwischen Strom- und Wärmeversorgung. Im Wärmebereich kann er einerseits die für eine breitere Nutzung von REG notwendigen Strukturen vorbereiten. Die angestrebten Anteile der KWK sind nämlich nur möglich, wenn auch konsequent die Etablierung von Nahwärmenetzen und - inseln verfolgt wird. Diese werden aber auch benötigt um Biomasse, Geothermie und Kollektorwärme in größerem Umfang nutzen zu können; sie dienen also quasi als „Sprungbrett“ für den breiteren Einsatz von REG im Wärmemarkt. Im Szenario erreicht die KWK - Wärme (auf Basis fossiler oder biogener Energieträger) um 2030 mit dem knapp Zweifachen des heutigen Beitrags ihr Maximum.(1999: ca. 500 PJ/a)

4. Wirkungen einer REG - Ausbaustrategie

Die Intensität des zukünftigen Ausbaus von REG wird insbesondere unter ökonomischen Gesichtspunkten diskutiert. Wie viel Förderung ist bis wann notwendig und wie entstehen hieraus sich selbst tragende Märkte. Adäquate Informationen zu dieser Frage müssen den dynamischen Prozess dieser Entwicklung berücksichtigen, der einerseits durch die Kostendegressionspotenziale der REG - Technologien, andererseits durch die zukünftig zu erwartenden Kostensteigerungen der konventionellen Energieversorgung bedingt ist. Die Frage ist daher nicht, ob REG „zu teuer“ sind, sondern in welchem Ausmaß und wie lange monetäre Vorleistungen zu erbringen sind, bevor sich die Investitionen in REG „rentieren“. Tatsächlich nehmen die jährlichen Investitionen in REG im Verlauf der Ausbaustrategie – entsprechend dem wachsenden Beitrag an der Energieversorgung - beträchtliche Volumina an (**Tab. 2**). Allein bis 2010 ergeben sich kumulierte Investitionen von 90 Mrd. DM. Insbesondere zeigt sich, dass die derzeit noch niedrigen Investitionen im Wärmemarkt schneller als diejenigen im Strommarkt wachsen und diese bereits um 2020 nahezu erreichen. In diesen Investitionen sind auch die Aufwendungen für die erforderlichen Wärmenetze für die Nahwärmeversorgungen berücksichtigt. In allen Zahlenangaben sind auch die erforderlichen Ersatzinvestitionen enthalten, die ab etwa 2020 relevante Werte annehmen (Nutzungsdauern der REG - Anlagen zwischen 15 a bei Wind und bis zu 30 a bei Wasserkraft und Wärmenetzen). Beim Ausbau der REG -Technologien im Rahmen des hier beschriebenen Orientierungsszenarios wird zusammenfassend auf folgende volkswirtschaftliche und gesellschaftliche Auswirkungen hingewiesen [Nitsch 2001].

- ◆ Das zur Erfüllung der Zielvorgaben erforderliche **Wachstum der REG - Technologien** kann von einer modernen Industriegesellschaft leicht bewältigt werden. Die jährlichen Wachstumsraten der Märkte erreichen im Mittel des ersten Jahrzehnts (2000-2010) 20 –30 %/a. Das Beispiel des Wachstums der Windenergie zwischen 1995 und 2000 mit durchschnittlich 50 %/a zeigt, dass Fertigung, Vertrieb und Installation flexibel genug sind, wenn entsprechend günsti

ge und langfristig hinreichend sichere Rahmenbedingungen vorliegen. Für einen effektiven Einstieg in die Energiewirtschaft wesentlich ist eine optimale Abstimmung des Wachstums der unterschiedlich wirtschaftlichen Einzeltechnologien untereinander.

- ◆ Die mit dem Ausbau von REG verknüpften **ökologischen Belastungen** entstehen im wesentlichen **durch die Anlagenherstellung**. Im Jahr 2050 (REG – Anteil 45 %) werden für einen Inlandsmarkt von dann 50 Mrd. DM/a für Neubau und Ersatz von REG - Anlagen 4,8 % der Stahlproduktion (diese Angaben beziehen sich auf den Umsatz des Jahres 1999), 5,8 % der NE - Metalle und 0,4 % der Steine/Erden-Produktion benötigt. Im Vergleich dazu wird derzeit 25 % der Stahlproduktion im Fahrzeugbau und 20 % im Baugewerbe eingesetzt. Die im Mittel höhere Materialintensität von REG - Anlagen, verglichen mit fossil betriebenen Kraftwerken oder Heizungen, ist kein gravierendes Hindernis für deren Ausbau; steigende Rückführungsquoten von Basismaterialien und eine zunehmend emissionsärmere Energiebereitstellung (sinkende CO₂ – Intensität) entschärfen diese Problematik generell. Kontaminierte Materialien entstehen bei einem REG – Ausbau praktisch nicht. **Weitere ökologische Belastungen** eines REG - Ausbaus können bei sorgfältiger Planung und einer möglichst rationellen Energienutzung vermieden werden bzw. sind verglichen mit anderen Optionen vergleichsweise gering.
- ◆ Der Ausbau der REG - Technologien entwickelt sich bei den angenommenen Ausbauraten zu einem beachtlichen **Wirtschaftsfaktor**. Die jährlichen Investitionsvolumina für den Inlandsmarkt steigen von derzeit 7,3 Mrd. DM/a auf 11 Mrd. DM/a in 2010, auf 28 Mrd. DM/a in 2030 und auf 50 Mrd. DM/a in 2050 (Tabelle 2). Der letzte Wert entspricht etwa dem Wert der Mineralölimporte des Jahres 2000 (46 Mrd. DM/a), stellt also für die Energiewirtschaft einerseits keine neuartige Situation dar. Andererseits werden diese Mittel zum größten Teil im Inland verausgabt, was zu erheblichen Strukturveränderungen in der Vorleistungsstruktur der Energieversorgung führt. Ressourcenkonsum (Energieträgerimport) wird durch investive Maßnahmen ersetzt, was einer nachhaltigeren Wirtschaftsweise deutlich entgegenkommt und mehr Beschäftigung generiert.
- ◆ Allein die Investitionen des Jahres 2050 entsprechen schätzungsweise 250.000 Bruttoarbeitsplätzen. Eine Gesamtbilanz erfordert die Berücksichtigung der Vorleistungen, von Verdrängungseffekten in der konventionellen Energieversorgung, des Saldos von Export und Import von REG – Anlagen und der veränderten Relationen von Energiepreisen und den Preisen für andere Konsumgüter. Sie ist für einen derart langen Zeitraum mit großen Unsicherheiten verbunden; insgesamt wird der REG - Ausbau jedoch für eine **positive Arbeitsplatzbilanz sorgen**. Hauptgründe sind der Ersatz von Energieimporten durch überwiegend inländisch erzeugte Güter und Dienstleistungen und die Tatsache, dass die Arbeitsintensität zur Herstellung von REG - Techniken i.allg. höher ist als die zur Bereitstellung konventioneller Energieträger. Die Arbeitsplätze beruhen einerseits auf vielfältigem technologischem Wissen in den (eher größeren) Fertigungsstätten der unterschiedlichen Anlagen (etwa vgl. dem heutigen Automobilbau), zum andern auf der dezentral erforderlichen Installation, Überwachung und Wartung zahlreicher Anlagen, sowie im Fall der Biomasse auf die Brennstoffbereitstellung in ländlichen Räumen; insgesamt also auf einer relativ krisenfesten Mischung und einer größeren Branchen- und Unternehmensvielfalt.
- ◆ Die Substitution fossiler Energien durch REG und REN verringert die Importabhängigkeit bei der Energieversorgung. Derzeit beträgt die Importquote rund 60 % (ohne Kernbrennstoffe); im Jahr 2050 liegt sie unter Berücksichtigung des Solarstromimports bei 35 %. Die **Versorgungssicherheit** wird durch die erweiterte Nutzung der „heimischen“ Energiequelle REG deutlich erhöht. Parallel dazu erfolgt eine zunehmende **Abkopplung von zu erwartenden Preisanstiegen** bei fossilen Energierohstoffen. Die verbleibenden bzw. neu entstehenden Importverflech

tungen können auf konstruktive Weise zum Abbau von Nord-Süd-Ungleichgewichten eingesetzt werden (s. nächster Punkt).

- ◆ Die im Orientierungsszenario beschriebene Entwicklung kann nicht isoliert in Deutschland ablaufen, eine vergleichbare Entwicklung muss EU-weit und letztlich global stattfinden. Die dezentralen REG - Technologien fügen sich, wie andere Massengüter, sehr gut in einen globalen Güterhandel ein. Sie erlauben – in unterschiedlichem Ausmaß – arbeitsteilige **Kooperationen zwischen Industrie- und Entwicklungsländern**, sind unproblematisch handelbar, ungefährlich und kaum missbrauchsfähig. Speziell für Europa bietet eine verstärkte Kooperation im mediterranen Raum erhebliche Chancen für eine beiderseitige „win-win“ Situation im Bereich der Energieversorgung. Länder mit großen solaren Ressourcen in Nordafrika können mit Hilfe der EU-Staaten zunächst solare Energieversorgungsstrukturen für sich selbst aufbauen und darauf basierend längerfristig Anteile des Energiebedarfs der nördlichen EU-Länder mit solaren Energien (Strom, Wasserstoff) decken und sich somit eine wichtige Einkommensquelle verschaffen..
- ◆ Auf der Basis heutiger und sich in absehbarer Zeit entwickelnder Energiepreise sind REG - Technologien in größerem Ausmaß **noch nicht wirtschaftlich**. Sie benötigen daher eine gezielte Unterstützung, um sich hinsichtlich Marktgröße, Kostendegression und Technologiereife in dem im Orientierungsszenario unterstellten Ausmaß entwickeln zu können. Geeignete Instrumente existieren in Form von garantierten Einspeisevergütungen (EEG), Quotenregelungen, Handel mit Umweltzertifikaten u.ä. in den meisten europäischen Ländern und können im Zuge der angestrebten EU-Harmonisierung den zukünftigen Bedürfnissen im Gemeinschaftsraum angepasst werden. Die Unterstützung der REG muss allerdings ausreichend lang bestehen; aus heutiger Sicht – abgestuft nach Technologien – bis etwa zum Jahr 2020. Dies verlangt eine außerordentlich langfristig angelegte und zielstrebige Energiepolitik. Die entsprechenden **Vorleistungen** (derzeit rund 2 Mrd. DM/a) wachsen im Szenario für den Inlandsmarkt auf rund 7 Mrd. DM/a im Jahr 2010 und auf rund 10 Mrd. DM/a im Jahr 2020. Größenordnungen, wie sie lange Zeit für die Unterstützung des deutschen Steinkohlebergbaus selbstverständlich waren. Die durch die Vorleistungen hervorgerufenen spezifischen Mehrbelastungen sind für die Konsumenten relativ gering. Sie belaufen sich beim Strom auf maximal 1 Pf/kWh_{el}, bei Brennstoffen auf maximal 0,7 Pf/kWh_{th}. Je nach Anstieg konventioneller Energiepreise kann sich die Vorleistung in den REG - Ausbau bereits bis 2050 voll amortisiert haben, da je nach Energieträgerpreisentwicklung ab 2035/2040 die im Orientierungsszenario bereitgestellte Energie kostengünstiger als diejenige **ohne** REG - Ausbau sein dürfte, (**Abb.5**).
- ◆ Das für einen selbsttragenden REG- Ausbau erforderliche **Strom- bzw. Wärmekostenniveau liegt bei etwa dem Zweifachen der heutigen Werte** (Strom und Wärme aus Neuanlagen). In den berücksichtigten Preisvarianten wird dieses Niveau zwischen 2030 und 2050 erreicht. Gleichzeitig kann der absolute Endenergieverbrauch bis 2050 im Mittel auf rund 65 % des heutigen Wertes reduziert werden. Die jährlichen Energieausgaben der Verbraucher würden sich also durchschnittlich nur um real rund 30 % erhöhen. Das bis dahin verfügbare Pro-Kopf-Einkommen liegt jedoch nach den Szenarioannahmen ebenfalls beim Zweifachen des heutigen Wertes, so dass insgesamt die relativen Energiekostenbelastung für die Konsumenten geringer ausfällt als heute. Die Energiekosten einer weitgehend auf REG beruhenden Energieversorgung stellen daher aus sozialverträglicher Sicht kein wesentliches Hindernis dar.

Als Fazit kann festgehalten werden, dass eine deutliche Erhöhung des Anteils von REG an der zukünftigen Energieversorgung die derzeitigen **Nachhaltigkeitsdefizite der Energieversorgung deutlich mindern** kann ohne größere, 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.

Die technischen Voraussetzungen sind heute gegeben, um diese Zukunftsaufgabe angehen zu können. Ebenso liegen ausreichende Erkenntnisse bezüglich der notwendigen energiepolitischen Instrumente vor. Die Herausforderung jetzt anzunehmen lohnt sich, für eine bessere Umwelt, für eine starke und hinreichend sichere heimische Energiewirtschaft, zur Stärkung des Technologie- und Exportstandortes Deutschland, als neuer nachhaltiger Beschäftigungsmotor und als Impulsgeber für eine vergleichbare globale Entwicklung.

Literatur

- | | |
|----------------------|---|
| BMU 2000 | J. Nitsch, M. Fishedick, N. Allnoch, F. Staiß u.a.: Klimaschutz durch Nutzung erneuerbarer Energien. Studie im Auftrag des BM für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und des Umweltbundesamtes, Berichte des UBA 2/00, Erich Schmidt Verlag Berlin, 2000 |
| Fishedick u. a. 2001 | Fishedick, M., Langniß, O., Nitsch, J.; Nach dem Ausstieg: Zukunftskurs erneuerbare Energien, Hirzel Verlag, Stuttgart, 2000 |
| Jahrbuch 2001 | F. Staiß: Jahrbuch Erneuerbare Energien 2001; Bieberstein-Verlag, Radebeul, Oktober 2001 |
| HGF 2001 | J. Nitsch, C. Rösch u.a.: Schlüsseltechnologie Erneuerbare Energien. Teilbericht im Rahmen des HGF-Verbundprojekts: Global zukunftsfähige Entwicklung – Perspektiven für Deutschland, DLR, FZK, FZJ, GMD, Stuttgart, Karlsruhe, Juli 2001. |
| 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 |
| TAB 2000 | J. Nitsch, F. Trieb. Potenziale und Perspektiven erneuerbarer Energieträger. Studie im Auftrag des Büros für Technikfolgenabschätzung am Dt. Bundestag (TAB), Stuttgart, März 2000 |
| Wuppertal 2000 | Fishedick, M. u. a.; Bewertung eines Ausstiegs aus der Kernenergie aus klimapolitischer und volkswirtschaftlicher Sicht, Gutachten für das BMU, Wuppertal, 2000 |

Abbildungen und Tabellen:

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

	Förderung [Mio. DM]	Berechnungsgrundlage
Erneuerbare Energien-Gesetz/ Stromerzeugungsgesetz	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 Erneuerbare Energien (Zuschüsse)	200	gestellte Anträge unter der Annahme, dass 20% der Vorhaben nicht realisiert werden**
Marktanreizprogramm Erneuerbare Energien (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. sowie einem entsprechend der bewilligten Darlehen gemittelten Förderäquivalent aus dem Teilschulderlass von 19%
100.000 Dächer Solarstrom-Programm	115	neu installierte Leistung 42 MW _p , Investitionsvolumen 460 Mio. DM, Barwert von 25% aus einer angenommenen 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 je Liter
Ökosteuernbefreiung wärmeerzeugende erneuerbare Energiesysteme	182	Endenergiebereitstellung 45 TWh und Annahme, dass entsprechend der Beheizungsstruktur im Verhältnis 1,27:1 Erdgas bzw. Heizöl eingespart wird (Steuersatz 0,32 Pf/kWh Erdgas und 4 Pf je Liter Heizöl, zzgl. MwSt.)
Gesamtförderung	ca. 2.300	Ohne kommunale und private Förderung



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

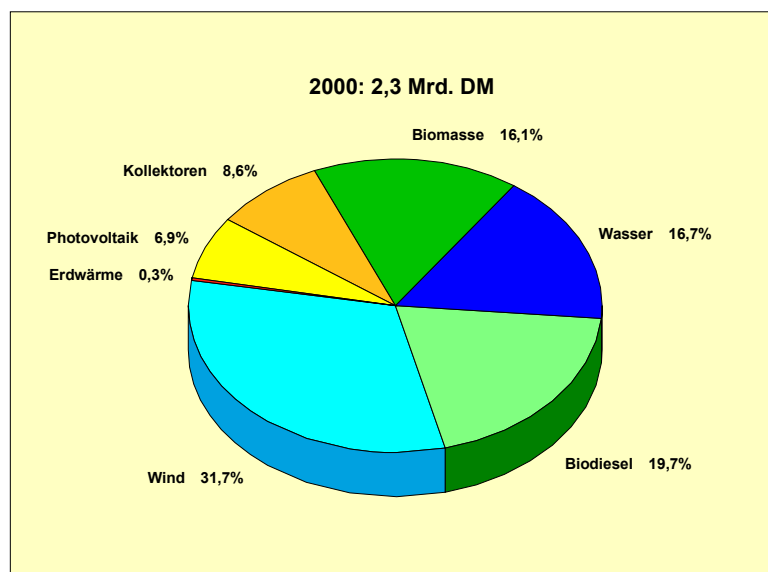


Abb. 1: Öffentliche Förderung erneuerbarer Energien im Jahr 2000 nach Technologien (ohne kommunale Förderung), [Jahrbuch 2001]

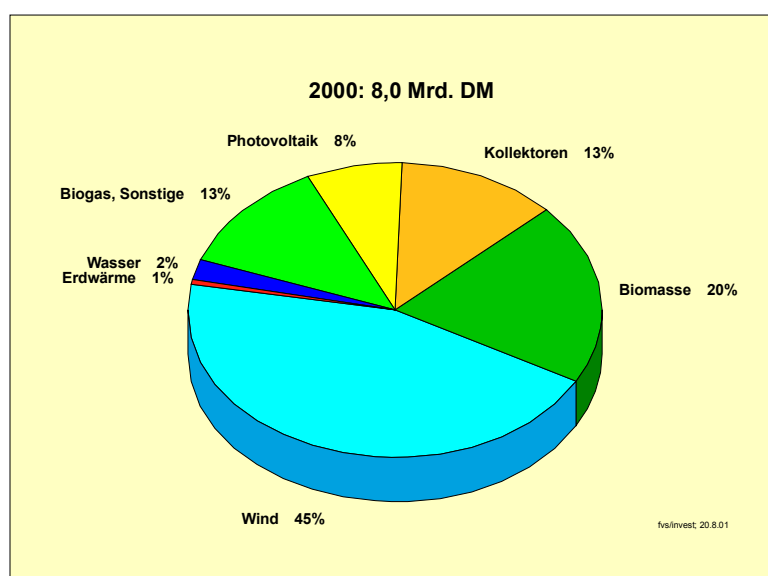


Abb. 2: Investitionsvolumen im Bereich erneuerbarer Energien im Jahr 2000 nach Technologien ([Jahrbuch 2001]; ohne Wärmepumpen)

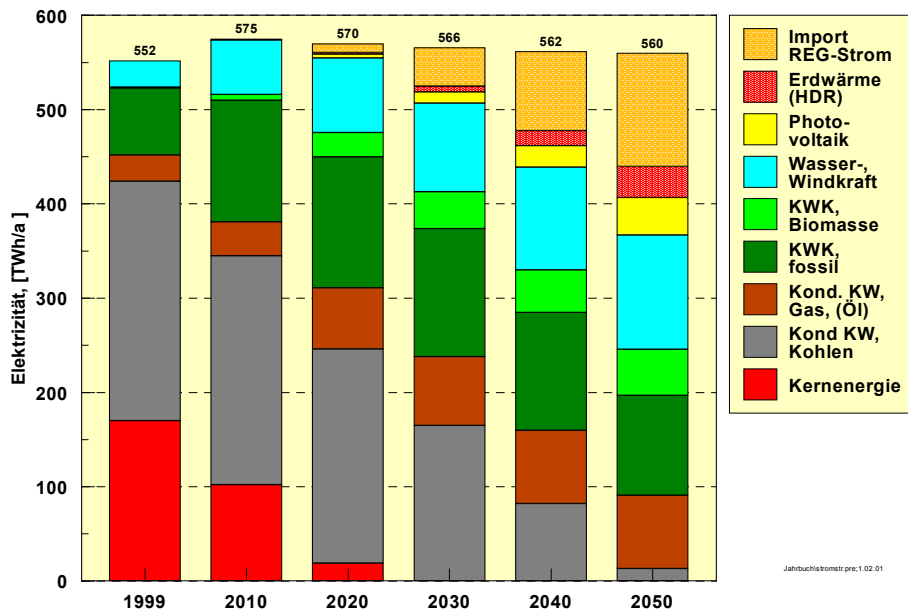


Abbildung 3: Strukturveränderungen in der Stromversorgung im Orientierungsszenario bis 2050, getrennt nach Kondensationskraftwerken, KWK-Anlagen (fossil, Biomasse) und REG-Anlagen, [HGF 2001]

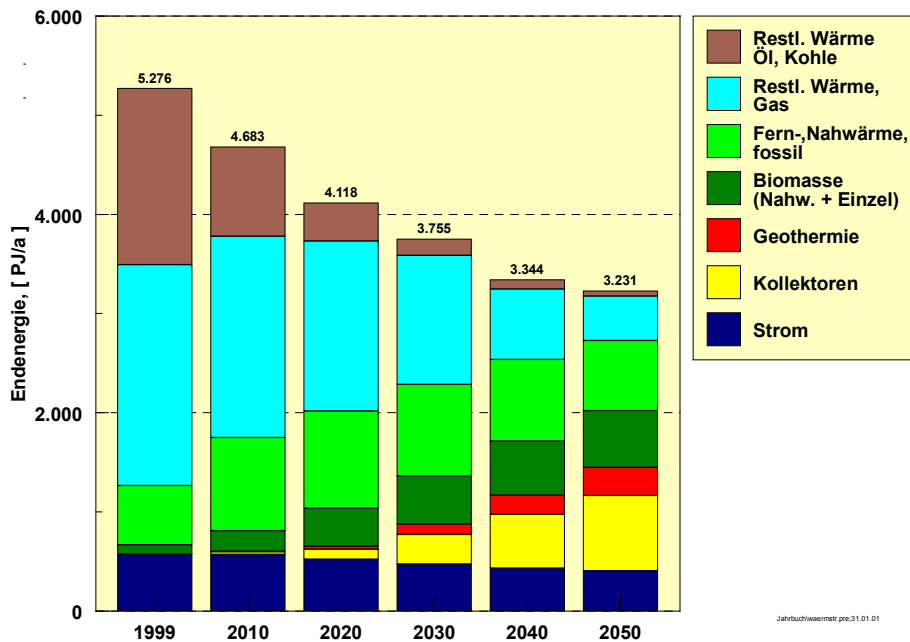


Abbildung 4: Strukturveränderungen im Wärmemarkt im Orientierungsszenario bis 2050 nach Energieträgern bzw. Einzelsystemen und Fern- und Nahwärmeversorgungen, [HGF 2001]

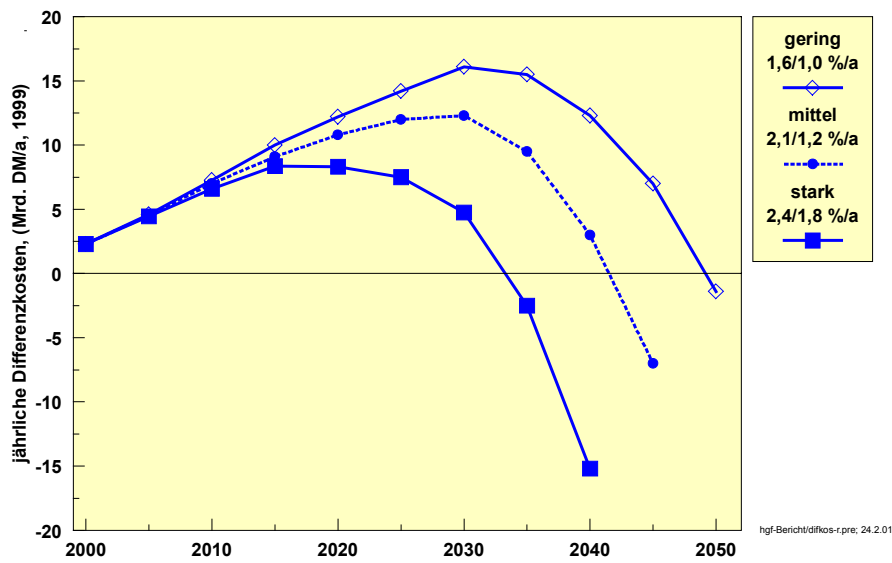


Abbildung 5: Differenzkosten des Zubaus erneuerbarer Energien im Orientierungsszenario bis 2050 für verschiedene Preissteigerungen von Strom (links) und Wärme (rechts) ; [HGF 2001]