

**Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit**

Entwicklung der Erneuerbaren Energien

- Aktueller Sachstand -

Stand Januar 2002

Impressum

Herausgeber:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Referat Z II 3 „Öffentlichkeitsarbeit“

D – 11055 Berlin

Redaktion:

Referat Z II 7 „Umwelt und Erneuerbaren Energien“

Sand: Januar 2002

Druck: Druckerei des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn

Inhalt:

<u>1</u>	<u>Einleitung</u>	<u>5</u>
<u>2</u>	<u>Zusammenfassung</u>	<u>7</u>
<u>3</u>	<u>Instrumente und Maßnahmen zur Förderung der Erneuerbaren Energien</u>	<u>12</u>
3.1	ERNEUERBARE-ENERGIEN-GESETZ (EEG)	12
3.2	BIOMASSE-VERORDNUNG (BIOMASSEV).....	15
3.3	MARKTANREIZPROGRAMM ZUR NUTZUNG ERNEUERBARER ENERGIEN (MAP).....	15
3.4	100.000 DÄCHER-SOLARSTROM-PROGRAMM	16
3.5	KfW-CO ₂ -GEBÄUDESANIERUNGSPROGRAMM.....	16
3.6	ÖKOLOGISCHE STEUERREFORM (ÖSR)	17
3.7	ENERGIEEINSPARVERORDNUNG (ENEV)	17
3.8	FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG	17
3.9	ENTWICKLUNGSZUSAMMENARBEIT	19
3.10	BEISPIEL: BUNDESMABNAHMEN AN PARLAMENTS- UND REGIERUNGSBAUTEN IN BERLIN	20
<u>4</u>	<u>Die Sparten der Erneuerbaren Energien im Einzelnen</u>	<u>22</u>
4.1	WINDKRAFT.....	22
4.1.1	INSTRUMENTE	22
4.1.2	ENTWICKLUNG DER NUTZUNG UND POTENZIALE	23
4.1.3	STRATEGIE DER BUNDESREGIERUNG ZUR AUSBAU DER WINDENERGIENUTZUNG AUF SEE	26
4.1.4	KOSTENENTWICKLUNG	32
4.1.5	STAND UND FÖRDERUNG DER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG	33
4.1.6	GESAMTEINSCHÄTZUNG UND AUSBLICK	35

4.2	BIOMASSE	36
4.2.7	INSTRUMENTE	36
4.2.8	ENTWICKLUNG DER NUTZUNG UND POTENZIALE	36
4.2.9	STAND UND FÖRDERUNG DER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG	41
4.2.10	GESAMTEINSCHÄTZUNG UND AUSBLICK	43
4.3	SOLARE WÄRME	44
4.3.1	INSTRUMENTE	44
4.3.2	ENTWICKLUNG DER NUTZUNG UND POTENZIALE	45
4.3.3	STAND UND FÖRDERUNG DER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG	46
4.3.4	GESAMTEINSCHÄTZUNG UND AUSBLICK	47
4.4	SOLARE STROMPRODUKTION.....	48
4.4.1	INSTRUMENTE	48
4.4.2	ENTWICKLUNG DER NUTZUNG UND POTENZIALE	50
4.4.3	STAND DER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG	53
4.4.4	GESAMTEINSCHÄTZUNG UND AUSBLICK	54
4.5	GEOTHERMIE	55
4.5.1	INSTRUMENTE	56
4.5.2	ENTWICKLUNG DER NUTZUNG UND POTENZIALE	56
4.5.3	KOSTENENTWICKLUNG	58
4.5.4	STAND UND FÖRDERUNG DER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG	59
4.5.5	GESAMTEINSCHÄTZUNG UND AUSBLICK	60
4.6	WASSERKRAFT	61
4.6.1	INSTRUMENTE	61
4.6.2	ENTWICKLUNG DER NUTZUNG UND POTENZIALE	64
4.6.3	KOSTENENTWICKLUNG	66
4.6.4	STAND UND FÖRDERUNG DER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG	68
4.6.5	GESAMTEINSCHÄTZUNG UND AUSBLICK	68
<u>5</u>	<u>Überblick über die Wirkung der Instrumente auf die einzelnen Sparten der Erneuerbaren Energien</u>	<u>69</u>

1 Einleitung

Anlass für die Erstellung dieses Berichtes ist das Interesse des Deutschen Bundestages an einer solchen Darstellung, das insbesondere in Form einer Bitte von Frau Ulrike Mehl (MdB), Umweltpolitische Sprecherin der SPD-Bundestagsfraktion, an den Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Ausdruck gefunden hat. Unabhängig davon ist die Bundesregierung durch das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) dazu verpflichtet, bis Mitte 2002 einen ersten Erfahrungsbericht „über den Stand der Markteinführung und der Kostenentwicklung von Anlagen zur Erzeugung von Strom“, der durch das EEG gefördert wird, zu erstellen. Diesem Erfahrungsbericht zum EEG soll hier nicht vorgegriffen werden.

Die Dokumentation der Entwicklung der Erneuerbaren Energien über die vergangenen Jahre ist insbesondere wichtig, um die von der Bundesregierung eingeleiteten Maßnahmen zum Klimaschutz und zur nachhaltigen Entwicklung im Bereich Umwelt und Energie zu bilanzieren. Die Auswirkungen der Klimaveränderung sind bereits heute sichtbar und werden zukünftig deutlicher werden, insbesondere durch die weltweit steigenden Emissionen von CO₂ durch die Verbrennung fossiler Energieträger. Der Einsatz Erneuerbarer Energien trägt ganz maßgeblich zum Klimaschutz bei. Die Abhängigkeit Deutschlands von importierten fossilen Energieträgern mit unregelmäßig schwankenden Weltmarktpreisen ist in den vergangenen Jahrzehnten gestiegen. Das Gesetz zur geordneten Beendigung der Kernenergienutzung zur gewerblichen Erzeugung von Elektrizität wurde vom Gesetzgeber verabschiedet. Dies sind die wichtigsten Gründe, eine umfassende Energiewende einzuleiten und umzusetzen.

Eine nachhaltige Entwicklung im Bereich Umwelt und Energie erfordert Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz (u.a. Ökologische Steuerreform, KWK-Ausbau etc.), zur Energieeinsparung (u.a. verschiedene Maßnahmen im Gebäudebereich, Energieeinsparverordnung) und zur Änderung des Energiemixes. Kernpunkt der Änderung des Energiemixes ist neben dem Ausstieg aus der Nutzung der Atomenergie die deutliche Erhöhung des Anteils der Erneuerbaren Energien am Gesamtenergieverbrauch.

Ziel dieses Berichtes ist es Maßnahmen des Bundes im Bereich der Erneuerbaren Energien und deren Wirkung darzustellen sowie die aus heutiger Sicht erkennbaren Perspektiven und Potenziale der Erneuerbaren Energien zu benennen. Aufgrund der hohen Ausbaudynamik und einer unzureichenden Datenlage kann der Bericht lediglich einen ersten Überblick geben.

Mit dem Etappenziel, den Anteil der Erneuerbaren Energien am Gesamtenergieverbrauch bis zum Jahr 2010 zu verdoppeln, wurden bereits eine Reihe von Maßnahmen zur Verbesserung der Rahmenbedingungen eingeleitet. Dazu gehören insbesondere das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) mit der Biomasse-Verordnung (BiomasseV), das Marktanzreizprogramm zur Nutzung Erneuerbarer Energien (MAP) und das 100.000-Dächer-Solarstromprogramm.

Im folgenden Kapitel 2 werden die zentralen Aussagen dieses Berichts zusammenfassend wiedergegeben. In Kapitel 3 werden die Instrumente und Maßnahmen der Bundesregierung zur Förderung der Erneuerbaren Energien im Überblick dargestellt.

Dabei wird insbesondere ihre Funktionsweise verdeutlicht und deren jeweiliges allgemeine Ziel dargestellt. Dabei werden vor allem Maßnahmen des Bundes aufgeführt, nicht jedoch die von Ländern und Kommunen. Kapitel 4 widmet sich den einzelnen Sparten der Erneuerbaren Energien, d.h. Biomasse, Geothermie, Sonnenenergie, Wasserkraft sowie Windkraft. Für die jeweiligen Sparten werden – soweit entsprechende Informationen vorliegen – Angaben über die vorhandenen Instrumente für deren Förderung, die Entwicklung innerhalb der letzten Jahre, die zukünftig nutzbaren Potenziale, die Kostenentwicklung sowie über den Stand der Forschung und Entwicklung und die entsprechenden aktuellen Vorhaben gegeben. Für jede Sparte wird anschließend eine Gesamteinschätzung vorgenommen. Insbesondere Kapitel 4 kann als Grundlage verwendet werden, um im Einzelnen zu überprüfen, inwiefern die von der Bundesregierung verwendeten Instrumente und Maßnahmen bei den einzelnen Sparten der Erneuerbaren Energien erfolgreich waren und ob bzw. wie diese Instrumente aufgrund der Entwicklung der vergangenen Jahre angepasst werden müssen.

Das Kapitel ist ferner Basis für die folgende zusammenfassende Übersicht über die existierenden Instrumente auf Bundesebene und die Entwicklung der Erneuerbaren Energien in Kapitel 5. An dieser Stelle ist auch ein Vergleich der Entwicklung und des Standes der einzelnen Sparten der Erneuerbaren Energien möglich. Die Entwicklung der Erneuerbaren Energien in diesem abschließendem Kapitel wird ferner ins Verhältnis gesetzt zum Klimaschutz sowie den wirtschaftlichen Auswirkungen des Ausbaus der Erneuerbaren Energien.

Erste Abschätzungen zu Kostenentwicklungen werden in diesem Bericht versucht. Im Bericht werden verschiedene Daten auf der Basis sehr unterschiedlicher Quellen genannt. Sie sollen generelle Tendenzen wiedergeben. Die Bundesregierung macht sich diese Angaben aber nicht zu eigen. Die Angaben sollen und können den Erfahrungsbericht des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) zum EEG nicht vorwegnehmen.

Generell ist anzumerken, dass die Datenlage für den Bereich der Erneuerbaren Energien immer noch sehr lückenhaft ist. Für diesen Bericht musste daher in erheblichen Maße auf verschiedenste externe Daten und Quellen zurückgegriffen werden. Der Bericht erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit, noch kann er konsistent alle Daten und Entwicklungen zusammenfassen. Er ist unter diesem Vorbehalt zu verwenden.

Anmerkung: Die Fußnoten dienen der Nachvollziehbarkeit der Daten und Fakten.

2 Zusammenfassung

Der Ausbau der Nutzung der Erneuerbaren Energien wurde in den vergangenen Jahren erfolgreich beschleunigt. Dies wird erkennbar an ihrem deutlich steigenden Anteil am Energieverbrauch im Strombereich, vor allem bei der Windenergie, aber auch im Bereich der Wärme, insbesondere durch die verstärkte Nutzung von Sonnenkollektoren und Biomasse.

Die Steigerung der Nutzung der Erneuerbaren Energien mit jährlichen Wachstumsraten im zweistelligen Prozentbereich wurde hervorgerufen durch eine Reihe vom Bund eingesetzter Instrumente (zur Entwicklung der Förderung siehe Tabelle 2.1, zur Aufteilung innerhalb der Erneuerbaren Energien siehe Tabellen 2.5 und 2.6). Der Anteil der Erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch (PEV) in Deutschland ist von rund 0,9% im Jahr 1990 auf rund 2,1% im Jahr 2000 angestiegen. Ihr Anteil am gesamten Stromverbrauch konnte von rund 3,4% im Jahr 1990 auf rund 6¼ % im Jahr 2000 gesteigert werden. Im Jahr 2001 lagen die Anteile bei rund 2,3% bzw. 7% (vorläufige Abschätzung).

Als neue Maßnahmen seit 1998 für den Strombereich sind in erster Linie das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) vom März 2000 und die Biomasseverordnung (BiomasseV) von Juni 2001 zu nennen. Zusätzlich kommen das Marktanzreizprogramm zur Nutzung erneuerbarer Energien (MAP) und das 100.000-Dächer-Solarstrom-Programm als wichtige Programme zur Markteinführung hinzu (zum Wachstum der Nutzung der Erneuerbaren Energien siehe Tabellen 2.2 und 2.3). Mit dem EEG konnte zunächst vor allem das Wachstum der Windkraftbranche weiter gestärkt werden. Ferner wurden gute Bedingungen geschaffen, damit auch die anderen Erneuerbaren Energiequellen – Biomasse, Geothermie, Solarstrahlung und Wasserkraft – in Zukunft stärker an der Stromproduktion teilhaben können. Hier ist als nächstes ein Wachstum in der Biomassebranche zu erwarten, welches mit dem der Windbranche vergleichbar sein kann – um etwa ein Jahrzehnt zeitversetzt. Wenn Forschung und Entwicklung für die geothermische Stromerzeugung und die Photovoltaik deutliche Preissenkungen ermöglichen, kann auch von diesen Sparten ein bedeutender Anteil der Stromversorgung erreicht werden. Aufgrund ihrer Eignung zur Grundlastbereitstellung kommt dem Wachstum der Nutzung der Biomasse und dem Einstieg in die Nutzung der Geothermie zur Stromproduktion eine besondere Rolle zu.

Nicht nur bei der Stromproduktion, sondern auch bei Wärmebereitstellung durch Erneuerbare Energien sind deutliche Steigerungen zu erkennen. Im Wärmebereich wird der Erfolg der konsequenten Investitionsförderung v.a. durch das Marktanzreizprogramm zur Nutzung Erneuerbarer Energien – insbesondere bezüglich Sonnenkollektoren und der Biomasse - sichtbar. Allerdings war das Ausgangsniveau im Jahre 1998 im Vergleich zum Strombereich deutlich niedriger, eine mit der Windindustrie vergleichbare Wirtschaftsbranche existierte nicht. Der relativ größte Anteil der Biomasse beruht bisher überwiegend auf der traditionellen Holzverbrennung. Eine Industrie für die moderne und effiziente Nutzung Erneuerbarer Energien zur Wärmeengewinnung bildet sich in Deutschland derzeit aus, womit die Grundlagen für ein weiteres kräftiges Wachstum deutlich verbessert werden. Aufgrund der Ausgangssituation konnte die absolu-

te Zunahme der Energienutzung aus Erneuerbaren Energien im Wärmebereich nicht in der gleichen Größenordnung stattfinden wie bei der Stromproduktion. Noch immer machen die existierenden Rahmenbedingungen im Wärmebereich den Einsatz der Erneuerbaren Energien im Vergleich zu Öl oder Gas in vielen Fällen unwirtschaftlich. Ein mit dem EEG vergleichbares Instrument für den Wärmemarkt der Erneuerbaren Energien fehlt. Daher ist es in diesem Bereich eine besondere Herausforderung, das Verdoppelungsziel zu erreichen.

Neben den genannten steigenden Anteilen der Erneuerbaren Energien an der Energiebereitstellung wird deutlich, dass sich in den verschiedenen Sparten der Erneuerbaren Energien inzwischen Industriezweige entwickelt haben bzw. sich entwickeln, die neben nachhaltigen umwelt-, klima- und energiepolitischen Effekten Arbeitsplätze schaffen bzw. sichern. Dies trifft insbesondere für die Windenergiebranche zu, die derzeit etwa 35.000 hochqualifizierte Arbeitsplätze in Deutschland zu verzeichnen hat. Bei der Sonnenenergienutzung und den anderen Sparten verbessert Deutschland seine Position stetig. Somit wird deutlich, dass der Ausbau der Erneuerbaren Energien alle Bedingungen einer nachhaltigen Entwicklung erfüllt. Dies trifft für alle Sparten der Erneuerbaren Energien zu.

Durch die geschaffenen Arbeitsplätze wird bereits heute erkennbar, dass der Ausbau der Nutzung der Erneuerbaren Energien voll im Einklang mit einer positiven wirtschaftlichen Entwicklung steht. Aufgrund der Entwicklung in den vergangenen Jahren sind heute insgesamt rund 100.000 Menschen in Deutschland im Bereich Erneuerbare Energien beschäftigt. Die Tendenz ist steigend. Die Arbeitsplätze befinden sich in den verschiedensten Bereichen, z.B. in der Bauwirtschaft, dem Maschinenbau, der Landwirtschaft sowie der Forschung und Entwicklung. Diese Entwicklung verbessert ferner nicht nur Deutschlands Exportchancen in dieser für den Wirtschaftsstandort Deutschland wichtigen Branche, sondern ermöglicht es auch, technisch weniger entwickelte Länder bei ihrer nachhaltigen Entwicklung zu unterstützen. Zudem ist der Aspekt zu berücksichtigen, dass durch den vermehrten Einsatz von Erneuerbaren Energien die wirtschaftliche Abhängigkeit Deutschlands von importierten Energiequellen mit teilweise stark schwankenden Weltmarktpreisen reduziert werden kann.

Mit den verschiedenen Instrumenten zur Förderung der Erneuerbaren Energien steigt der Anteil der Erneuerbaren Energien deutlich stärker als bisher, absolut gesehen ist ihr Anteil insbesondere am gesamten Primärenergieverbrauch in Deutschland jedoch bislang noch gering (siehe Tabellen 2.2 und 2.3). Dabei ist dieses Jahrzehnt die entscheidende Zeitspanne, in der die Weichen für einen kontinuierlichen Ausbau der Erneuerbaren Energien auch für die folgenden Jahrzehnte gestellt werden müssen. Die bisher ergriffenen Maßnahmen sind ein erfolgreicher Anfang. Dennoch ist der Ausbau der Erneuerbaren Energien noch kein Selbstläufer. Nur wenn in den kommenden Jahren weiterhin die Rahmenbedingungen so ausgestaltet werden, dass das Wachstum der Erneuerbaren Energien weiter verstärkt wird, kann das Ziel einer überwiegenden Versorgung mit umweltverträglicher und nachhaltiger Energie erreicht werden.

Für den Ausbau der Erneuerbaren Energien hat sich die Bundesregierung folgende Ziele gesetzt (siehe Tabelle 2.4):

- Verdopplung ihres Anteils am Stromverbrauch von rund 6 ¼ im Jahr 2000 auf mindestens 12,5% im Jahr 2010,
- Verdopplung ihres Anteils am gesamten Primärenergieverbrauch von rund 2,1% im Jahr 2000 auf mindestens 4,2% im Jahr 2010 und.¹

Auch nach 2010 hält das BMU einen weiteren kontinuierlichen Anstieg ihres Anteils auf mindestens 50% Anteil am Primärenergie- und Stromverbrauch im Jahr 2050 für erreichbar.

Der Beitrag der Erneuerbaren Energien zum Klimaschutz wird durch deren kräftigen Ausbau immer wichtiger. Im Jahr 2000 wurden durch die Nutzung der Erneuerbaren Energien insgesamt Emissionen von rund 35 Mio. t CO₂ vermieden. Bei Erreichen des Verdopplungsziels werden dies im Jahr 2010 ca. 70 Mio. t CO₂ sein (siehe Tabelle 2.7). In diese Berechnung sind biogene Treibstoffe sowie andere durch die energetische Nutzung von Biomasse vermiedene Treibhausgase – insbesondere Methangasemissionen - noch nicht eingerechnet.

Die Erneuerbaren Energien leisten einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz. Darüber hinaus ergeben sich Synergien zwischen dem Ausbau der Erneuerbaren Energien und dem Schutz der biologischen Vielfalt. Um diese zu nutzen und mögliche negative Auswirkungen auf den Naturhaushalt und das Landschaftsbild zu vermeiden, werden die begleitenden ökologischen Forschungsarbeiten intensiviert.

Tab.2.1: Einspeisevergütungen nach dem Stromeinspeisungsgesetz bzw. dem EEG und Förderung der Nutzung Erneuerbarer Energien durch Investitionsprogramme aus dem Bundeshaushalt (bis 2001 in Mio. DM, 2002 in Mio. €)

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1) Vergütung nach StrEG bis 3/2000, nach EEG ab 4/2000²	588	788	1.078	1.250	569+ 1.653 ³	2.700 ⁴	1.680 ⁵
2) Staatliche Investitionsförderung							
Marktanreizprogramm EE ⁶	18	18	18	200	200	300	200
100.000 Dächer-Solarstrom-Programm				180	220	220	113
Programm biogene Treib- und Schmierstoffe ⁷					5	20	10
Zwischensumme (nur 2)	18	18	18	380	425	540	323

¹ Auch im §1 EEG ist festgelegt, dass der „Anteil Erneuerbarer Energien am gesamten Energieverbrauch bis zum Jahr 2010 mindestens <...> verdoppelt“ werden soll. In der Begründung wird dies konkretisiert, indem „innerhalb des nächsten Jahrzehnts eine Verdoppelung bis eine Verdreifachung des Beitrags Erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung erreicht“ werden muss.

² Genannt ist hier die Vergütung nach StrEG bzw. EEG. Die Förderung ist erheblich geringer, entsprechend der Differenzierung nach anlegbaren Kosten.

³ 1-3 2000: 569 Mio. DM, 4-12 2000: 1653 Mio. DM.

⁴ Abschätzung der Deutschen Verbundgesellschaft, Stand 15.11.2001.

⁵ Abschätzung des Verbundes Deutscher Netzbetreiber, 2001

⁶ Marktanreizprogramm zur Nutzung erneuerbarer Energien der Bundesregierung.

⁷ Markteinführungsprogramm des Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft „Biogene Treib- und Schmierstoffe“.

Tab. 2.2: Anteil Erneuerbarer Energien (EE) am Primärenergieverbrauch (PEV) in Deutschland (Quelle: AG Energiebilanzen 2001, Staiß, Jahrbuch Erneuerbare Energien 2001 DIW 2001 und 2002, Angaben für 2001 vorläufige Abschätzung)

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Insgesamt (PJ)	14912	14611	14314	14304	14182	14269	14745	14571	14460	14193	14173	14501
Erneuerbare Energien (PJ) ⁸	132	136	147	168	191	211	224	291	314	274	299	331
Anteil EE (%)	0,9	0,9	1,0	1,2	1,4	1,5	1,5	2,0	2,2	1,9	2,1	2,3

Tab. 2.3: Anteil von Strom aus Erneuerbaren Energien am Verbrauch aus dem Netz der öffentlichen Stromversorgung (Quellen: Staiß, Jahrbuch Erneuerbare Energien 2001 und VDEW 2001, Angaben für 2001 vorläufige Abschätzung)

	1990	1992	1994	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Verbrauch aus dem Netz der Stromversorger (TWh)	466	446	449	470	474	482	486	498	~500
Strom aus Erneuerbaren Energien (TWh) ⁹	15,8	16,7	19,0	19,2	19,7	22,8	26,5	31,4	~35
Anteil EE (%)	3,4	3,7	4,2	4,1	4,2	4,7	5,4	6,3	~7

Tab. 2.4: Mindestziele zum Ausbau der Nutzung der Erneuerbaren Energien

	2000	2010 (Etappenziel Bundesregierung)	2050 (Langfristprognose BMU)
Anteil der EE am Stromverbrauch	6 ¼ %	12,5 %	50%
Anteil der EE am Primärenergieverbrauch	2,1 %	4,2 %	50%

Tab. 2.5: Entwicklung der Erneuerbaren Energien zur Endenergiebereitstellung von 1990 bis 2000 in TJ (nach Staiß, Jahrbuch Erneuerbare Energien 2001)

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Biomasse (Wärme)	46.368	k.A.	47.362	k.A.	48.420	k.A.	49.547	50.076	50.612	55.685	152.579 ¹⁰
Biomasse (Strom)	799	k.A.	1.062	k.A.	2.052	k.A.	2.891	3.164	3.780	4.212	5.850
Biodiesel	k.A.	k.A.	7	185	371	927	1.669	2.225	3.708	4.828	13.385
Wasserkraft	57.269	52.747	62.341	63.634	66.622	71.089	62.226	62.489	69.350	77.400	78.966
Windenergie	144	504	828	2.412	3.384	6.480	7.920	10.800	16.160	19.901	33.120
Solarthermie	324	493	644	860	1.112	1.400	1.800	2.326	2.894	3.521	4.363
Photovoltaik	4	7	14	24	36	50	76	115	151	194	320
Geothermie (Wärme)	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	1.570

⁸ Erneuerbare Energien (ohne MVA); Umrechnung mit sog. Wirkungsgradmethode.

⁹ Ohne Müllverbrennungsanlagen, nur Einspeisung ins öffentliche Netz.

¹⁰ Die Veränderung bei Biomasse (Wärme) zum Jahr 2000 ist durch aktuellere Daten zu begründen, nicht durch eine entsprechende tatsächliche Steigerung der Biomassenutzung.

Tab. 2.6: Vergleich der Energiebereitstellung durch die verschiedenen Sparten der Erneuerbaren Energien und der damit vermiedenen CO₂-Emissionen im Jahr 2000

Erneuerbare Energiequelle	Primärenergieverbrauch (PEV)		Vermiedene CO ₂ -Emissionen ¹¹ (Mio. t)
	(TJ)	(Mrd. kWh)	
Biomasse fest	165.100	45,90	8,5
Biogas	15.700	4,36	1,1
Biokraftstoffe	14.740	4,10	1,2
Geothermie (Wärme)	1.700	0,47	0,1
Solare Wärme	4.700	1,31	0,25
Solarer Strom	300	0,08	0,07
Wasserkraft	79.000	21,96	17,5
Windkraft	33.100	9,20	7,4
Summe	314.340	87,39	36,2

Tab. 2.7: Klimaschutz durch Erneuerbare Energien (Angaben in Mio. t CO₂-Einsparung)

	2000	2010 (bei Verdopplung)
<u>Strom</u> (Bandbreite: Vermeidung von 0,6 bis 1,0 kg CO ₂ pro kWh _{el} in Abhängigkeit der jeweils substituierten Primärenergien. Hier verwendet: Mittelwert 0,8 kg CO ₂ -Emissionen pro kWh _{el} .)	25	50
<u>Wärme</u> (Vermeidung von rund 0,2 kg CO ₂ pro kWh _{th} beim durchschnittlichen Energiemix im Wärmebereich.)	10	20
<u>Summe</u> (Strom und Wärme)	35	70

¹¹ Für die Berechnung der vermiedenen CO₂-Emissionen wurde bei der Stromproduktion als Faktor der Durchschnittswert von 0,8 kg CO₂/kWh_{el} angewendet. Abhängig von der Annahme, welche Primärenergieträger zur Stromproduktion substituiert werden, schwankt dieser Wert um rund ± 20%. Bei der Wärmenutzung aus Erneuerbaren Energien wurde die Substitution konventioneller Energieträger im Heizbereich angenommen. Der Faktor für die verschiedenen CO₂-Emissionen beträgt hier 0,20 kg CO₂/kWh. Bei der Substitution im Kraftstoffbereich wurde von der Vermeidung von 0,3 kg/kWh ausgegangen.

3 Instrumente und Maßnahmen zur Förderung der Erneuerbaren Energien

In diesem Kapitel werden die Instrumente und Maßnahmen zur Förderung der Nutzung der Erneuerbaren Energien auf Bundesebene dargestellt. Diese Förderung ist auf absehbare Zeit weiterhin notwendig, um die Energiewende langfristig umzusetzen und damit den Klimaschutzanforderungen im Energiebereich gerecht zu werden. Neben den Anstrengungen auf Bundesebene sind auch Maßnahmen auf der EU-Ebene erforderlich, wie sie beispielsweise mit der Richtlinie zur Förderung der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt, die am 27. Oktober 2001 in Kraft getreten ist, oder dem ALTENER Förderprogramm durchgeführt werden. Ferner müssen sich die Bundesländer aktiv daran beteiligen, die Rahmenbedingungen für die Nutzung der Erneuerbaren Energien zu verbessern. Entsprechend ihrer jeweiligen Situation können sie die Maßnahmen der EU und des Bundes gezielt unterstützen und ergänzen.

3.1 Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

Mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz hat der Gesetzgeber die Förderung durch das vorher bestehende Stromeinspeisungsgesetz konsequent weiterentwickelt und erheblich verbessert. Damit wurde eine wesentliche Grundlage geschaffen, um bessere Investitionsbedingungen zu schaffen und den Ausbau der Erneuerbaren Energien schneller als bisher voranzubringen. Ziel des EEG ist gemäß §1, „den Anteil Erneuerbaren Energien am gesamten Energieverbrauch bis zum Jahr 2010 mindestens zu verdoppeln“. Laut Begründung des EEG muss dafür „innerhalb des nächsten Jahrzehnts eine Verdoppelung bis Verdreifachung des Beitrags Erneuerbarer Energien zur Stromversorgung erreicht“ werden.

Durch das am 1.4.2000 in Kraft getretene EEG erhalten Stromerzeuger das Recht, Strom, der ausschließlich aus Erneuerbaren Energien produziert wurde, in das Netz einzuspeisen. Die Netzbetreiber sind dabei verpflichtet, eine festgelegte Mindestvergütung an den Erzeuger zu zahlen. Durch diese Ausgestaltung des Gesetzes als Vorrangregelung wird nicht der staatliche Haushalt belastet; vielmehr werden die Kosten über einen speziellen Verteilungsmechanismus auf alle Stromkunden verteilt. Damit handelt es sich beim EEG nicht um eine Beihilfe. Die Differenz zu anlegbaren Kosten entspricht derzeit einer Größenordnung von 0,1 €-cent/kWh, wobei hier nicht auf Referenzgrößen und die Internalisierung externer Kosten eingegangen wird.

Die Vergütungshöhe wird differenziert nach den Sparten der Erneuerbaren Energien, nach Größe der Anlagen und bei Windenergie nach dem Windstandort. Planungs- und Investitionssicherheit wird durch feste Beträge pro eingespeister kWh sowie eine maximale Laufzeit von im Allgemeinen 20 Jahren gewährleistet. Mit diesen kalkulierbaren Rahmenbedingungen wird ein Anreiz für Investitionen in diese Anlagen geschaffen. Neben der Beibehaltung des Ausbaus der Windenergienutzung auf hohem Niveau zielt das EEG auf eine ähnliche Dynamik bei der Biomasse sowie den Start der Nutzung der Photovoltaik und der Geothermie in größerem Stil zur Stromerzeugung ab. Ab 2002 kommen degressive Vergütungssätze für dann neu zu errichtende Anla-

gen zum Tragen, so dass der wirtschaftliche Anreiz besteht, die Kosten für Anlagen zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien zu senken. Durch die Fest-schreibung einer ausgeprägteren Differenzierung, einer Begrenzung und Degression der Vergütung sowie der regelmäßigen Überprüfung wurden die Anliegen der EU-Kommission im EEG berücksichtigt.

Um den Entwicklungen in diesem Markt Rechnung zu tragen, ist in §12 EEG festgelegt, dass das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) sowie dem Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) dem Deutschen Bundestag alle 2 Jahre bis zum 30. Juni des jeweiligen Jahres einen Erfahrungsbericht über den Stand der Markteinführung und die Kostenentwicklung von Anlagen zur Erzeugung von EEG-Strom vorlegt, verbunden mit einem Vorschlag, wie im übernächsten Jahr die Vergütungssätze gemäß den jüngsten Erkenntnissen anzupassen sind. Diesem Bericht soll hier nicht vorgegriffen werden.

Tab. 3.1: Stromeinspeisung und Vergütungszahlung nach dem Stromeinspeisungsgesetz (StrEG) und dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

	Stromeinspeisungsgesetz (StrEG)										EEG
	1991 ¹⁾	1992	1993 ¹⁾	1994	1995 ¹⁾	1996	1997	1998	1999	1-3 2000 ²⁾	4-12 2000
Stromeinspeisung	[GWh]										
Photovoltaik		0,5		2,5		4,4	6,8	12,0	14,8	1,2	26
Windenergie		209		819		1.945	2.867	4.365	5.390	3.100	5.704
Biomasse		121		287		457	588	805	846	225	536
Wasserkraft ≤ 500 kW		665		817		849	869	980	1.051	170	3.623
Wasserkraft > 500 bis 5000 kW		267		389		395	469	591	608	100	
Summe	950	1.263	1.600	2.315	2.800	3.650	4.800	6.753	7.910	3.596	9.888
Vergütung	[Mio. DM]										
Photovoltaik		0,1		0,4		0,8	1,2	2,0	2,4	0,2	4,3
Windenergie		34,6		138,6		334,8	491,7	732,8	890,5	500,0	953,1
Biomasse		16,7		43,2		70,0	89,6	120,1	124,3	32,3	89,6
Wasserkraft ≤ 500 kW		91,7		123,0		130,0	132,6	146,2	154,4	24,4	605
Wasserkraft > 500 bis 5000 kW		33,5		51,3		52,8	62,6	77,2	78,2	12,5	
Summe	130	177	225	357	450	588	778	1.078	1.250	569	1.653

Quelle für EEG-Angaben: Deutsche Verbundgesellschaft 2001

1) VDEW-Schätzwerte

2) VDEW-Schätzwerte, Vergütung noch nach StrEG, ohne EVU-Anlagen

Erste **Abschätzungen** der Deutschen Verbundgesellschaft ergeben **für das Jahr 2001** eine Vergütungszahl von insgesamt rund **2.700 Mio. DM** (1.380 Mio. €).

Tabelle 3.2: Einspeisevergütung nach dem EEG für Anlagen, die im Jahr 2001 bzw. 2002 in Betrieb genommen wurden bzw. werden

Erneuerbare Energiequellen	2001 (Pf/kWh)	2002 (€-Cent/kWh)¹²
Biomasse (< 500 kW _{el})	20,0	10,1
Biomasse (500 - 5.000 kW _{el})	18,0	9,1
Biomasse (5.000 – 20.000 kW _{el})	17,0	8,6
Geothermie (< 20 MW _{el})	17,5	8,95
Geothermie (> 20 MW _{el})	14,0	7,16
Solare Strahlungsenergie	99,0	48,1
Wasserkraft, Deponiegas, Grubengas, Klärgas (< 500 kW _{el})	15,0	7,67
Wasserkraft, Deponiegas, Grubengas, Klärgas (500 - 5.000 kW _{el})	13,0	6,65
Windkraft (Anfangsvergütung)	17,8	9,0
Windkraft (Endvergütung) ¹³	12,1	6,1

Für die Zeit seit dem Inkrafttreten des EEG lässt sich bereits jetzt eine sehr positive Bilanz ziehen. Insgesamt wurden aufgrund des EEG im Jahr 2000 seit seinem Inkrafttreten am 1. April 2000 von den Netzbetreibern rund 1,7 Mrd. DM in Form von einer Einspeisevergütung an Betreiber von Stromerzeugungsanlagen gezahlt. Die so erzeugte elektrische Gesamtenergiemenge aus Erneuerbaren Energien beträgt rund 10 Mrd. kWh. Für das Jahr 2001 wurde nach derzeitigen Schätzungen ein Gesamtvolumen von rund 2,7 Mrd. DM an EEG-Vergütungen erreicht. Durch das Regime des EEG zur Verteilung der Vergütungen auf den Stromverbrauch aller Endkunden ergab sich bezogen auf den gesamten Stromverbrauch eine durchschnittliche Vergütung in einer Größenordnung von 0,25 €-Cent/kWh. Durch die gleichzeitig entstehende Entlastungen durch entfallene anderweitige Strombeschaffungskosten ergab sich nach Studien ein Differenzbetrag zu anlegbaren Kosten in der Größenordnung von rund 0,1 €-Cent/kWh. Danach lagen die „Mehrlasten“ des EEG für die Endkunden bei rund 0,1 €-Cent; bei Berücksichtigung externer Effekte dürfte der EEG-Strom im Vergleich gänzlich ohne Mehrkosten abschneiden. Die Berechnung solcher „Mehrkosten“ sind von den jeweiligen Annahmen abhängig. Auf Details zu Fragen der anlegbaren Kosten und vermiedenen Bezugskosten soll hier nicht eingegangen werden.

Auf Windstrom entfielen im Jahr 2000 nach Angaben der Deutschen Verbundgesellschaft (DVG) mit 5.700 GWh rund 1 Mrd. DM an Einspeisevergütungen, das sind 57,7 % der Vergütungszahlungen nach EEG. Allein im Jahr 2000 wurden rund 1.500 Windenergieanlagen mit einer Leistung von rund 1.700 MW errichtet. Der Windstrom hatte im Jahr 2001 einen Anteil von rund 2,5 % am deutschen Strommarkt. Ende 2001 war in Deutschland eine Windkapazität installiert, die bei dem gegenwärtigen gesamten Stromverbrauch in einem durchschnittlichen Windjahr mit rund 3,0 % zur Stromproduk-

¹² Maßgeblich für die Mindestvergütung ist das EEG. Die hier angeführten Angaben sind unverbindlich.

¹³ Für Windenergieanlagen auf Land sinkt die Mindestvergütung nach 5 Jahren bzw. nach Erreichen des standortspezifischen Referenzertrages; für Anlagen auf See sinkt sie nach 9 Jahren.

tion beitragen kann. Mit Ende 2001 insgesamt 11.440 Windkraftanlagen und einer installierten Leistung von 8.754 MW ist Deutschland bei der Nutzung der Windenergie weltweit führend. Mit diesen Anlagen wurden im Jahr 2001 bereits rund 12 Mrd. kWh Strom produziert.

Der Anteil der EEG-Einspeisungen aus kleiner Wasserkraft, Deponiegas, Grubengas und Klärgas betrug im Jahr 2000 mit 3.622 GWh 36,6 %. Mit rund 536 GWh nahmen Einspeisevergütungen für Strom aus Biomasseanlagen einen Anteil von 5,4 % ein. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Biomasseverordnung erst am 28. Juni 2001 in Kraft getreten ist. Vergütungszahlungen für Strom aus solarer Strahlungsenergie nahmen mit rund 26 GWh einen Anteil von 0,3 % ein.

3.2 Biomasse-Verordnung (BiomasseV)

Im EEG wurde das BMU zum Erlass dieser Verordnung ermächtigt - im Einvernehmen mit BMWi und BMVEL. Die Verordnung ist am 28.6.2001 in Kraft getreten. Sie regelt, welche Stoffe als Biomasse anerkannt werden, welche Stoffe nicht als Biomasse im Sinne dieser Verordnung gelten, welche technischen Verfahren zur Anwendung kommen und welche Umweltaforderungen bei der Stromerzeugung aus Biomasse einzuhalten sind. Damit sind klare Vorgaben zur Stromerzeugung aus Biomasse im Rahmen des EEG geschaffen worden. Für Betreiber besteht damit ein hohes Maß an Investitionssicherheit.

Der Bioenergie, der ein mit der Windkraft vergleichbares Potenzial zugerechnet wird, werden mit dem EEG in Verbindung mit der BiomasseV vergleichbare Entwicklungschancen eröffnet. Die Entwicklung der Biomasseverstromung setzt allerdings im Verhältnis zur Windkraftnutzung mit rund zehn Jahren Zeitverzögerung ein. Bioenergie ist ständig verfügbar und damit grund- und spitzenlasttauglich. Mit der BiomasseV wird für die unterschiedlichen Einsatzstoffe ein Innovationsprozess angestoßen. Eine differenzierte Technikentwicklung - von Verbrennungs- und Vergärungsanlagen, Dampf- und Gasturbinen sowie Motoren bis hin zu innovativen Verfahren wie Vergasung, Brennstoffzellen und Stirlingmotoren - wird damit induziert. Besonders komplex ist das Verhältnis von EEG und BiomasseV durch den neuen Biomassemarkt, der sich im Zuge der Realisierung von Anlagen deutlich verändern dürfte, da sich Kosten-Preis-Relationen für den „Brennstoff“ Biomasse erst einspielen müssen.

3.3 Marktanreizprogramm zur Nutzung Erneuerbarer Energien (MAP)

Zur Unterstützung der breiteren Markteinführung vor allem im Wärmemarkt hat die Bundesregierung im Jahr 1999 das Marktanreizprogramm zur Nutzung Erneuerbarer Energien (MAP) aufgelegt. Das Programm wurde im September 1999 gestartet und fördert den stärkeren Einsatz von Solarkollektoranlagen, Photovoltaikanlagen für Schulen, Anlagen zur Verbrennung fester Biomasse und Anlagen zur Nutzung der oberflächenfernen Geothermie durch Zuschüsse eines zinsgünstigen Darlehen. Biogasanlagen, kleine Wasserkraftanlagen und Anlagen zur Verbrennung fester Biomasse zur kombinierten Wärme- und Stromerzeugung werden über verbilligte Darlehen der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) gefördert. Bis November 2001 sind bereits rund

230.000 Anträge gestellt worden. Dahinter steht ein Investitionsvolumen von rund 2,4 Mrd. € mit entsprechend positiven Auswirkungen für Industrie, Handwerk und Handel.

Die Finanzierung des Marktanreizprogramms ist im Zusammenhang mit der Ökologischen Steuerreform (ÖSR) zu sehen. Da es aus verschiedenen Gründen kurzfristig nicht möglich war, Strom, der aus Erneuerbaren Energien produziert wurde, von der Stromsteuer im Rahmen der ÖSR zu befreien, musste auch dieser Strom wie der konventionell produzierte Strom belastet werden. In gleichem Umfang sollten diese Mittel für die Förderung der Erneuerbaren Energien in Form des Marktanreizprogramms verwendet werden. Diese stetige Erhöhung des Volumens des Marktanreizprogramms ist im Siebzehnten Subventionsbericht der Bundesregierung folgendermaßen wiedergegeben: Für das Volumen des Marktanreizprogramms ist "...bei steigenden Steuereinnahmen aufgrund der weiteren Stufen der ökologischen Steuerreform <ist> eine entsprechende Erhöhung vorgesehen."¹⁴ Entsprechend wurden für die Jahre 2000 ca. 200 Mio. DM, für 2001 ca. 300 Mio. DM und für 2002 ca. 200 Mio. € für das Marktanreizprogramm zur Nutzung erneuerbarer Energien bereitgestellt.

3.4 100.000 Dächer-Solarstrom-Programm

Der Bund unterstützt den stärkeren Einsatz von Photovoltaik-Anlagen in den Jahren 1999 bis 2003 durch zinsgünstige Darlehen im Rahmen des 100.000 Dächer-Solarstrom-Programms. Die Darlehen werden über die KfW ausgereicht. Antragsberechtigt sind Privatpersonen, freiberuflich Tätige sowie kleine und mittlere private gewerbliche Unternehmen. Durch die Stärkung der Nachfrageseite soll der Einstieg in eine Massenproduktion von Solarzellen erreicht werden. Bis 2003 soll in Deutschland eine zusätzliche Photovoltaik-Leistung von 300 MW installiert werden. Vom 1. Januar 1999 bis zum 31. Dezember 2001 wurden in dem Programm rund 31.000 Darlehen über fast 700 Mio. € zugesagt. Die Nennleistung der geförderten Solaranlagen liegt bereits bei rund 126 MW_p. Alleine im Jahr 2001 wurden 19.614 Anträge mit einer Nennleistung von rund 77 MW_p zugesagt, was einem Darlehensvolumen von rund 425 Mio. € entspricht.

3.5 KfW-CO₂-Gebäudesanierungsprogramm

Im KfW-CO₂-Gebäudesanierungsprogramm werden vorwiegend Maßnahmen zur Wärmedämmung und zur Modernisierung von Heizungsanlagen in Wohngebäuden des Altbaubestandes gefördert, die zur Energieeinsparung beitragen. Das Programm kann für Investitionsmaßnahmen für selbstgenutzte und vermietete Wohngebäude verwendet werden, die vor 1979 errichtet wurden. In diesem Zusammenhang wird in Kombination mit den Energieeinsparmaßnahmen auch die Nutzung Erneuerbarer Energien gefördert. Durch die Vergabe von zinsgünstigen Darlehen wird im Zeitraum von 5 Jahren ein Fördervolumen von insgesamt 205 Mio. € (400 Mio. DM) pro Jahr, d.h. insgesamt rund eine Mrd. € (2 Mrd. DM) zur Verfügung gestellt, welches Investitionsvolumen von insgesamt etwa 5,1 Mrd. € (10 Mrd. DM) anstößt. Bis Ende 2001 konn-

¹⁴ Bericht der Bundesregierung über die Entwicklung der Finanzhilfen des Bundes und der Steuervergünstigungen für die Jahre 1997 bis 2000 (Siebzehnter Subventionsbericht), S. 91

ten nahezu 10.000 Kredite im Umfang von insgesamt mehr als 500 Mio. € für Maßnahmen zur CO₂-Minderung in rund 32.000 Wohnungen durch die KfW zugesagt werden.

3.6 Ökologische Steuerreform (ÖSR)

Durch die Ökologische Steuerreform werden Schritt für Schritt die grundsätzlichen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für die Erneuerbaren Energien verbessert. Durch die schrittweise moderate Verteuerung von fossilen Energiequellen wird die Nutzung Erneuerbarer Energien im Vergleich günstiger. Das trifft derzeit vor allem für die Wärmenutzung aus Erneuerbaren Energien zu, da die Wirtschaftlichkeit der Nutzung von Solarkollektoren und Biomasse für das Heizen und die Warmwasserproduktion gegenüber Strom, Öl oder Gas verbessert wird. Dies wird zusätzlich unterstützt durch die gezielte Förderung von Erneuerbaren Energien im Wärmebereich durch das Marktanreizprogramm zur Nutzung Erneuerbarer Energien, das durch die ÖSR finanziert wird.

Da seit in Kraft treten der ÖSR festgelegt war, dass bis einschließlich 2003 weitere Stufen folgen werden, wurde für anstehende Investitionen die notwendige Planungssicherheit gegeben. Dies gilt allerdings nur für den Kraftstoffbereich, da für Heizöl und Gas keine weiteren Stufen vorgesehen waren.

3.7 Energieeinsparverordnung (EnEV)

Der Einsatz erneuerbarer Energien zur Wärmeerzeugung oder Warmwasserbereitung wird in der Energieeinsparverordnung auf zwei Wegen berücksichtigt. Zum einen sind Gebäude, die zu „mindestens 70 vom Hundert“ durch erneuerbare Energien mittels selbsttätig arbeitender Wärmeerzeuger beheizt werden, von der Begrenzung des Jahres-Primärenergiebedarfs in der Energieeinsparverordnung ausgenommen. Liegt der Anteil unter 70%, so gelten die allgemeinen Anforderungen. Die Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs eines Gebäudes wird getrennt nach Energieträgern durchgeführt, wodurch erneuerbare Energien energetisch entsprechend berücksichtigt werden.

3.8 Forschung und Entwicklung

Die bisher gewährten staatlichen Zuwendungen für Forschung und Entwicklung von Erneuerbaren Energien im Rahmen des nicht-nuklearen Energieforschungsprogramms des BMWi im Zeitraum 1974 bis 2001 belaufen sich auf etwa 3,5 Mrd. DM. Im Haushaltsjahr 2001 wurden für die nichtnukleare Energieforschung insgesamt Mittel in Höhe von 117 Mio. € bereitgestellt, für 2002 sind rund 133 Mio. € vorgesehen. Davon entfielen rund 55 Mio. € (2002: 51 Mio. €) auf Vorhaben im Bereich der Erneuerbaren Energien, rund 16 Mio. € (2002: 17 Mio. €) auf die Förderung von Vorhaben zur rationellen Energieverwendung, rund 13 Mio. € auf die Brennstoffzelleforschung (2002: 29 Mio. €), 8 Mio. € (2002: 9 Mio. €) auf das Leitprojekt "Energieerzeugung und Speicherung, dezentral und mobil", 14 Mio. € (2002: 18 Mio. €) auf emissionsarme Verbren-

nungsverfahren sowie rund 9 Mio. € (2002: 9 Mio. €) auf Querschnittsaufgaben (darunter Kosten für die Projektträger).¹⁵

Ein wichtiger Ansatzpunkt ist hier die Steigerung der Wirtschaftlichkeit von Erneuerbaren Energien. Um den Anteil dieser Energien mittel- und langfristig deutlich zu erhöhen, unterstützt die Bundesregierung Forschungsaktivitäten, die auf wirksamere und kostengünstigere Systeme und Verfahren abzielen und Kostensenkungen bei den eingesetzten Technologien bewirken.

Bei der Photovoltaik richtet sich die Förderung auf industrielle Verfahren und Maßnahmen, mit drei folgenden Schwerpunkten: Senkung der Herstellungskosten von Solarzellen und Modulen, Erhöhung des Wirkungsgrades von Solarzellen und Reduktion der Nebenkosten für Wechselrichter, Montage und Installation.

Da zum Erreichen des Verdopplungsziels für die Erneuerbaren Energien bis 2010 der Ausbau der Windenergie den größten Beitrag liefern dürfte, gilt es derzeit neue, große Anlagen in der MW-Klasse zu errichten und die Bedingungen für die Nutzung des Offshore-Windpotenzials zu schaffen. Entsprechend konzentriert sich derzeit die F&E-Förderung bei der Windenergie derzeit auf die Entwicklung von Offshore-Anlagen einschließlich der ökologischen Begleitforschung.

Geothermische Anlagen lassen sich zur nahezu unerschöpflichen Strom- und Wärmeerzeugung einsetzen – ohne dass dabei Kohlendioxid entsteht. Die Förderung der Geothermie verfolgt das Ziel, die Nutzung dieser Anlagen auf eine wirtschaftliche Basis zu stellen. Wesentliche Hürden bei der Markteinführung sind das hohe Fündigkeitsrisiko von Erdwärme und die damit verbundenen hohen Bohrkosten. In verschiedenen Projekten werden F&E-Vorhaben sowie Pilotanlagen zur Erzeugung von Strom / KWK aus Geothermie unterstützt.

Die Brennstoffzelle kann als eine sehr effiziente Umwandlungstechnologie auch für die Umwandlung von Erneuerbaren Energiequellen verwendet werden. Dabei lassen sich biogene Brennstoffe direkt in Brennstoffzellen einsetzen (wie z.B. Biogas), aber auch durch Erneuerbare Energien erzeugte Sekundärenergieträger wie Methanol oder Wasserstoff. Unter diesen Gesichtspunkten wird die Brennstoffzelle in diesem Bericht als besonders vielversprechende Technik zur Erschließung der Erneuerbaren Energien eingestuft und diskutiert. In die Entwicklung von Brennstoffzellen sind in der Vergangenheit schon erhebliche Fördermittel des Staates und der Wirtschaft geflossen. Nun kommt es u.a. darauf an, neue Fertigungsverfahren und Einsatzbereiche in F&E sowie Demonstrationsvorhaben zu unterstützen und die Markteinführung der Brennstoffzellen vorzubereiten. Um die effiziente Nutzung der Erneuerbaren Energien zu fördern, ist zukünftig insbesondere ihre Eignung für biogene Einsatzstoffe zu optimieren. Langfristig muss es das Ziel sein, die Brennstoffzelle in Verbindung mit Erneuerbaren Energien zu einer kostengünstigen Energietechnologie zu entwickeln und einen wettbewerbsfähigen Industriezweig aufzubauen.

Zusätzliche Mittel für die Forschung und Entwicklung im Bereich Erneuerbare Energien wurden durch das Zukunftsinvestitionsprogramm (ZIP) bereitgestellt, welches einen bedeutenden Beitrag im Bereich der nichtnuklearen Energieforschung leistet. Das ZIP

¹⁵ Diese Angaben berücksichtigen noch nicht die Übertragung der Ausgabenreste in 2001 in Höhe von rund 30 Mio. € im Zukunftsinvestitionsprogramm auf die Haushaltsjahre 2001 bis 2004.

konnte aufgrund des Verkaufs der UMTS-Lizenzen aufgelegt werden. Es wird durch die Zinersparnisse, die die Bundesregierung durch zusätzliche Tilgung von Schulden mit UMTS-Mitteln erhält, finanziert. Von den gesamten Ersparnissen werden zwischen 2001 und 2003 jährlich 50 Mio. € überwiegend für Vorhaben in der Forschung und Entwicklung im Bereich der Erneuerbaren Energien und Brennstoffzelle verwendet.

Dabei werden vom BMU 10 Mio. € pro Jahr eingesetzt, mit denen F&E-Vorhaben in den Bereichen geothermische und solarthermische Stromerzeugung sowie der ökologischen Begleitforschung für Wind-Offshore, stationäre Brennstoffzellen und Biomasse gefördert wird.

Weitere 40 Mio. € pro Jahr werden durch das BMWi eingesetzt. Durch das ZIP und weitere F&E-Programme fördert das BMWi Forschung in den Bereichen Brennstoffzellen incl. Wasserstofftechnologie, Photovoltaik, Solarthermie, Wasserkraft, Windkraft und emissionsarme Verbrennungsverfahren.

3.9 Entwicklungszusammenarbeit

Die Förderung Erneuerbarer Energien ist Teil der „Initiative Zukunftssicherung durch Klimaschutz“ des BMZ. In diesem Programm werden allein für die Erneuerbaren Energien seit 1999 jährlich 100 Mio. € bereitgestellt. Im Jahr 1999 wurden fast 90 Vorhaben des Programms in über 40 Ländern durchgeführt. Insgesamt hat das BMZ bis 1999 über 4 Mrd. DM für Erneuerbare Energien zur Verfügung gestellt. Die deutsche Entwicklungszusammenarbeit hat deshalb entsprechend viele Erfahrungen gesammelt.¹⁶

Die Förderschwerpunkte der deutschen Entwicklungszusammenarbeit (EZ) im Bereich der Erneuerbaren Energien werden aus der Problemlage der Entwicklungsländer und den sektorspezifischen Zielen des BMZ abgeleitet. Sie liegen im Schnittpunkt von Energie- und Klimapolitik:

- Verbreitung von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien im ländlichen Raum.
- Förderung netzeinspeisender Anlagen zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien zur CO₂-Minderung bei der Stromerzeugung.
- Maßnahmen zur rationellen Energieverwendung und der Nutzung von Erneuerbaren Energien im urbanen Raum.

Überall dort, wo der Einsatz Erneuerbarer Energien die volks- und betriebswirtschaftlich kostengünstigere Lösung darstellt, ist die Technologieauswahl für EZ-geförderte Projekte eindeutig und der Einsatz Erneuerbarer Energien unumstritten. Liegt jedoch ein Zielkonflikt vor zwischen Ökonomie und Ökologie, wird den Erneuerbaren Energien je nach individuellen Rahmenbedingungen ein „Umweltbonus“ eingeräumt. Eventuell damit einhergehende höhere Investitionskosten werden in begrenztem Umfang in Kauf genommen. Dies entspricht auch der Praxis des Global Environment Facility (GEF).¹⁷

¹⁶ BMZ 1999: Materialien 100, Erneuerbare Energie für nachhaltige Entwicklung und Klimaschutz. S. 2.

¹⁷ BMZ 1999: Materialien 100, Erneuerbare Energie für nachhaltige Entwicklung und Klimaschutz. S. 22-23.

3.10 Beispiel: Bundesmaßnahmen an Parlaments- und Regierungsbauten in Berlin

Die Bundesregierung hat beschlossen, bei den Neu- und Umbaumaßnahmen in Berlin ausdrückliche vorzeigbare Anstrengungen zu unternehmen, um den Energieverbrauch zu senken und erneuerbare Energien zu nutzen. Dabei sind vorbildliche, integrierte Energieversorgungslösungen umzusetzen, die den Aspekten Minimierung des Primärenergiebedarfes, Umweltentlastung, Nutzung Erneuerbarer Energien, Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit gleichermaßen Rechnung tragen.

Solaranlagen:

Im Anforderungsprogramm für die Energieversorgung der Parlaments- und Regierungsbauten hat die architektonisch integrierte Nutzung erneuerbarer Energien einen besonderen Stellenwert. Mit der Bereitstellung von 10,2 Mio. € (20 Mio. DM) für die Errichtung von Solaranlagen auf den Berliner Bundesbauten hat die Bundesregierung hierfür ein deutliches Signal gesetzt. Aus diesem Sonderfonds werden insgesamt 9.932 m² Photovoltaik- und 1.520 m² Solarkollektoranlagen finanziert.

Durch diese Solaranlagen werden pro Jahr ca. 1.200 MWh Nutzenenergie erzeugt, ca. 630 MWh/a davon als Elektronenergie aus Photovoltaikanlagen. Mit den Photovoltaikanlagen auf den Bundesbauten wird sich die in Berlin bisher installierte Kapazität deutlich erhöhen. Bezogen auf das Jahr 1996 (dem Beginn der Tätigkeiten zur Koordination der Anlagensysteme zur Nutzung regenerativer Energien) entspricht das fast einer Verdoppelung der installierten Leistung.

Einige Anlagensysteme, wie z. B. die Photovoltaikanlage auf dem Umweltbundesamt in Dessau oder im zweiten Erweiterungsbau des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, befinden sich noch in der Planung.

Etwa 45% der gesamten Solarflächen werden in Aufdachmontage mit Stahlunterstützkonstruktionen bzw. Kunststoffwannen ausgeführt. Wesentlichen Anteil haben auch PV-Zellen, die in Glaslamellen eingelassen sind (35%). Darüber hinaus werden PV-Module direkt in die Dachkonstruktion integriert.

Das Reichstagsgebäude:

Mit Abschluss des Umbaus des Reichstagsgebäudes zum Sitz des Deutschen Bundestages im Jahre 1999 zeichnet sich dieser durch eine innovative Anlage zur Versorgung mit Strom, Wärme und Kälte aus.

Im Zentrum des Systems steht ein 1.600 kW-Blockheizkraftwerk (BHKW), das mit Rapsöl betrieben wird und gekoppelt Strom und Wärme produziert. Einerseits werden die verschiedenen Heizsysteme direkt mit Wärme versorgt, andererseits treibt es eine Absorptionskältemaschine / -wärmepumpe an. Überschüssige Wärme des stromgeführten BHKW wird im Sommer auf einem Temperaturniveau von 70°C in einen unterirdischen Wärmespeicher geleitet, der sich 300 m tief unter dem Reichstagsgebäude befindet. Diesem Speicher kann die Wärme zu Hochbedarfszeiten im Winter direkt wieder entnommen werden. Sie dient dann der Versorgung spezieller Niedertemperatur – Heiznetze.

In einer Tiefe von ca. 50 m wird ein zweiter Speicher als Kältespeicher genutzt. Hier wird im Winter mit Umweltkälte auf 5°C abgekühltes Grundwasser eingelagert, das im

Sommer ohne zusätzliche Antriebsenergie die Kühlsysteme des Reichstagesgebäudes speist.

Das gesamte System steht allen Gebäuden im Verbund der Parlamentsbauten im Spreebogen zur Verfügung. Dadurch können die hohen Potenziale der Umweltentlastung bei günstigen Betriebskosten nutzbar gemacht werden.

4 Die Sparten der Erneuerbaren Energien im Einzelnen

In diesem Kapitel werden die einzelnen Erneuerbaren Energiequellen diskutiert. Dabei werden die von der Bundesregierung verwendeten Instrumente und Maßnahmen zu deren Förderung, die Entwicklung der energetischen Nutzung in den vergangenen Jahre und die Potenziale, die Kostenentwicklung und der Stand sowie Förderung der Forschung und Entwicklung dargestellt, soweit dies aufgrund der Datenlage möglich ist. Abschließend wird zusammenfassend für jede Energiequelle eine Gesamteinschätzung und ein Ausblick gegeben.

Die verschiedenen Erneuerbaren Energieträger unterscheiden sich bezüglich ihres Vorkommens, ihrer Nutzung, ihrer Potenziale, ihres derzeitigen Preises und ihrer Verfügbarkeit stark voneinander. Bezüglich der Verfügbarkeit lassen sie sich in zwei Gruppen unterteilen: die ständig verfügbaren und die nicht ständig verfügbaren. Ständig verfügbar – und damit im Strombereich grundlastfähig – sind Biomasse, Geothermie und Wasserkraft. Wasserkraft und insbesondere Biomasse lassen auch zur Spitzenlastdeckung verwenden. Biomasse, die im Wärmebereich den mit Abstand größten Anteil unter den Erneuerbaren Energien aufweist, und Geothermie stehen für die Wärmebereitstellung auch im Winter zur Verfügung, wenn der Bedarf besonders groß ist. Im Strombereich decken die drei grundlastfähigen Erneuerbaren Energiequellen derzeit über die Hälfte der Stromproduktion durch Erneuerbare Energien ab (v.a. Wasserkraft). Auch bei der Steigerung des Anteils der Erneuerbaren an der gesamten Stromproduktion werden die grundlastfähigen weiterhin einen großen Anteil haben. Denn neben Windkraft wird kurz- und mittelfristig ein Boom bei der Biomasse erwartet, für die Geothermie ist die verstärkte Nutzung mittel- bis langfristig zu erwarten.

Die Gruppe der nicht ständig verfügbaren Erneuerbaren Energiequellen besteht aus der Sonnen- und Windkraft. Der unregelmäßigen Verfügbarkeit von diesen beiden Sparten der Erneuerbaren Energien muss beim weiteren Ausbau Rechnung getragen werden, insbesondere auch bezüglich der Netzsteuerung. Durch die Kombination von nicht ständig mit ständig verfügbaren Erneuerbaren Energiequellen können jahres- oder tageszeitliche Schwankungen tendenziell ausgeglichen werden. Zudem können mittel- und langfristig durch intensivierten Einsatz von Informationstechnologie, geeignetem Angebots- und Verbrauchsmanagement, Speichersystemen und Sekundärenergieträgern Angebots- und Lastkurven angepasst werden.

4.1 Windkraft

4.1.1 Instrumente

Den ersten Impuls für die rasante Entwicklung der Windenergienutzung in Deutschland hat das seit 1. Januar 1991 in Kraft getretene Stromeinspeisungsgesetz (StrEG) gegeben, durch das die Abnahme und Vergütung von Strom aus Windenergie geregelt wurde. Zuvor wurden etwa ein Jahrzehnt F&E-Arbeiten zur Windkraftnutzung

durch die Bundesregierung unterstützt. Durch die Änderung des § 35 BauGB wurden Windenergieanlagen 1996 unter bestimmten Bedingungen zu privilegierten Bauvorhaben im Außenbereich erklärt. Diese Regelung hat entscheidend dazu beigetragen, dass ein geregelter Ausbau der Windenergie durch die Ausweisung von Vorranggebieten, Eignungsgebieten und Ausschlussgebieten erfolgt ist und so die Technologie in der Bevölkerung weitgehend akzeptiert wurde.

4.1.2 Entwicklung der Nutzung und Potenziale

Die Zahl der Windkraftanlagen wuchs bis Ende 2001 annähernd exponentiell auf gut 11.400 Anlagen mit einer gesamt installierten Leistung von rund 8.750 Megawatt. Mit diesen Anlagen wurden im Jahr 2001 bereits 12 Mrd. Kilowattstunden (12 Terawattstunden; vorläufige Abschätzung) in Deutschland aus Windenergie erzeugt. Der Zubau im Jahr 2001 betrug in Deutschland nach Angaben des Deutschen Windenergie Instituts (DEWI) und des Bundesverbandes WindEnergie (BWE) 2.079 neue Windenergieanlagen mit einer Leistung von 2.659 MW (siehe Abb. 4.1, 4.2 und 4.3). Dies entspricht einer Steigerung des Zubaus gegenüber 2000 um 39% (Anzahl) bzw. 59% (Leistung).

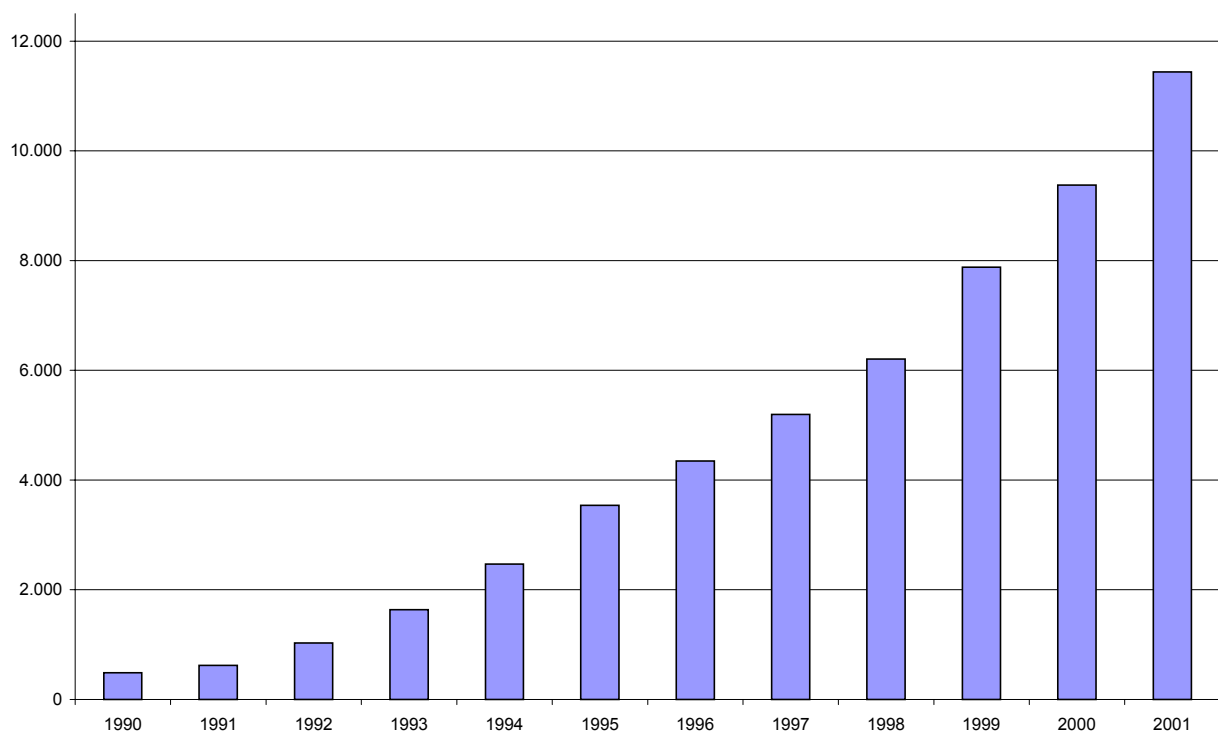


Abb. 4.1: Kumulierte Anzahl der Windenergieanlagen in Deutschland von 1990 bis 2001 (Quellen: Staiß 2001, DEWI 2002)

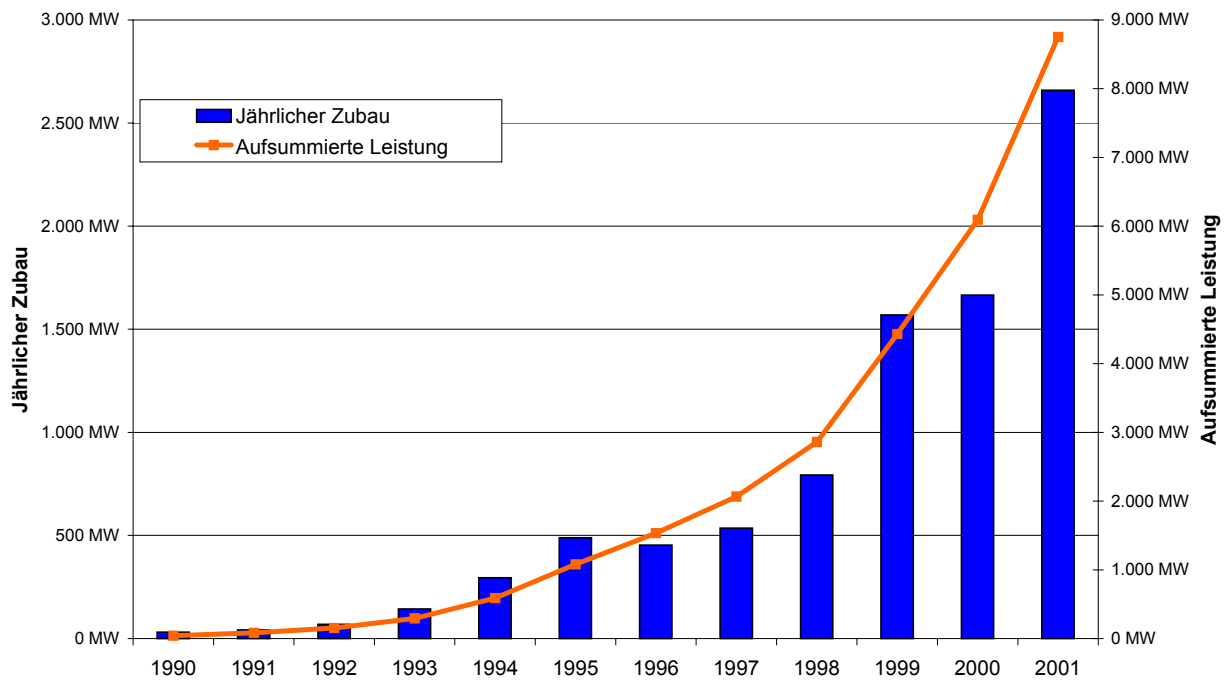


Abb. 4.2: Jährlich neu installierte und kumulierte Windkraftleistung in Megawatt, 1990 bis 2001 (Quellen: DEWI 2002, BWE 2002)

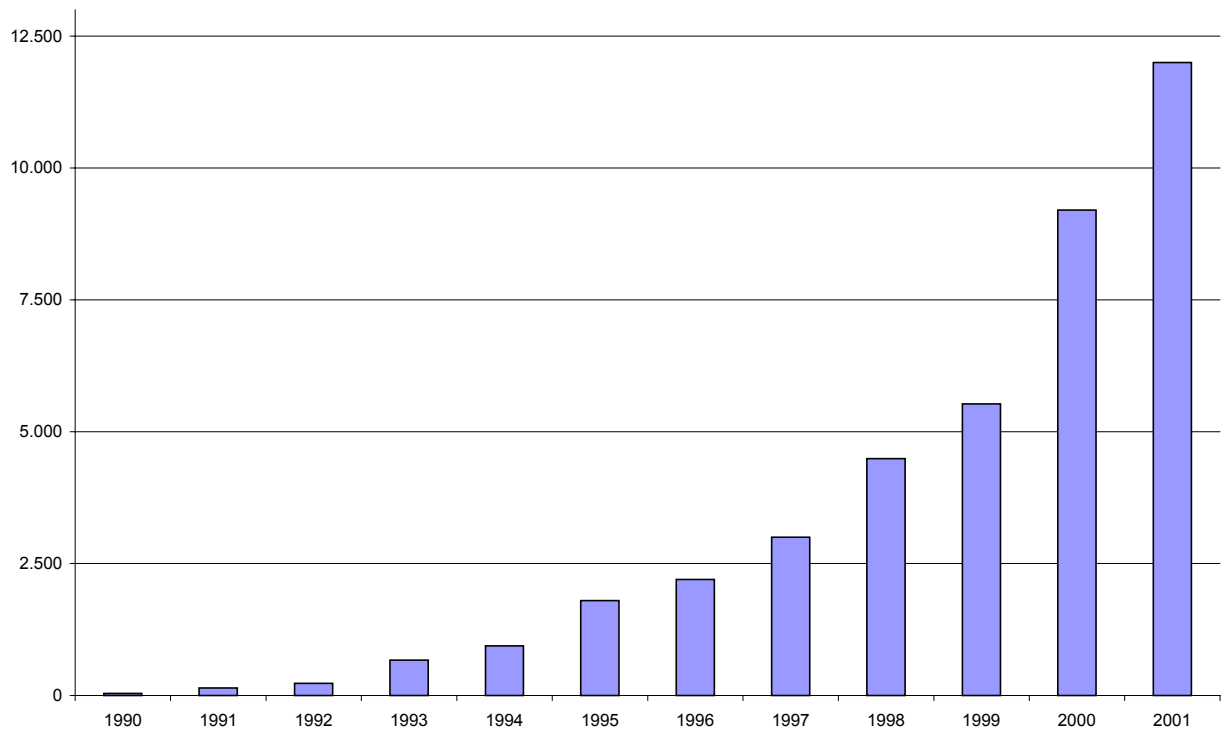


Abb. 4.3: Jährlicher Gesamtstromertrag aus Windenergie in TWh, 1990 bis 2001 (Quellen: Staib 2001, DEWI 2002, Angabe für 2001 vorläufige Schätzung)

Im Jahr 2001 betrug das CO₂-Einsparpotenzial aus der Windkraftnutzung etwa 10 Mio. t CO₂, entsprechend rund 1% der CO₂-Emissionen des Jahres 1990 in Deutschland (je nach Annahme der substituierten zur Stromproduktion verwendeten Primärenergie; hier wird der Mittelwert 0,8 kg CO₂-Einsparung pro kWh verwendet).

Die Gesamtleistung der Windparks an Land wird sich in den nächsten Jahren weiter erhöhen. Es ist allerdings bereits heute erkennbar, dass die jährlich neu installierte Zahl von Windkraftanlagen an Land in wenigen Jahren abnehmen wird. Um den Ausbau der Windenergienutzung in Deutschland auf hohem Niveau aufrecht zu erhalten, ist ein weiterer Ausbau an geeigneten Landstandorten, der Ersatz alter, kleinerer Anlagen durch moderne und leistungsstärkere Anlagen (sog. Repowering) sowie eine allmähliche Erschließung geeigneter Standorte auf See erforderlich.

In der Diskussion um die Offshore-Windenergienutzung ist zu berücksichtigen, dass diese Projekte gegenwärtig noch mit großen technischen und wirtschaftlichen Unsicherheiten verbunden sind. Aufgrund des geringeren Raumangebots als beispielsweise in Dänemark oder Schweden und den gesellschaftspolitischen Anliegen kommen in Deutschland besonders Standorte mit großen Wassertiefen und weiten Entfernungen zur Küste in Frage. Für diese liegen jedoch weltweit noch keine Erfahrungen vor.

Daher haben sich unter Federführung des BMU die beteiligten Ressorts auf eine „Strategie der Bundesregierung zur Windenergienutzung auf See“ verständigt. Danach könnten bis etwa 2025/2030 zwischen 20.000 bis 25.000 MW Windenergieleistung auf dem Meer installiert sein. Die Voraussetzungen für Rechts- und Planungssicherheit wurden im Zuge der Novellierung des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) und der Änderung der Seeanlagenverordnung durch die vorgesehene Festlegung von besonderen Eignungsgebieten für Offshore-Windparks sowie durch die Umsetzung europäischen Naturschutzrechts geschaffen. Eine ausführliche Darstellung gibt Kapitel 4.1.3.

Auswirkung der bisherigen Entwicklung der Windenergienutzung auf den Arbeitsmarkt

Die jährlich getätigten Investitionen in die Windenergienutzung in Deutschland zeigen in den vergangenen Jahren einen stark steigenden Verlauf. Die gesamten Investitionen in die Windenergienutzung in Deutschland betragen 1990 danach 100 Mio. DM. Im Jahr 1998 lag dieser Wert bereits bei 1,75 Mrd. DM. Im Jahr 1999 verdoppelten sich die gesamten Investitionen in die Windenergienutzung in Deutschland auf 3,5 Mrd. DM und steigerte sich im Jahr 2000 auf rund 3,7 Mrd. DM. Im Jahr 2001 ergab sich wiederum rund eine Verdoppelung auf 3,5 Mrd. €.

Die Produktivität bei der Produktion und bei der Installation von Windenergieanlagen ist in den vergangenen 10 Jahren stark gestiegen. Allein zwischen 1990 und 1995 sank die spezifische Anzahl der Beschäftigten pro MW bei den Windenergieanlagenherstellern von 12 auf 4 Personen. Trotzdem verzeichnet die Branche einen starken Zuwachs an Beschäftigten in den letzten 10 Jahren.

Die Anzahl der direkten und indirekten Arbeitsplätze, die durch die Windenergienutzung in Deutschland entstanden sind, beträgt nach Angaben des Bundesverbandes Windenergie (BWE) derzeit rund 35.000 (Entwicklung der Arbeitsplätze siehe Abb. 4.4.

Der überwiegende Teil dieser Arbeitsplätze ist in Deutschland entstanden. Auch die dänischen Hersteller von Windenergieanlagen haben einen Teil ihrer Produktionskapazitäten nach Deutschland verlegt.

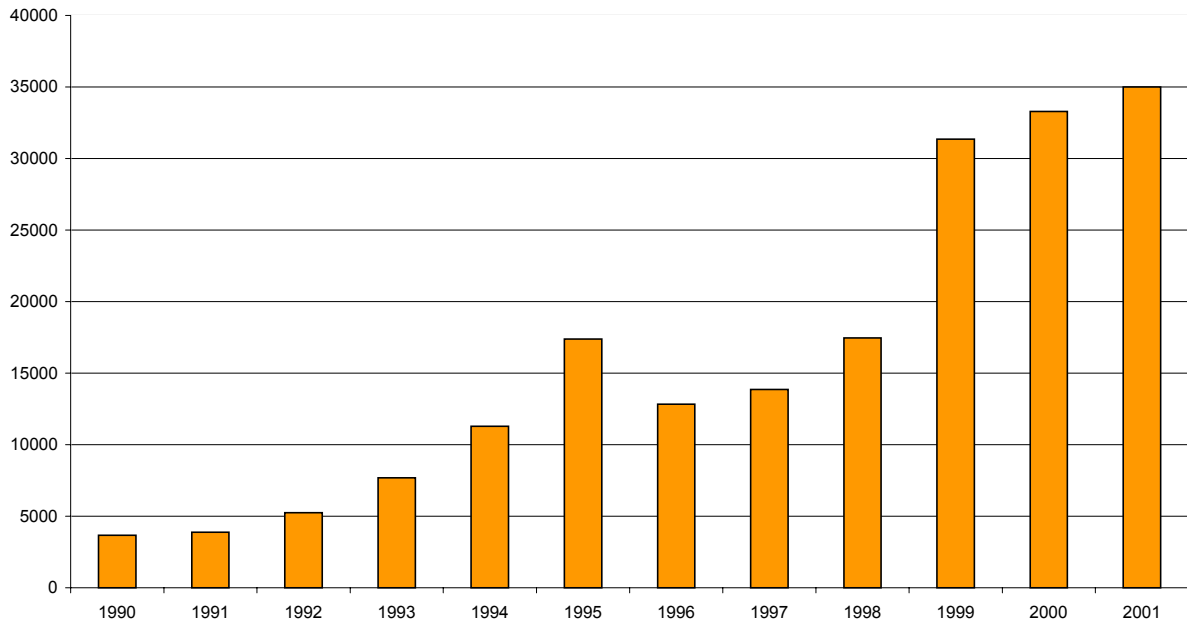


Abb. 4.4: Beschäftigte im Windenergiesektor 1990 bis 2001 (Quelle: BMU/DEWI 2001, VDMA 2002, DEWI 2002, BWE 2002)

4.1.3 Strategie der Bundesregierung zur Ausbau der Windenergienutzung auf See

Im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung wurde das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) beauftragt, eine innerhalb der Bundesregierung abgestimmte Strategie zur Nutzung der Windenergie auf See zu erarbeiten. Diese Strategie wurde am 29. Januar 2002 von Bundesumweltminister Jürgen Trittin vorgestellt.

Ausgangspunkt war das Positionspapier des BMU zur Windenergienutzung auf See vom Mai 2001. An der Ressortabstimmung waren beteiligt: BMU (federführend), BMVBW, BMWi, BMVEL, BMVg, unterstützt von der deutschen Energie-Agentur (DENA).

Hintergrund

Die Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, den Anteil der erneuerbaren Energien bis 2010 zu verdoppeln. Bezogen auf das Ausgangsjahr 2000 bedeutet dies bis 2010 einen Anteil von etwa 12,5 % an der dann aktuellen Stromgewinnung.

Ende des Jahres 2001 waren in Deutschland insgesamt rund 8.750 Megawatt (MW) Windkraftleistung am Netz. Die im Jahr 2001 aus Windenergie gelieferte Strommenge von rd. 13 Terawattstunden (TWh; 1 TWh = 1 Mrd. kWh) deckte bereits über 2,5 Pro-

zent des Strombedarfs. Die Windenergienutzung dürfte im Jahr 2001 bereits rund 10 Mio. t CO₂, d.h. rund 1% der CO₂-Emissionen in Deutschland einsparen. Ein Ergebnis, das ihre große Bedeutung für den Klimaschutz zeigt.

Es ist bereits heute erkennbar, dass die jährlich neu installierte Zahl von Windkraftanlagen an Land in wenigen Jahren abnehmen wird. Um den Ausbau der Windenergienutzung in Deutschland auf hohem Niveau aufrecht zu halten, ist ein weiterer Ausbau an geeigneten Landstandorten, der Ersatz alter, kleinerer Anlagen an Land durch moderne und leistungsstärkere sowie eine allmähliche Erschließung geeigneter Standorte auf See erforderlich.

Zielsetzung und Eckpunkte der Strategie

Ziel des Teilprojekts „Offshore-Windparks“ ist es, die Rahmenbedingungen dafür zu schaffen, dass die erheblichen Potenziale von Offshore-Windparks möglichst schnell erschlossen werden können. Dabei geht die Bundesregierung davon aus, dass die erneuerbaren Energien längerfristig ohne Subventionen wettbewerbsfähig sind.

Unter den gegenwärtigen Bedingungen könnten auf den aus heutiger Sicht voraussichtlich verfügbaren Flächen in der Startphase (erste Baustufen von Windparks) bis 2006 insgesamt mindestens 500 Megawatt und mittelfristig, bis 2010, 2000 bis 3000 Megawatt Leistung zur Windenergienutzung auf See erreicht werden. Langfristig, d.h. bis 2025 bzw. 2030, sind bei Erreichen der Wirtschaftlichkeit etwa 20 000 bis 25 000 Megawatt installierter Leistung möglich (Küstenmeer und AWZ¹⁸). Dazu ist erforderlich, dass Investoren von Offshore-Windparks und die Stromwirtschaft die Voraussetzungen für den Transport von offshore erzeugtem Strom in dieser Größenordnung schaffen (ausreichende Seekabel-Kapazitäten, Anbindung an das Festlandnetz, ggf. zusätzliche Netzkapazitäten an Land).

Eine solche Nutzung der Windenergie auf dem Meer entspräche 15 Prozent des Stromverbrauchs in Deutschland - gemessen am Bezugsjahr 1998. Der Ausbau dieser Energieform soll umwelt- und naturverträglich sowie volkswirtschaftlich verträglich gestaltet werden und stufenweise erfolgen.

Tab. 4.1: Schrittweise Erschließung der Windenergienutzung auf See

Phasen	Zeitraum	Mögliche Kapazität (1 MW = 1.000 kW)	Möglicher Stromertrag (1 TWh/a = 1 Mrd. kWh/a)
1. Vorbereitungsphase	2001 - 2003		--.
2. Startphase (Erste Baustufen)	2003/4-2006	mindestens 500	ca. 1,5
3. Erste Ausbauphase	2007-2010	2.000 - 3.000	ca. 7 - 10 TWh
4. Weitere Ausbauphasen	2011-2030	20.000 - 25.000	ca. 70 - 85 TWh

¹⁸ Ausschließliche Wirtschaftzone (AWZ): 12 bis 200 Seemeilen

Rechtliche Rahmenbedingungen für eine schnelle Erschließung des Windkraftpotenzials auf See

Dem Auftrag des Staatssekretärsausschusses zur Entwicklung einer Strategie zur raschen Herstellung von Rechts- und Planungssicherheit ist durch die zwischenzeitlich am 1. Februar 2002 vom Bundestag und Bundesrat verabschiedeten Neuregelungen der §§ 38 BNatSchG und 2a, 3, 3a, 5 Abs.1 SeeAnIV weitgehend Rechnung getragen worden:

Der zügigen Umsetzung europäischen Rechts soll insbesondere durch die Ausweisung von Schutzgebieten nach der FFH- und der Vogelschutzrichtlinie gem. § 38 BNatSchG Rechnung getragen werden. Daneben ist es erforderlich, dass auch die von der Bundesregierung eingeforderte Festlegung von Eignungsgebieten für die Windenergienutzung in der AWZ gem. § 3a SeeAnIV zügig umgesetzt wird.

Nach den o.g. beschlossenen Regelungen wird der Bund in der AWZ sowohl die Schutzgebietsausweisungen und deren Management übernehmen als auch die besonderen Eignungsgebiete für Windkraftanlagen festlegen. Damit soll die nötige Rechtssicherheit für den Ausbau der Offshore-Windkraft geschaffen werden. Die Schaffung einer Verwaltungszuständigkeit des Bundes ist im Interesse eines zügigen Ausbaus der Offshore-Windenergienutzung notwendig.

Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) als Genehmigungsbehörde war bisher darauf beschränkt, im jeweiligen Einzelfall die Eignung des konkret zur Genehmigung gestellten Standortes zu prüfen, ohne dass frühzeitig eine verbindliche Aussage über die Eignung der Fläche getroffen werden konnte. Dies war für die Antragsteller mit großem Aufwand für die bisher wenig erforschten Meeresflächen der AWZ verbunden. Mit der neuen Regelung des § 3a SeeAnIV und des § 38 BNatSchG wurde nunmehr eine Steuerungsmöglichkeit geschaffen, die eine strukturierte bauliche Entwicklung von Windparks in der AWZ möglich macht und zudem Nutzungskonflikte durch vorherige Ressortabstimmung löst.

Die Regelung des § 3a SeeAnIV soll insbesondere zu einem beschleunigten Ausbau von Offshore-Windparks in der AWZ führen. Denn die Untersuchungen zu entsprechenden Eignungsflächen sollen in unmittelbarem Zusammenhang zu denen für Schutzgebietsflächen nach § 38 BNatSchG erfolgen. Aus den in den laufenden und geplanten Forschungsvorhaben gewonnenen sowie aus den bereits vorhandenen Daten sollen Rückschlüsse auf die Lage möglicher Eignungsgebiete für Offshore-Windparks gezogen werden, ohne dass die förmliche Ausweisung der Schutzgebiete abgewartet werden muss. Die besonderen Eignungsgebiete zur Windenergienutzung in der AWZ sind entsprechend dem jeweiligen Kenntnisstand fortzuschreiben.

Identifikation von Gebieten zur Windenergienutzung in der AWZ

Nach dem neuen § 3a SeeAnIV sind künftig besondere Eignungsgebiete für Offshore-Windparks festzulegen. Daneben bleiben Genehmigungen für Einzelvorhaben möglich.

Potenzielle Eignungsgebiete

Potenzielle Eignungsgebiete für Offshore-Windparks sind Flächen, bei denen unter Beteiligung aller fachlich betroffenen Ressorts die Datenlage mit dem Ziel geprüft

wird, die Qualifikation dieser Flächen als besondere Eignungsgebiete im Sinne des § 3a der Seeanlagenverordnung festzustellen.

Nach Abstimmung im Ressortkreis zum Abgleich der Nutzungsinteressen sind auf Basis der derzeitigen Datenlage erste konfliktarme Flächen identifiziert worden, die unter den gegenwärtigen Bedingungen für die Startphase und erste Ausbauphase als besondere Eignungsgebiete für Offshore-Windparks in der AWZ in Betracht kommen (siehe Abb. 4.5 und 4.6).

Nordsee: Potenzielle Eignungsgebiete und Erwartungsflächen für Eignungsgebiete zur Windenergienutzung in der AWZ

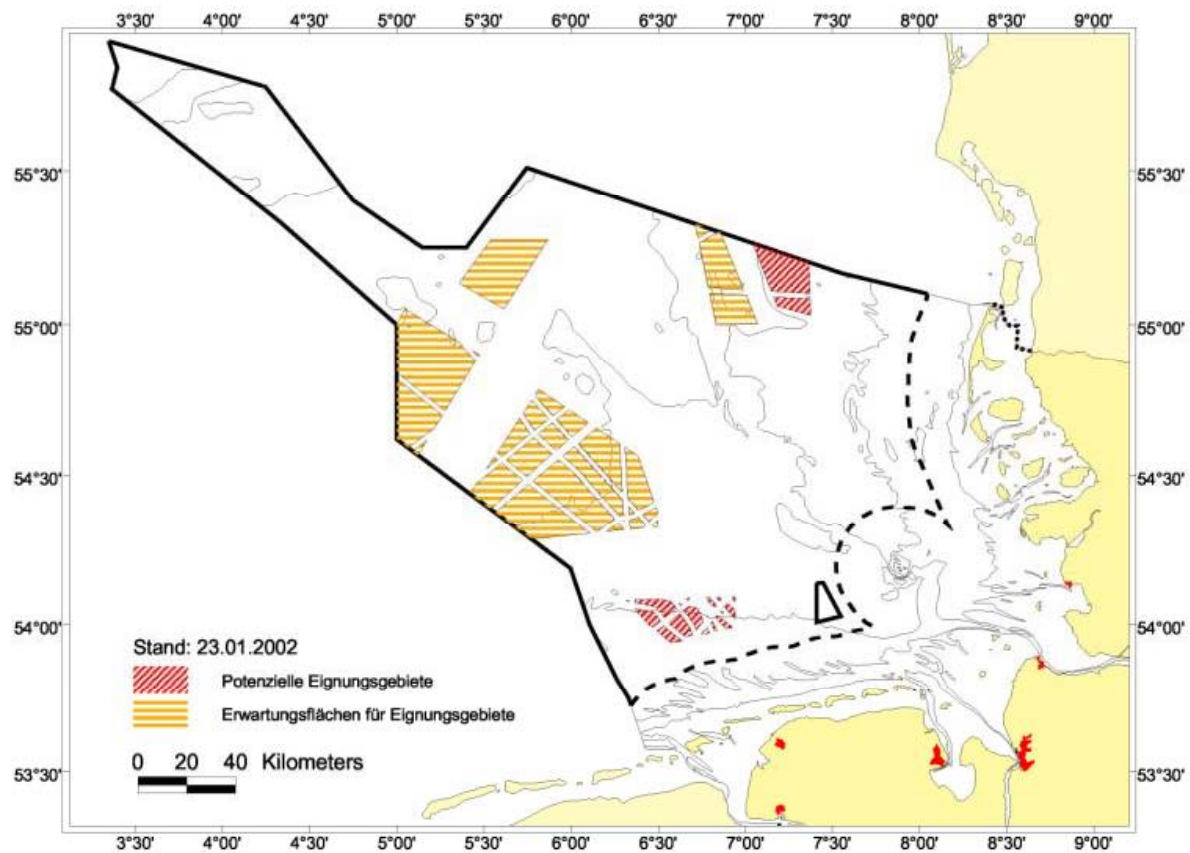


Abb. 4.5: Nordsee: Potenzielle Eignungsgebiete und Erwartungsflächen für Eignungsgebiete zur Windenergienutzung in der AWZ

Die potenziellen Eignungsgebiete in der Nordsee nördlich vor Borkum und westlich vor Sylt (siehe Abb. 4.5) haben insgesamt eine Fläche von 510 km². Dies ergäbe unter Berücksichtigung von 5 bis 10 MW installierter Leistung pro km² eine Kapazität von insgesamt 2.550 MW bis 5.100 MW.

Ostsee: Potenzielle Eignungsgebiete zur Windenergienutzung in der AWZ

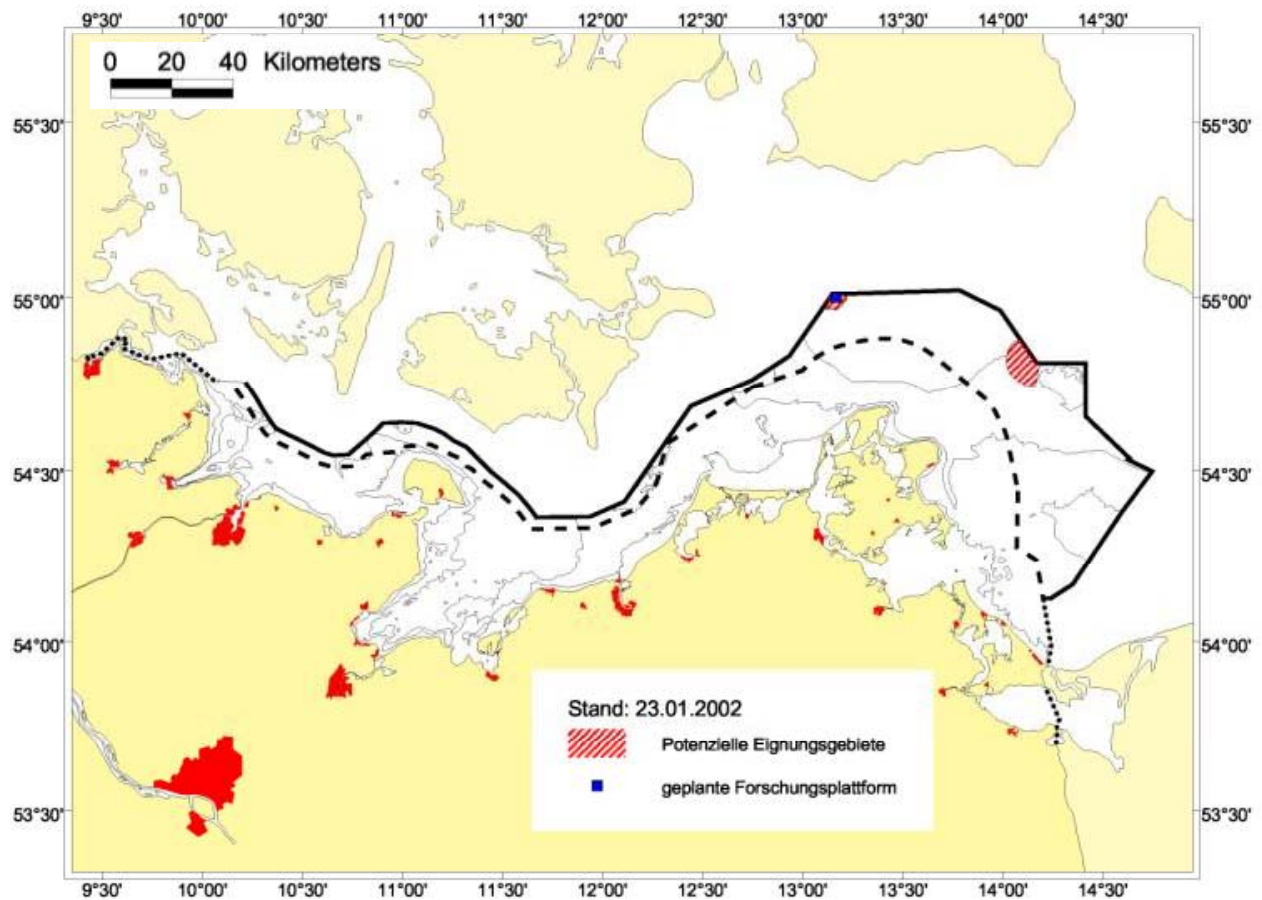


Abb. 4.6: Ostsee: Potenzielle Eignungsgebiete zur Windenergienutzung in der AWZ

Die potenziellen Eignungsgebiete in der Ostsee nördlich vor Rügen (Kriegers Flak) und westlich vom Adlergrund (siehe Abb. 4.6) haben insgesamt eine Fläche von 135 km². Dies ergäbe unter Berücksichtigung von 5 bis 10 MW installierter Leistung pro km² eine Kapazität von insgesamt 675 MW bis 1.350 MW. Die Vereinbarkeit mit militärischen Aufgaben ist herzustellen.

In der 12-sm-Zone der Nord- und Ostsee planen die Küstenländer küstennahe Windparks. Bislang sind in der Ostsee ca. 200 MW installierte Leistung vorgesehen (Mecklenburger Bucht und nördlich vom Darß). In der 12-sm-Zone der Nordsee sind die Planungen noch nicht weit fortgeschritten.

Auf den vorstehend genannten Flächen wäre damit insgesamt (Nordsee und Ostsee) eine Kapazität von 3.425 MW bis 6.650 MW bis 2010 unter den gegenwärtigen Bedingungen erreichbar.

Erwartungsflächen für Eignungsgebiete

Zusätzlich zu den potenziellen Eignungsgebieten hat der Abgleich der verschiedenen Nutzungen weitere konfliktarme Gebiete ergeben, die unter Berücksichtigung des

Ziels, dass erneuerbare Energien ohne Subventionen wettbewerbsfähig werden, mittel- bis langfristig für die Nutzung der Windenergie auf See in Betracht kommen (Erwartungsflächen für Eignungsgebiete). Die Nutzung setzt demnach voraus, dass die technische und wirtschaftliche Realisierbarkeit erreicht wird.

Die Erwartungsfläche für Eignungsgebiete zur Windenergienutzung in der AWZ der Nordsee zur Erschließung bis 2025/2030 beträgt insgesamt 3.574 km² (siehe Abb. 4.5). Das ergäbe unter Zugrundelegung von 5 bis 10 MW installierter Leistung pro km² eine Kapazität von 17.870 MW bis 35.740 MW, die unter den vorgenannten Bedingungen nutzbar wäre.

Important Bird Areas

Flächen innerhalb der Important Bird Areas (IBA) sind für die Errichtung von Windparks grundsätzlich nicht geeignet. Nicht ausgeschlossen ist es, dass naturschutzfachliche Untersuchungen im Einzelfall ergeben, dass auch ein Standort innerhalb des IBA-Gebietes mit den Belangen der Meeresumwelt vereinbar ist. In Gebieten, die den Status eines faktischen Vogelschutzgebietes erfüllen, ist die Errichtung von Windenergieanlagen ausgeschlossen, soweit diese sich auf die Ziele des Artikels 4 der EU-Vogelschutzrichtlinie erheblich auswirken. Im Zusammenhang mit den Bemühungen zur Ausweisung von Schutzgebieten nach § 38 BNatSchG werden sich dazu weitere Erkenntnisse ergeben.

Initiierung von Forschung und Weiterarbeit

Neben einer Reihe von laufenden Forschungsvorhaben in den Forschungsplänen der Ministerien wurde mit dem Zukunftsinvestitionsprogramm (ZIP) der Bundesregierung die Erforschung und Entwicklung umweltschonender Energieformen im Bereich der nichtnuklearen Energienutzung (BMWi/BMU) mit einem Schwerpunkt auf der Offshore-Windenergienutzung initiiert.

Nach Abstimmung mit den betroffenen Ressorts sollen im Laufe des Jahres 2002 im Auftrag des BMWi in drei potenziellen Eignungsgebieten und in unmittelbarer Nähe von geplanten und beim Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie beantragten größeren Offshore-Windparks drei Offshore-Forschungsplattformen errichtet werden.

Die aus Mitteln des Zukunftsinvestitionsprogramms (ZIP) der Bundesregierung vom BMU zu fördernden Projekte mit einem Fördervolumen von rund 4,2 Mio. Euro (siehe auch Umwelt Nr. 2/2002; S. 110-115) dienen dazu, den an den Bewilligungsverfahren beteiligten Bundesbehörden wissenschaftliche Informationen zu liefern, die für einen umwelt- und naturverträglichen Ausbau der Offshore-Windenergienutzung sowie zur Bewertung von konkreten Windkraftprojekten im Meer notwendig sind. Außerdem werden die Fachinformationen beschafft, die zur Ausweisung von Schutzgebieten nach § 38 BNatSchG und zur Ausweisung und Fortschreibung von besonderen Eignungsgebieten nach § 3a SeeAnIV beitragen.

Dazu werden u.a. auch Untersuchungen auf den Messplattformen in Nord- und Ostsee zum Vogel- und Fledermauszug und zur Problematik der Schallemissionen durch Windkraftanlagen auf See durchgeführt.

Im Zuge der Weiterentwicklung der Strategie werden die einschlägigen Regelungen im Hinblick auf eine weitere Steuerung der Windenergienutzung im Meer kontinuier-

lich überprüft. Im nächsten Schritt sind Fragen der Netzanbindung der Offshore-Windparks und der Konzentrationswirkung der Genehmigung zu klären.

Die Strategie soll öffentlichkeitswirksam vorgestellt und mit den verschiedenen Interessensgruppen diskutiert werden. Die neuesten Erkenntnisse aus den Forschungsvorhaben sollen laufend in den Diskussionsprozess einfließen. Dies soll die Einführung der Offshore-Windkraft als Teil einer erneuerbaren Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland gewährleisten bzw. bestehende Hindernisse überwinden.

4.1.4 Kostenentwicklung

Die spezifischen Kosten für Windenergieanlagen sind in den vergangenen 10 Jahren deutlich gesunken. Inflationsbereinigt haben sich die auf den Jahreenergieertrag eines Referenzstandortes bezogenen mittleren Preise für Windenergieanlagen in den Jahren 1990 bis 1998 von 0,95 DM/kWh/a auf 0,48 DM/kWh/a etwa halbiert. Entsprechend hat sich die Vergütung für Strom aus Windenergie inflationsbereinigt (DM-Werte von 1991) und unter Berücksichtigung von Länder- und Bundesförderung von 1991 (27,61 Pf/kWh) bis 1999 (13,87 Pf/kWh) ebenfalls etwa halbiert.

Mit der neuen Vergütungsregelung im EEG wurde eine Differenzierung nach Windstandorten und Leistungsfähigkeit der Anlagen durchgeführt. So wurde die Vergütung beim Betrieb von Windenergieanlagen an sehr guten Windstandorten gegenüber der alten Regelung des StrEG deutlich reduziert. Es besteht allerdings auch weiterhin der Anreiz, an den möglichst besten Standorten Windenergieanlagen aufzustellen. An mittleren bis guten Standorten wurde die Einspeisevergütung gegenüber der früheren Regelung erhöht, so dass der Ausbau der Windenergienutzung weiter ins Inland hineinreicht, so dass auch durchschnittlich gute Windstandorte erschlossen werden können.

Einflussfaktoren, die eine besonders starke Auswirkung auf die Kosten von Offshore-Windenergieprojekten haben, sind die Entfernung des Standortes zur Küste sowie die Wassertiefe am Standort des geplanten Windenergieprojektes. Ferner handelt es sich um neue technische Systeme, die z.B. Seewasserfest sein müssen. Diese Faktoren beeinflussen wesentlich die Kosten der Netzanbindung und die Kosten für die Fundamente der Windenergieanlagen. Die Stromgestehungskosten auf See dürften zunächst deutlich über denen auf Land liegen, obwohl durch die bessere Windlage der Stromertrag um mindestens 50% größer ist.

Die Bundesregierung spricht sich für eine stufenweise Erschließung der Offshore-Windenergienutzung in Deutschland aus. Entsprechend der Entwicklung an Land ist von großen Kostenreduktionspotenzialen auszugehen. Dies gilt insbesondere für die Bereiche Netzanbindung, Fundamentierung und die technische Betriebsführung. Auch werden für die Offshore-Windenergienutzung in den nächsten Jahren Anlagentechniken entwickelt, die eine installierte Leistung je Windenergieanlagen von bis zu 5 MW aufweisen – die Anlagen, die derzeit aufgestellt werden, haben durchschnittlich eine Leistung von 1-1,5 MW. Mittelfristig ist eine deutliche Senkung der Stromerzeugungskosten im Offshorebereich zu erwarten.

4.1.5 Stand und Förderung der Forschung und Entwicklung

Das 250 MW-Wind-Programm der Bundesregierung wurde Anfang der 90er Jahre gestartet und trug wesentlich zur positiven Entwicklung der Windkraftnutzung in Deutschland in den 90er Jahren bei. Es handelte sich um ein Breitentestprogramm. Das auf dieser Basis derzeit noch laufende wissenschaftliche Mess- und Evaluierungsprogramm (WMEP) umfasst die statistische Erfassung und jährliche Veröffentlichung der wichtigsten Betriebsdaten der im Rahmen des Programms geförderten Windkraftanlagen.

Forschung zu Offshore-Windenergienutzung

Eine umwelt- und naturschutzbezogene Forschung soll den Ausbau der Offshore-Windenergienutzung über einen längeren Zeitraum begleiten. Besonders in der Vorbereitungs- und Startphase ist eine intensive F&E-Tätigkeit gefordert.

In Tabelle 4.2 wird ein Überblick über die derzeit laufenden und abgeschlossene Forschungsaktivitäten gegeben. Ziel dieser Forschungs- und Entwicklungsvorhaben ist die Ermittlung des Ausmaßes der Auswirkungen der Offshore-Technik auf Umwelt/Natur und die Formulierung von Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Minimierung von möglichen negativen Auswirkungen.

Notwendige weitere natur- und umweltschutzrelevante Forschung in Verbindung mit Offshore-Windenergienutzung wird in folgenden Themen gesehen:

- Vogelzug über Nord- und Ostsee
- Räumliche Verteilung von Rastvögeln und deren Reaktion auf Störungen
- Verbreitung, Häufigkeit und Raumnutzung von Meeressäugetieren in Nord- und Ostsee
- Auswirkung der Lärmbelastung von Meereslebewesen
- (Auswirkung elektromagnetischer Felder auf Meereslebewesen)

Im Rahmen des Zukunftsinvestitionsprogramms der Bundesregierung (ZIP) ist Forschung im Bereich der Offshore-Windenergie vom BMWi und vom BMU vorgesehen. Im Programmteil des BMWi liegt der Schwerpunkt auf der Anlagentechnik und den physikalischen Parameter:

- Entwicklung Offshore-geeigneter Windkraftanlagen mit installierten Leistungen bis zu 5 Megawatt.
- Untersuchung geeigneter Fundamente für Offshore-Windkraftanlagen in bis zu 40 m tiefem Wasser und Auswirkungen auf die Meeresströmungen.
- Errichtung von Offshore-Forschungsplattformen zur Durchführung von Messungen.

Der Programmteil des BMU umfasst ökologische Begleitforschung.

Tab. 4.2: Übersicht über abgeschlossene und laufende Forschungsvorhaben des BMU einschließlich UBA und BfN zur Windenergienutzung auf See (ohne ZIP-Programmteil zur ökologischen Begleitforschung)

Projektvorhaben	Forschungsschwerpunkte
<p>BMU: Umweltforschungsplan des BMU (UFOPLAN): „Weiterer Ausbau der Windenergie im Hinblick auf den Klimaschutz“</p> <p>Auftragnehmer: Deutsches Windenergie-Institut (DEWI)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Weiterentwicklung der Windenergie an Land und auf See • Stromgestehungskosten für Windnutzung an Land (EEG) • Um- und Restrukturierungsprozess an Land • Workshops im April und Juni 2000 zur Windnutzung auf See • Integration der verschiedenen Umweltanliegen • Fragen der elektrischen Netzanbindung • Auswirkung auf das dt. Stromnetz • Möglichkeiten für küstenferne Standorte und große Wassertiefen • Betriebsführung und Stromgestehungskosten bei der Windnutzung auf See
<p>BMU: „Schutzgebiete in der Ausschließlichen Wirtschaftszone“</p> <p>Auftragnehmer: Prof. Dr. Hans D. Jarass, Institut für Umwelt- und Planungsrecht der Universität Münster</p>	<p>Rechtliches Gutachten zur Geltung von EU-Recht, FFH/IBA-Zonen, etc. in der AWZ</p>
<p>BMU: Akustische Suche nach Schweinswalen in der Ostsee</p>	
<p>UBA: UFOPLAN: „Untersuchungen zur Vermeidung und Verminderung von Belastungen der Meeresumwelt durch Offshore-Windparks im küstenfernen Bereich der Nord- und Ostsee“</p> <p>Auftragnehmer: Alfred-Wegener Institut (AWI) für Polar- und Meeresforschung (Projektleitung), Germanischer Lloyd Offshore GmbH, Institut für Vogelforschung, Deutsches Windenergie-Institut GmbH, Forschungs- und Technologiezentrum Westküste und das Institut für technische und angewandte Physik GmbH</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Darstellung des Wissenstandes zu möglichen Belastungen der Meeresumwelt durch Offshore-Windenergieanlagen (Bau, Betrieb, Rückbau) unter Berücksichtigung der Benthoslebensgemeinschaften und Fischgemeinschaften des Meeresbodens, der rast- und Zugvögel sowie der Meeressäuger • Entwicklung von methodischen Grundlagen zur Untersuchung und Bewertung von potentiellen Belastungen der Meeresumwelt durch Offshore-Windenergieanlagen • Abschätzung des Risikopotenzials von Schiffskollisionen und deren möglichen Folgen • Formulierung von Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung der Belastungen der Meeresumwelt durch Offshore-Windenergieanlagen und • Aufzeigen von Wissenslücken und Forschungsbedarf
<p>BfN. Rechtliche Aspekte zu marinen Schutzgebieten in der AWZ</p>	<p>Rechtliches Gutachten zu Rechtsvorschriften, rechtlichen Körperschaften mit Relevanz für marine Schutzgebiete in der AWZ und auf Hoher See</p>
<p>BfN: „Erfassung der Verbreitung, Häufigkeit und Wanderungen von See- und Wasservögeln in der deutschen Nordsee und Entwicklung eines Konzeptes zur Umsetzung internationaler Naturschutzziele (BOFFWATT)“</p>	<p>Verbreitung, Häufigkeit und jahreszeitliches Auftreten Nahrung Meeressäuger Naturschutzverpflichtung der BRD im Offshore-Bereich Schlussfolgerungen für ein Schutzkonzept Weiterer Forschungsbedarf</p>
<p>BfN: See- und Wasservögel in der deutschen Ostsee und ihr Schutz im</p>	<p>Ergänzung zum BOFFWATT-Vorhaben; Übersicht über Häufigkeit, Verteilung und Wanderungen von See- und</p>

Rahmen internationaler Vereinbarungen	Wasservögeln im marinen Bereich der deutschen Ostsee
BfN: Erfassung und Bewertung ökologisch wertvoller Lebensräume in der Nordsee	Identifizierung, Untersuchung und Abgrenzung potentieller Meeresschutzgebiete in der deutschen Nordsee; u.a. im Hinblick auf eine Unterschutzstellung als FFH-Gebieten
BfN: Erfassung und Bewertung ökologisch wertvoller Lebensräume in der Ostsee	Identifizierung, Untersuchung und Abgrenzung potentieller Meeresschutzgebiete in der deutschen Ostsee; u.a. im Hinblick auf ihre Integration in das System von Baltic Sea Protected Areas (BSPAs)
BfN: Workshop „Technische Eingriffe in marine Lebensräume“	Ermittlung des derzeitigen Kenntnisstandes zu den umwelt- und naturschutzbezogenen Auswirkungen von Offshore-Windenergienutzung und unterseeischen Elektrokabeln; Identifizierung von bestehendem Forschungsbedarf

Darüber hinaus wurden im Rahmen der Zukunftsinvestitionsprogramm vom BMU umfangreiche F&E-Arbeiten zur ökologischen Begleitforschung der Windenergienutzung auf See initiiert. Eine Überblick wird nach Vergabe aller Vorhaben gesondert gegeben.

4.1.6 Gesamteinschätzung und Ausblick

Vor dem Hintergrund des bisherigen Ausbaus der Windenergie in Deutschland stellt sich die Frage, welcher Raum und welche Möglichkeiten für eine zukünftige Entwicklung an Land noch vorhanden sind und welche Möglichkeiten der Ausbau der Windenergienutzung auf See bietet. Die Gesamtleistung der Windparks an Land könnte sich in den nächsten Jahren voraussichtlich verdoppeln. Nach der Strategie der Bundesregierung zur Offshore-Windenergienutzung könnten bis etwa 2025/2030 zwischen 20.000 bis 25.000 MW Windenergieleistung auf dem Meer installiert sein

Zur Erreichung des Ziels der Verdoppelung des Anteils der Erneuerbaren Energien am Stromverbrauch bis 2010 müssten insgesamt 15.000 MW Windenergieleistung in Deutschland installiert sein, davon rund 3.000 MW auf dem Meer. Die Windenergie würde dann ab dem Jahr 2010 etwa 31 TWh (31 Mrd. kWh) Strom bereitstellen und damit einen Anteil von mehr als 6% an der Stromerzeugung erreichen (gemessen am Stromverbrauch von 2000); dieser Windstrom würde im Jahr 2010 rund 20 Mio. t CO₂ einsparen.

Insgesamt, d.h. auf Land und auf See, könnten in Deutschland bis etwa 2030 zwischen 36.000 und 42.000 MW Windenergieleistung installiert sein, womit zwischen 95 und 110 TWh Strom pro Jahr erzeugt werden könnte. Damit könnte die Windenergienutzung an Land und auf See in Deutschland rund 25% des derzeitigen Stromverbrauches bereitstellen und rund 10% der CO₂-Emissionen einsparen (Basis 1990). Voraussetzungen für diese Szenarien sind positive Erfahrungen mit ersten Windparkinstallationen in größeren Wassertiefen und entsprechend geeignete gleichbleibend gute Rahmenbedingungen zur Erschließung der Windenergienutzung auf See.

4.2 Biomasse

Der Bereich der Biomasse ist unter den verschiedenen Erneuerbaren Energiequellen eine besonders komplexe Sparte. Denn Biomasse kommt in unterschiedlichen Formen vor und kann für verschiedenste Zwecke verwendet werden. Ein großer Vorteil der Biomasse ist ihre ständige Verfügbarkeit und in großem Maße ihre unkomplizierte Speicherfähigkeit und damit auch ihre Grundlast- und Spitzenlastfähigkeit. Ferner kann sie mit einer Vielzahl verschiedener technischer Verfahren energetisch genutzt werden.

4.2.7 Instrumente

Die Förderung der energetischen Biomassenutzung wird im Wesentlichen durch drei Instrumente erreicht: Über das EEG ist für das Jahr 2001 eine Mindestvergütung von 10,1 €-Cent/kWh_{el} für Anlagen unter 500 kW, 9,1 €-Cent/kWh_{el} bis 5 MW und 8,6 €-Cent/kWh_{el} bis zur Obergrenze von 20 MW installierter elektrischer Leistung vorgeschrieben¹⁹. Seit die Biomasseverordnung am 28. Juni 2001 in Kraft getreten ist, sind die notwendigen Bestimmungen zu der anerkannten Biomasse, den anerkannten Verfahren und den Umweltvorschriften festgelegt. Mit dem EEG und der BiomasseV ist ein geeigneter Rahmen für Investoren geschaffen worden.

Neben dem EEG in Verbindung mit der BiomasseV wird über das Marktanzreizprogramm zur Nutzung Erneuerbarer Energien zu einem großen Teil die Errichtung von Anlagen zur energetischen Nutzung von Biomasse gefördert. Darüber hinaus unterstützt das BMVEL u.a. durch das Markteinführungsprogramm „Biogene Treib- und Schmierstoffe“ die energetische Biomassenutzung. Ferner gibt die Mineralölsteuerbefreiung von Biokraftstoffen einen zusätzlichen Anreiz für deren Nutzung im Verkehrsbereich.

4.2.8 Entwicklung der Nutzung und Potenziale

Einsatzbereiche für Biomasse

Biomasse kann in fester, flüssiger und gasförmiger Form genutzt werden. Abbildung 4.7 stellt die möglichen Wege zur energetischen Nutzung von Biomasse dar:

Alle drei Aggregatzustände (fest, flüssig, gasförmig) stehen auch für stark verschiedene Nutzungstechnologien und für unterschiedliche Märkte, so dass es angezeigt ist, die drei unterschiedlichen Formen von Biomasse als Energieträger getrennt darzustellen. Ausgenommen wird hiervon die Darstellung der Potenziale.

¹⁹ Maßgeblich für die Mindestvergütung ist das EEG. Die hier angegebene Angaben sind unverbindlich.

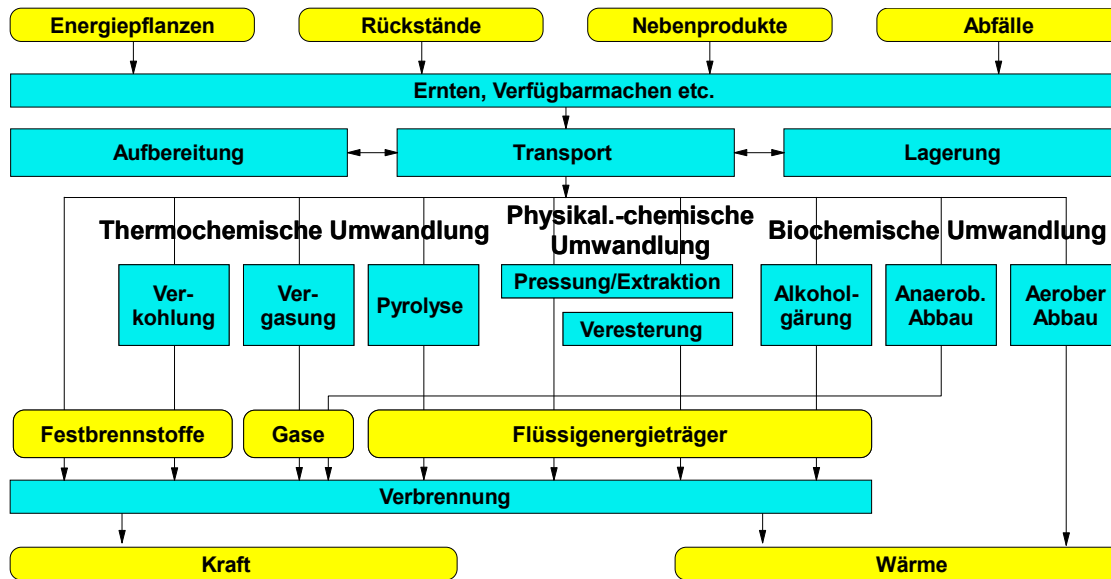


Abb. 4.7: Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse zur End-/Nutzenergiebereitstellung (Kaltschmidt und Merten 2001)

Stand der Nutzung

Nach dem in Kraft treten der BiomasseV am 28.6.2001 zeigt die Vergütung durch das EEG Wirkung; sie hat vor allem im Bereich fester Biomasse (Holz) und Biogas einen Investitionsschub ausgelöst. Während im Jahr 2000 der Branchenumsatz für Biogas bei rund 80 Mio. DM lag, wird er für 2001 auf 430 Mio. DM abgeschätzt.²⁰ Für den gesamten Bereich der Biomasse werden die Investitionen im Jahr 2000 auf 3 Mrd. DM geschätzt.²¹ Im Jahr 2001 dürften diese Zahlen deutlich höher liegen; aktuelle Angaben liegen noch nicht vor. Der Nutzungsstand von Biomassen zur Energieerzeugung in Deutschland ist nur durch Abschätzungen bekannt. Die offizielle Statistik weist die energetische Nutzung von Biomasse nur sehr begrenzt aus, wobei die Angaben sich vor allem auf elektrische Energie beschränken; Daten zur Wärmeerzeugung aus Biomasse fehlen weitgehend. Die hier wiedergegebenen Daten zur energetischen Nutzung von Biomasse stellen nur grobe Abschätzungen dar. Die aktuellsten Daten werden in Tabelle 4.3 zusammengefasst.

²⁰ Bericht des BMWi zu der Änderung des Marktanzreizprogramms zugunsten erneuerbarer Energien, Berlin, 19. September 2001, für die 62. Sitzung des Ausschusses für Wirtschaft am 25. September 2001.

²¹ Staiß 2001, S. I-13

Tab. 4.3: Abschätzung der Endenergiebereitstellung aus Biomasse für Deutschland im Jahr 2000 (nach Staiß, 2001, Jahrbuch 2001)

Energieart ²²	Endenergie [GWh]	Primärenergie [GWh]
Wärme aus festen Brennstoffen	41.600	45.217
Kraftstoffe	3.718	4.041
Strom aus Deponiegas	727	1.889
Wärme aus gasförmigen Brennstoffen	720	783
Strom aus festen Brennstoffen	246	640
Strom aus Biogas	600	1.560
Strom aus Klärgas	49	127
Strom aus flüssigen Brennstoffen	4	10
<i>Summe</i>	<i>47.664</i>	<i>54.267</i>

Nach der in der Tabelle 4.3 dargestellten Abschätzung wird der bislang weitaus größte Teil der Biomasse zur Wärmebereitstellung genutzt. Darin stimmen alle Abschätzungen überein. Allein die Nutzung fester biogener Brennstoffe zur Wärmergewinnung trägt zu rund 50% des Primärenergieverbrauchs der Erneuerbaren Energien bei. Weitere hierzu bekannte Schätzungen stimmen auch darin überein, dass die Wärmeerzeugung aus fester Biomasse im wesentlichen in Kleinanlagen²³ erfolgt. Dieser Bereich wird weder vom Genehmigungsrecht noch statistisch in irgendeiner Weise erfasst. Der genaue zahlenmäßige Umfang der Nutzung ist damit unklar.

Die energetische Nutzung fester Biomasse ist heute im Wesentlichen auf Holz und vergleichbare Biomasse beschränkt. Bei der Markteinführung wurden in der Vergangenheit gute Fortschritte bei Kleinanlagen erzielt. Durch das Marktanzreizprogramm zur Nutzung Erneuerbarer Energien wurden zwischen Herbst 1999 und Ende 2000 mehr als 12.000 Kleinanlagen unterstützt.

Größere Anlagen werden meist als Kraftwerke oder Heizkraftwerke betrieben. Der Betrieb von KWK-Anlagen ist aufgrund des begrenzten Fernwärmemarktes in Deutschland auf günstige Standorte beschränkt (Fischer und Kaltschmidt 2001). Die Rahmenbedingungen für größere, als Kraftwerke ausgeführte Anlagen werden durch das EEG und die BiomasseV bestimmt. Der Zubau, der durch das EEG ange-regt wird, beschränkt sich auf Kraftwerke und Heizkraftwerke bis zum oberen Gel-tungsbereich (20 MW_{el}) des EEG.

²² Anmerkung: Die Daten für Strom beziehen sich nur auf den in die Netze eingespeisten Strom.

²³ Anlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV (Kleinfeuerungsanlagenverordnung). Feuerungswärme-leistung: Holz < 1 MW_{th}, Stroh und andere halmgutartige Brennstoffe < 100 kW_{th}.

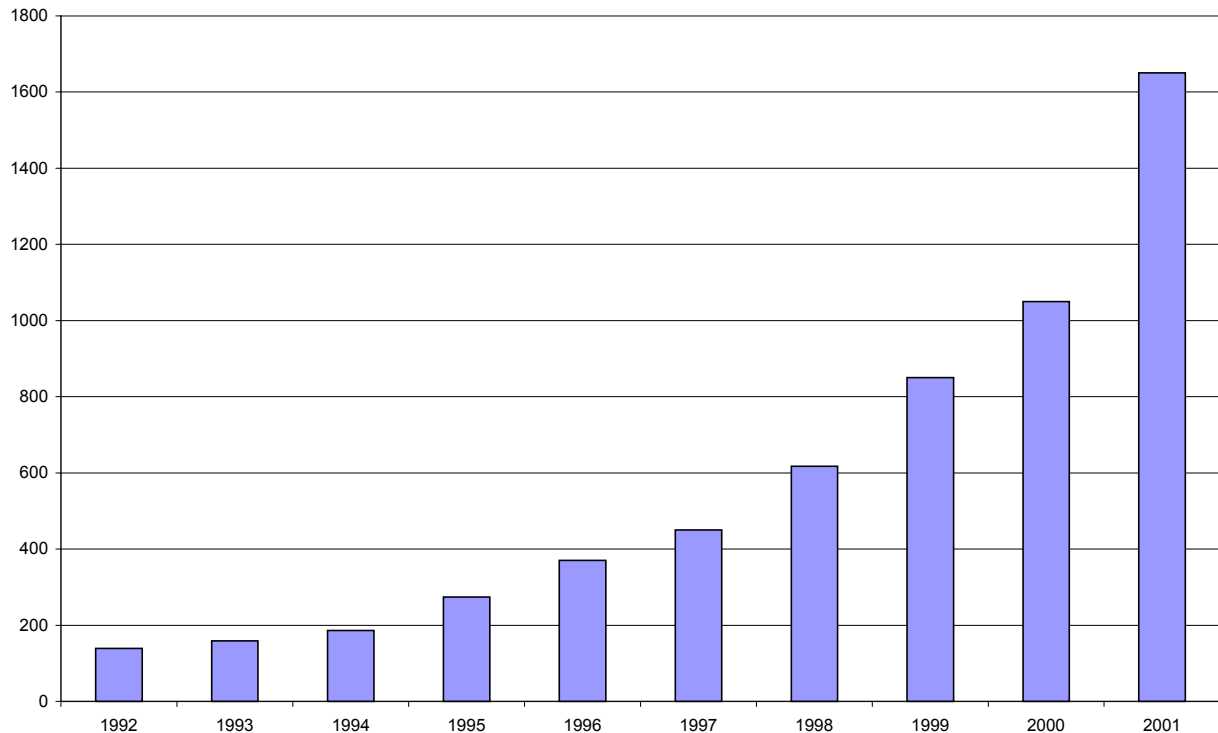


Abb. 4.8: Entwicklung der Anzahl von Biogasanlagen in Deutschland (Quelle: FV Biogas 2002)

Die Entwicklung im Bereich Biogas kann als Erfolg einer angemessenen und zielgerichteten öffentlichen Förderung angesehen werden. Durch das EEG, die BiomasseV, das Markenreizprogramm des Bundes sowie entsprechende Programme der Bundesländer konnten in den letzten Jahren bis zu 200 Biogasanlagen jährlich im landwirtschaftlichen Bereich zugebaut werden, so dass heute ca. 1.650 Biogasanlagen in Deutschland vorhanden sind (siehe Abb. 4.8). Ein wesentlicher Teil dieser Anlagen wird durch Landwirte bzw. Zusammenschlüsse von Landwirten betrieben. Hier konnte erfolgreich ein reales zusätzliches Einkommen für die beteiligten Landwirte erschlossen werden. Besonders positiv wirkte sich die mit dem EEG und der BiomasseV verbundene Rechtssicherheit bezüglich der Stromeinspeisung in die Netze aus.

Für Deutschland wird ein Gesamtprimärenergiepotenzial der Biogaserzeugung von rund 412 bis 444 PJ/a abgeschätzt (siehe Abb. 4.9). Bezogen auf den Endenergieverbrauch sind dies 4,4 bis 4,8 % (Stand 1999). Damit könnten 13,5 bis 14,5 % des Primärenergieverbrauchs von Naturgasen von rund 3 057 PJ/a (1999) durch Biogas erbracht werden.

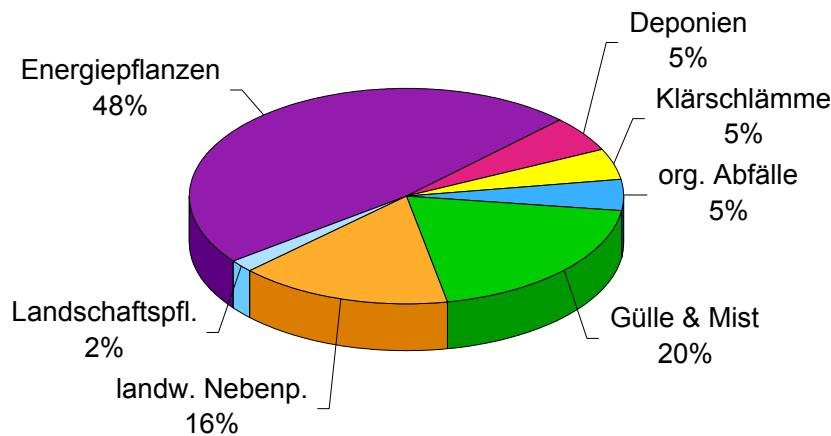


Abb. 4.9: Anteile der verschiedenen vergärbaren organischen Stoffströme am Gesamtpotenzial (nach Kaltschmidt und Merten 2001)

Möglichkeiten der Ausweitung des Einsatzes von Biogas bestehen nicht nur in speziellen Anlagen zur Strom- und Wärmeenergiegewinnung, sondern auch durch die Einleitung in Erdgasnetze sowie der Nutzung als Kraftstoff. Technisch ist die Aufbereitung von Biogas auf die Qualität Erdgas H in beiden Fällen erforderlich.

Im Bereich des biogenen Wasserstoffs können noch keine Aussagen zu einer möglichen Markteinführung getroffen werden, da dieser Bereich sich noch in der F&E-Phase befindet. Es wird wesentlich von der Ertüchtigung der thermochemischen Vergasung abhängen, ob und wann Wasserstoff großtechnisch aus Biomasse hergestellt werden kann. Es ist nicht zu erwarten, dass es innerhalb der nächsten 5 bis 10 Jahre zu einer umfangreichen Gewinnung von Wasserstoff aus Biomasse kommen wird. Allerdings sind biogene Brennstoffe wie Biogas oder Methanol auch ohne den Umweg über Wasserstoff in Brennstoffzellen einsetzbar.

Der Kraftstoffmarkt ist gänzlich anderen Kriterien als die energetische Nutzung fester biogener Brennstoffe unterworfen. Neben einer staatlichen Regulierung der In-Verkehr-Bringung von Kraftstoffen über die 10. BImSchV findet eine wesentliche Regulierung des Marktes über die Mineralölsteuer statt. Öle, Fettsäuremethylester (FAME) und Ethanol sind als Reinkraftstoffe von der Mineralölsteuer befreit, nicht jedoch in Mischungen mit fossilen Kraftstoffen.

RME ist in Deutschland in den vergangenen Jahren erfolgreich in den Markt eingeführt worden. Die RME-Produktionskapazitäten werden dank der steigenden Preise für fossile Kraftstoffe in Deutschland zügig ausgebaut. Im Jahre 2002 werden voraussichtlich Produktionskapazitäten von 600.000 t/a erreicht werden, ein Ausbau der Kapazitäten auf 1,2 Mio. t/a erscheint in naher Zukunft möglich.

Bei Pflanzenölen, im wesentlichen aus heimischer Produktion, ist zukünftig mit einer verstärkten Marktdurchdringung zu rechnen. Angeregt durch die Förderaktivitäten des BMVEL, hier sei stellvertretend das sog. „100 Schlepper-Programm“ genannt, finden Pflanzenöle zunehmende Akzeptanz zur Deckung des Kraftstoffbedarfes in der Landwirtschaft. Hier besteht ein deutliches Potenzial, dessen Aktivierung erst begonnen hat. Es ist davon auszugehen, dass die Nutzung von Ölen als Kraftstoff in der Landwirtschaft sich in der Zukunft deutlich verstärken wird.

Die stationäre Nutzung von Ölen und Fettsäuremethylester (FAME) in KWK-Anlagen konnte in umweltsensiblen Bereichen ebenfalls weiter ausgebaut werden.

Potenziale

Wie bereits in den einzelnen Bereichen anhand der Beschreibung der Markteinführung deutlich wurde, ist die weitere Marktdurchdringung der Bioenergie stark von den Rahmenbedingungen abhängig. Diese werden einmal durch die fossilen Energiepreise bestimmt, zum anderen von der Förderung der Bioenergie. Die Abschätzung von möglichen Potenzialen hängt daher ursächlich mit den Rahmenbedingungen zusammen. Aufgrund zahlreicher Unwägbarkeiten können Potenzialschätzungen nur ein oberflächliches Bild der möglichen Nutzungsperspektiven aufzeigen. Detaillierte Angaben zu Potenzialen stellen daher nur Momentaufnahmen unter spezifischen Bedingungen dar. Deshalb soll sich an dieser Stelle auf eine aktuelle Potenzialschätzung beschränkt werden, die in Tabelle 4.4 wiedergegeben ist.

Tab. 4.4: Potenziale der energetischen Nutzung fester und gasförmiger Energieträger (nach Fischer 2001 und Fischer/Kaltschmitt 2001)

	Potenziale (PJ)	Derzeitige Nutzung (PJ)
Brennholz		85
Waldrestholz	142	55
Altholz	121	52
Sonstige holzartige Biomasse	7	1
Stroh	104	3
Biogas, Klärgas, Deponiegas	145	16
Energiepflanzen	max. 400	0
Summe	max. 919	212

4.2.9 Stand und Förderung der Forschung und Entwicklung

Der technische Stand von Kleinanlagen zur energetischen Nutzung fester Biomasse konnte in den letzten Jahren durch die Hersteller deutlich verbessert werden. Insbesondere Emissionsverhalten, Bedienungsfreundlichkeit und Automatisierung haben deutliche Fortschritte gemacht. Mit der Einführung von Pelletfeuerungen in den Markt wurde ein wesentlicher Schritt zur Erschließung neuer Markt- und Kundensegmente getan. Auch bei anderen Feuerungsarten kann eine wesentliche Weiterentwicklung festgestellt werden. So konnte bei Holzhackschnitzelfeuerungen ein hoher Automatisierungs- und Mechanisierungsgrad erreicht werden. Der festen Biomasse konnte somit eine nachhaltige Stellung im Wärmemarkt gesichert werden.

Im Bereich der größeren Anlagen, namentlich der Kraftwerke und Kraft-Wärme-Kopplungs-(KWK)-Anlagen, war in den letzten Jahren keine wesentliche weitere Entwicklung zu verzeichnen. Die heute unter dem Anreiz des Gesetzes für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG) in Verbindung mit der BiomasseV entstehenden Anlagen beruhen weit überwiegend auf dem klassischen Dampfkraftprozess. Die eingesetzten Feuerungssysteme sind Stand der Technik.

Alternativen zum klassischen Dampfkraftprozess befinden sich in der Entwicklung. Dies wird durch den Rahmen des EEG und der BiomasseV sowie im Rahmen des Förderprogramms des BMVEL erheblich unterstützt. An erster Stelle ist hier die thermochemische Vergasung zu nennen. Das Prinzip der thermochemischen Vergasung lässt erwarten, dass deutlich höhere elektrische Wirkungsgrade als beim klassischen Dampfkraftprozess möglich sind. Durch die Erzeugung eines intermediären Energieträgers stehen zudem deutlich mehr Konversionsapparate als beim klassischen Dampfkraftprozess zur Verfügung. Während beim Dampfkraftprozess nur Dampfmotor und -turbine mit den bekannt niedrigen elektrischen Wirkungsgraden zum Einsatz kommen können, eröffnet die thermochemische Vergasung die Möglichkeit des Einsatzes von Gasturbinen, -motoren und von Brennstoffzellen. Über diese Konversionsrouten sind deutlich höhere elektrische Wirkungsgrade zu erreichen. Es ist zudem möglich, das Produktgas als Synthesegas zur Herstellung flüssiger Energieträger wie Synthese-Kraftstoffe oder Methanol zu nutzen. Mit einer Markteinführung erster thermochemischer Vergasungsverfahren ist voraussichtlich innerhalb der nächsten Dekade zu rechnen.

Weitere Alternativen wie der Organic-Rankine-Cycle(ORC)-Prozess oder die Heißluftturbine (Stirling) befinden sich ebenfalls in der Entwicklung. Wann diese Prozesse zur Marktreife gelangen, kann derzeit noch nicht abgesehen werden.

Neben der Wärmeerzeugung aus fester Biomasse hat die anaerobe Vergärung zur Erzeugung von Biogas eine starke Verbreitung gefunden. Derzeit wird eine Vielzahl von landwirtschaftlichen Biogasanlagen in einem weiten Leistungsbereich bis hin zu elektrischen Leistungen von 2 MW_{el} betrieben. Oberhalb einer bestimmten Größenordnung haben Biogasanlagen auch einen hohen Automatisierungsgrad erreicht. Biogasverfahren können heute zum Stand der Technik gerechnet werden.

Die Entwicklung und Umsetzung von Biogasverfahren beruht weitgehend auf Empirie und Erfahrung. Eine umfassende wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Biogasgewinnung aus Biomasse hat in der Vergangenheit nicht stattgefunden, nur wenige wissenschaftliche Einrichtungen beschäftigen sich mit der Erforschung der Biogasproduktion. Rein empirische Verfahrensweisen ohne ein detailliertes Verständnis der zugrunde liegenden Vorgänge stoßen bei der Prozessoptimierung an Grenzen. Eine vollständige Nutzung des Energieinhaltes und eine Maximierung der Methanproduktion bei gleichzeitiger Minimierung störender Minorkomponenten kann nur erfolgen, wenn die der Biogasbildung zugrunde liegenden biotechnologischen Prozesse geklärt, beschrieben und modelliert werden können. Hier gilt es, den wissenschaftlichen Kenntnisstand der Praxis anzupassen und mehr Forschungsgruppen für den Bereich Biogas zu interessieren.

Für landwirtschaftliche Betriebe mit einem geringen Gülleaufkommen ist auch die Trockenfermentation von Interesse. Die Trockenfermentation ist aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA) bekannt. MBA-Verfahren lassen sich aber nicht ohne Modifikation auf landwirtschaftliche Anwendungen übertragen. Ausgehend von einer Analyse des Standes der Technik der Trockenfermentation sind hier in der Landwirtschaft anwendbare Verfahren zu entwickeln.

F&E-Bedarf besteht weiter im Bereich der Konversionsverfahren. Neben der klassischen motorischen Nutzung gilt es, Konversionsapparate mit einem höheren elektri-

schen Wirkungsgrad zu finden. Auch sind Brennstoffzellentechniken von hohem Interesse, da Brennstoffzellen potenziell höhere elektrische Wirkungsgrade besitzen, auch im Teillastbereich.

Für die Einleitung von Biogas in Erdgasnetze und die Nutzung als Kraftstoff muss Biogas aufbereitet werden. Gasaufbereitungsverfahren, die diese Aufbereitung leisten können, sind grundsätzlich bekannt. Diese marktgängigen Gasaufbereitungsverfahren sind kostenintensiv und belasten die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen erheblich. Ein FuE-Schwerpunkt stellt deshalb die Weiter- und Neuentwicklung von Gasaufbereitungsverfahren mit dem Ziel dar, die Investitions- und Betriebskosten zu reduzieren, um auch kleineren Biogasanlagen eine wirtschaftlich tragfähige Gasaufbereitung zu ermöglichen.

Im Bereich der Wasserstoffgewinnung aus Biomasse steht die Entwicklung noch am Anfang. In diesem Bereich besteht erheblicher FuE-Bedarf. Die mit erheblichem Mitteleaufwand verbundene Abdeckung des FuE-Bedarfs ist allerdings nur dann sinnvoll, wenn der Stellenwert von Wasserstoff in der zukünftigen Energieversorgung Deutschlands geklärt ist.

Fettsäuremethylester (FAME) kann bei der Einhaltung der entsprechenden Kraftstoffspezifikationen heute ohne größere Probleme in den meisten Dieselmotoren eingesetzt werden. Viele Automobilproduzenten haben ihre Modelle für FAME aus Rapsöl freigegeben. Da moderne Dieselmotoren stark auf die jeweiligen Kraftstoffqualität reagieren, bedarf es zur Einhaltung der zukünftig strengeren Emissionsgrenzwerte einer angepassten Motorsteuerung. Dieses Problem wird in aktuellen Vorhaben untersucht, eine technische Lösung wird voraussichtlich möglich sein.

Pflanzliche Treibstoffe können auch in Spezialmotoren zum Einsatz kommen. Sofern bestimmte Kraftstoffspezifikationen eingehalten werden, ist der Einsatz von Ölen in Verbrennungsmotoren möglich. Im Rahmen des vom BMVEL durchgeführten sog. „100 Schlepper-Programms“ werden weitere Erkenntnisse gesammelt, die eine Optimierung des Motorenbetriebs mit Pflanzenölen ermöglichen werden.

Weitere Treibstoffe auf biogener Basis befinden sich im Entwicklungsstadium.

4.2.10 Gesamteinschätzung und Ausblick

Die Biomasse trägt bislang unter den Erneuerbaren Energien den größten Anteil am Primärenergieverbrauch. Innerhalb der Biomasse sind dies wiederum biogene feste Biomasse, die überwiegend zur Wärmebereitstellung verwendet wird. Aber auch für die Endenergiebereiche Strom und Kraftstoffe kann die Biomasse in Zukunft große Potentiale ausschöpfen. Die Bundesregierung setzt beim Ausbau des Erneuerbaren Energieträgers Biomasse auf moderne Technologien. Gefördert wird derzeit der Einsatz von Bioenergien vor allem durch das EEG in Verbindung mit der BiomasseV und das Marktanzreizprogramm zur Nutzung Erneuerbarer Energien.

Bei der Umsetzung der Strategie der Bundesregierung, den Anteil Erneuerbarer Energien am Energieverbrauch bis 2010 zu verdoppeln, kann auf eine deutlich stärkere Erschließung der vorhandenen Bioenergie-Potentiale nicht verzichtet werden. Die Ausbaupotentiale sind sowohl für den Strom- und Wärmebereich als auch für den Bereich der Kraftstoffe vorhanden. Zunächst wird jedoch vor allem ein Ausbau im

Strom- und Wärmebereich erfolgen, erst mittel- bis langfristig dürfte mit einem bedeutenden Anteil der Biomasse am Kraftstoffmarkt zu rechnen sein. Der Ausbau der Biomassenutzung ist durch ökologische Begleitforschung zu optimieren.

4.3 Solare Wärme

Bei der Sonnenenergie muss zwischen der Wärmenutzung und der Stromproduktion unterschieden werden. Die in diesem Kapitel dargestellte Wärmenutzung wird derzeit überwiegend für die Warmwasserbereitung durch Sonnenkollektoren eingesetzt. In Teilbereichen, z.B. bei Freibädern, ist sie bereits heute im Vergleich zu konventionellen Energieträgern nahe der Wirtschaftlichkeit. Um den Einsatz in den zahlreichen anderen Bereichen zu verstärken, sind jedoch geeignete Fördermaßnahmen auf absehbare Zeit erforderlich. Die entsprechende Wirtschaftsbranche ist im Begriff, sich zu entwickeln, ebenso wie das Wissen um die Möglichkeiten und Vorteile der Nutzung der Solarenergie in den betroffenen Betrieben. In kleinerem Maße wird die Sonnenenergie auch zu Heizzwecken verwendet. Die Stromproduktion wird im darauffolgenden Kapitel behandelt.

4.3.1 Instrumente

Über das Marktanreizprogramm zur Nutzung Erneuerbarer Energien (MAP) werden die Errichtung und die Erweiterung von Solarkollektoranlagen einschließlich Speicher- und Luftkollektoren zur Brauchwassererwärmung, zur Raumheizung sowie zur Bereitstellung von Prozesswärme gefördert. Diese Förderung hat den größten Anteil am MAP.

Sowohl die Wärmenutzung als auch die Stromproduktion durch Sonnenenergie wird ferner durch die Bundesregierung mit dem KfW-CO₂-Gebäudesanierungsprogramm. In diesem Programm werden neben den Maßnahmen zur Wärmedämmung und zur Modernisierung von Heizungsanlagen in Wohngebäuden des Altbaubestandes in Kombination der Einbau von Solarkollektoren und Photovoltaikanlagen gefördert.

Die „Solar – na klar!“ Kampagne hat durch gezielte Öffentlichkeitsarbeit das Bewusstsein und das Wissen über die Möglichkeiten zur Nutzung von Solarkollektoren und Photovoltaikanlagen gestärkt. Sie ist eine Eigeninitiative der einschlägigen Wirtschaft. Der Bundeskanzler und der Bundesumweltminister sind Schirmherren der Kampagne. Neben dem BMU wird sie von allen Umweltministerien der Bundesländer unterstützt.

Im Rahmen des Programms „Solarthermie 2000“ fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie die Installation und messtechnische Begleitung von 100 solaren Großanlagen für die solarunterstützte Brauchwassererwärmung und insbesondere die Heizung.

Weitere Instrumente zur Förderung der Installation von Solarkollektoren sind die Eigenheimzulage (Öko-Komponente) und die neue Energieeinsparverordnung.

4.3.2 Entwicklung der Nutzung und Potenziale

Die Nutzung der Solarwärme ist aus der Nischenposition heraus gekommen. Die Technik ist weit ausgereift und zahlreiche Handwerker, Architekten und Bauingenieure sind inzwischen Fachleute für die Solarwärmetechnik. Eine Solarwärmanlage beim Hausbau oder bei der Modernisierung zu bestellen ist heute meist nichts völlig Neues für die Auftragnehmer; dies war noch vor wenigen Jahren der Fall.

Diese Entwicklung war und ist notwendig, um in steigendem Maße Solarkollektoren installieren zu können. Die Anzahl der neu installierten Anlagen wächst kontinuierlich. Die Zuwachsrate in der Solarthermie lag gegenüber dem Bestand in den Jahren 2000 und 2001 zwischen 20 und 30% p.a. (siehe Abb. 4.10). Im Jahr 2001 sind rund 900.000 m² neue Solarkollektoren installiert worden; das sind rund 50% mehr als im Jahr 2000 und rund eine Verdoppelung gegenüber 1998. Die Solarindustrie schätzt, dass bei Fortführung geeigneter Maßnahmen im Jahr 2010 10 Mio. m² neu installiert werden. Ende 2001 waren insgesamt über 4,2 Mio. m² Solarkollektoren in Deutschland²⁴ installiert und sorgen damit für eine jährliche Einsparung von etwa 2,3 TWh fossiler Primärenergie bzw. der Einsparung der Emission von rund 460.000 t CO₂. Bei Erreichung der o.g. Ausbaumwerte werden dies im Jahr 2010 rund 6 Mio. t sein, was etwa 0,7% der gesamten CO₂-Emissionen Deutschlands im Jahr 2000 entspricht.

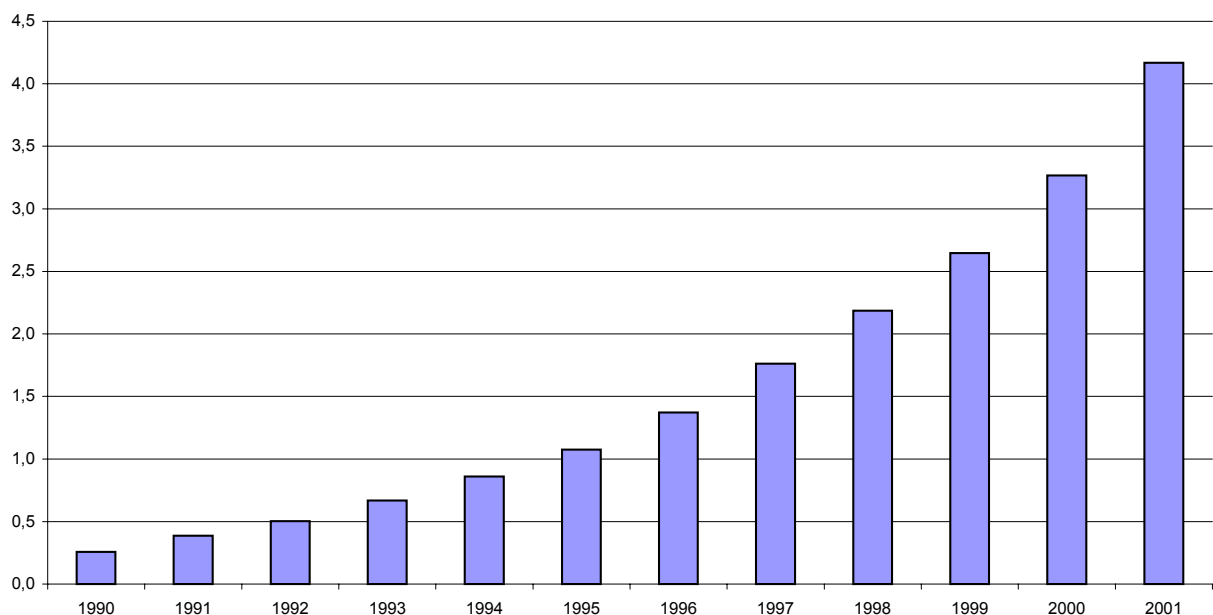


Abb. 4.10: Kumulierte Kollektorfläche in Deutschland in Mio. m² (nach ARGE Solarwirtschaft 2001, Angabe für 2001 erste Anschätzung)²⁵

Obwohl 4,2 Mio. m² (das entspricht 4,2 km²) Kollektorfläche und 2,3 TWh eingesparte Primärenergie sehr viel erscheint, ist das Potenzial in Deutschland zu einem sehr ge-

²⁴ ARGE Solarwirtschaft: Perspektiven der Nutzung der Solarwärme in Deutschland. Wieviel Förderung braucht der Einstieg in die Solarwirtschaft? Parlamentarischer Abend der ARGE Solarwirtschaft 19. Juni 2001, S. 4; siehe auch Bericht des BMWi zu der Änderung des Marktanzreizprogramms zugunsten erneuerbarer Energien, Berlin, 19. September 2001, für die 62. Sitzung des Ausschusses für Wirtschaft am 25. September 2001.

²⁵ Quelle: Staiß 2001, ARGE Solarwirtschaft 2001.

ringem Teil erschlossen. Das in Deutschland vorhandene technische Potenzial (Dachflächen) für Solarkollektoren liegt bei etwa 800 km².²⁶ Diese Fläche steht allerdings z.T. in Konkurrenz zur Solarstromnutzung (Photovoltaik). Es wird somit noch viele Jahre dauern, bis dieses Potenzial genutzt wird. Der Bedarf ist vorhanden: Allein für Heizung und Warmwasser in Wohngebäuden liegt der Wärmebedarf derzeit in Deutschland bei etwa 500 TWh.²⁷ Nicht eingeschlossen ist hier der Wärmebedarf in Bürogebäuden, Gewerbegebäuden und die gesamte Prozesswärme.

4.3.3 Stand und Förderung der Forschung und Entwicklung

Die Technik der Solarkollektoren

Solarkollektoren sammeln Sonnenstrahlung und wandeln sie in Absorbern in Wärme um. Ein Wärmeträger nimmt die thermische Energie auf und gibt sie in der Regel an einen Wärmespeicher weiter, wo sie bis zur Nutzung lagert. Während zur Beheizung von Freibädern seit vielen Jahren einfache und kostendeckende Systeme verwendet werden, sind für die Warmwasserbereitung und insbesondere für die Raumheizung leistungsfähigere Systeme notwendig, die eine höhere Ausbeute an Sonnenwärme erzielen. Es werden Flachkollektoren und Vakuumkollektoren eingesetzt.

Flachkollektoren besitzen ein gut wärmegeädämmtes Gehäuse mit transparenter Abdeckung, hinter der sich der Absorber befindet. Das senkt die Wärmeverluste durch Konvektion und die Wärmeleitung. Flachkollektoren erreichen bei Temperaturen bis 50°C Wirkungsgrade von 50-60%. Stärker als bei Flachkollektoren werden die Wärmeverluste durch Konvektion und Wärmeleitung in Vakuumkollektoren gesenkt. Hier liegen die einzelnen Absorberstreifen in evakuierten Glasröhren. Die Wirkungsgrade von Vakuumkollektoren liegen deutlich höher als die von Flachkollektoren.

Die Nutzung der Sonnenenergie zur Wärmebereitstellung ist technisch und ökonomisch weit fortgeschritten. Je nach Auslegung des Systems kann durch eine solarthermische Anlage durchschnittlich 50 – 80% Primärenergie eingespart werden, die sonst für die Warmwasserbereitung anfällt. Um Flach- und Vakuumkollektoren noch effizienter und kostengünstiger zu machen, wird an neuen Techniken gearbeitet. Besonders wichtig bei neu entwickelten Techniken ist, dass auch aus diffuser Lichteinstrahlung Wärme gewonnen werden kann (z.B. bei Titan Nitrit Oxid – TiNOX Kollektoren). Damit wird die Warmwasserbereitung in unseren Breiten selbst in der Übergangszeit und im Winter möglich.

Solarthermische Großanlagen

Die meisten bisher in Deutschland installierten Solarkollektoranlagen sind i.a. Kleinanlagen mit weniger als 10 m² Kollektorfläche, die sich auf kleinen Wohnhäusern befinden. Hier hat bisher auch überwiegend die Förderung gefruchtet. Obwohl die spezifischen Kosten für Großanlagen im Vergleich zu Kleinanlagen bereits heute nur halb so

²⁶ Kaltschmidt und Wiese 1997: Erneuerbare Energien. S. 229.

²⁷ARGE Solarwirtschaft: Perspektiven der Nutzung der Solarwärme in Deutschland. Wieviel Förderung braucht der Einstieg in die Solarwirtschaft? Parlamentarischer Abend der ARGE Solarwirtschaft 19. Juni 2001, S. 2ff.

groß sind, werden diese Großanlagen bislang kaum errichtet, da hier streng betriebswirtschaftlich gerechnet wird.

Um den Einsatz großer Solarthermieanlagen voranzubringen, fördert die Bundesregierung im Rahmen des Programms „Solarthermie 2000“ die Installation und messtechnische Begleitung von 100 solaren Großanlagen für die solarunterstützte Brauchwassererwärmung und Heizung.²⁸ Mit insgesamt sieben Pilotprojekten, die in diesem Programm gefördert werden, werden solargestützte Nahwärmesysteme mit Langzeit-Wärmespeichern, oder auch saisonalen Speichern, gefördert.

Solche Nahwärmesysteme können ganze Wohngebiete versorgen. Sie nutzen meist konventionelle Brennstoffe, lassen sich aber auch über große Solaranlagen speisen. Wichtig ist ein von Anfang an abgestimmtes integrales Konzept, das sowohl den verbesserten Wärmeschutz der Gebäude als auch die energieeffiziente Wärmeerzeugung und -verteilung umfasst. Die sieben über das Programm Solarthermie 2000 geförderten Systeme nutzen Sonnenenergie über große Absorberanlagen, die einen Anteil von 40-60% der Energie beisteuern. Dieser Beitrag ist insbesondere durch den Einsatz der Langzeit-Wärmespeicher möglich, da hohe solare Deckungsgrade deren Einsatz erfordern.

An der Effizienz der Technik von Langzeit-Wärmespeichern wird besonders deutlich, wie wichtig das Zusammenspiel zwischen Erneuerbaren Energien, Energieeffizienz und Speichersystemen im Gebäudebereich ist. Messungen haben bestätigt, dass der solare Deckungsanteil durch die Rücklaufftemperatur des Nahwärmenetz stark beeinflusst wird. Sinkt die Rücklaufftemperatur um ein Grad, steigt der solare Deckungsanteil um ein Prozent. Das bedeutet in der Summe einen erheblichen Gewinn an Sonnenenergie, ohne dafür in neue Kollektoren oder Speicher investieren zu müssen. Mängel in der konventionellen Haustechnik lassen Temperaturen im Rücklauf nach oben klettern. Durch den Einsatz von Niedrigtemperatur-Heizsystemen kann die Energiebilanz weiter verbessert werden.²⁹

4.3.4 Gesamteinschätzung und Ausblick

Im Bereich der Wärmenutzung leistet die Sonnenenergie bereits heute einen - noch relativ kleinen - Beitrag zur Minderung der CO₂-Emissionen in Deutschland. In den vergangenen Jahren hat sich ein wichtiger und leistungsfähiger Solarwärmemarkt entwickelt, der zum einen in diesem Bereich den Ausbau weiter voran bringen wird und zum anderen einen wichtigen Beitrag zur Sicherung von Arbeitsplätzen bei den Herstellerfirmen und im Handwerk leistet.

Die Installation von kleinen Solaranlagen auf Einfamilienhäusern ist inzwischen Stand der Technik, allerdings ist weiterhin eine Förderung erforderlich. Anders ist das bei großen Solarkollektoranlagen für Mehrfamilienhäusern oder Bürogebäude etc.. Diese sind zwar spezifisch kostengünstiger, kommen aber noch kaum zum Einsatz. Es gilt, auch diesen Einsatzbereich zügig zu erschließen.

²⁸ BMWi 2001, S. 64ff.

²⁹ BMWi 2001, S. 14ff.

Insgesamt sind die Potenziale erst zu einem sehr geringen Teil erschlossen. Durch die Entwicklung einer leistungsfähigen Industrie ist zu erwarten, dass die Preise für Solar-kollektoranlagen weiter fallen werden. Bei steigenden Preisen für fossile Energien ist es möglich, dass diese Technik in absehbarer Zeit auch ohne eine Förderung durch den Staat konkurrenzfähig wird.

Ergebnisse in Forschung und Entwicklung verbessern nicht nur die Effizienz der Solar-kollektoren, sondern verbessern auch ihre Eignung während der Winterzeit. Damit werden die technischen Rahmenbedingungen verbessert, um die solare Wärme auch zur Erzeugung von Raumwärme zu nutzen, die ca. 90% des Wärmebedarfs im Gebäudebereich ausmacht. Diese Entwicklung sollte einhergehen mit dem Einsatz saisonaler Wärmespeicher. Diese Arbeit muss fortgeführt werden, um - insbesondere für den Bereich mittlerer und größerer Gebäude - den großen Bereich der Raumwärme in Zukunft stärker mit Sonnenenergie abdecken zu können.

4.4 Solare Stromproduktion

Im Gegensatz zur solaren Wärmenutzung, die im vorherigen Kapitel behandelt wird, ist die solare Stromproduktion noch vergleichsweise teuer. Das technische Potenzial in Deutschland für die Photovoltaik ist allerdings hoch.

In südlichen, sonnenreichen Ländern besteht ferner die Möglichkeit, mit konzentrierenden Systemen solarthermisch Strom zu erzeugen. Das BMU unterstützt über das Zukunftsinvestitionsprogramm die Forschung und Entwicklung dieser Techniken. Wesentliche Techniken sind Parabolrinnen-kraftwerke, Solarturm-kraftwerke sowie kleine, dezentrale Solar-Schüssel-Anlagen (Solar-Dish-Systeme). Mit der Schaffung einer speziellen Vergütung für Strom aus Solarkraftwerken durch ein Stromeinspeisegesetz Spaniens und Maßnahmen in Italien stehen die südeuropäischen Länder sowie mit mehreren Weltbankausschreibungen eine Reihe von Entwicklungsländern vor einem Durchbruch dieser Sparte der Erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung. Obwohl sie in Deutschland nicht zum Einsatz kommt, sind hiesige wissenschaftliche Einrichtungen und Firmen global mit führend.

Im Folgenden wird nur auf den Einsatzbereich in Deutschland, also die Photovoltaik, eingegangen.

4.4.1 Instrumente

Die Stromproduktion durch Sonnenenergie wird durch das EEG und das 100.000-Dächer-Solarstromprogramm unterstützt. Über das EEG waren die Netzbetreiber bis 2001 verpflichtet, 50,6 €-Cent/kWh Strom (99 Pf./kWh_{el}), der durch Photovoltaikanlagen produziert wurde, zu vergüten. Um einen Anreiz zu schaffen, kostengünstigere Anlagen herzustellen, ist die Vergütungsregelung degressiv ausgestaltet. D.h. für Anlagen, die beginnend mit dem 1. Januar 2002 in Betrieb gehen, wird die Mindestvergütung um jeweils 5 Prozent pro Jahr gesenkt (für die Mindestvergütung im Jahr 2002 siehe Tab. 3.2). Ferner ist die Vergütungsverpflichtung für Photovoltaikanlagen zeitlich begrenzt. Wenn die Vergütung von Photovoltaikanlagen durch das EEG die 350 Megawatt-Grenze erreicht, entfällt am Ende des Folgejahres die Verpflichtung der Ver-

gütung des Stroms aus zusätzlichen Anlagen. Diese Grenze wurde parallel zum 100.000-Dächer-Solarstrom-Programm festgelegt, in dem insgesamt PV-Anlagen von 300 MW_p Gesamtleistung gefördert werden (bei Inkrafttreten beider Instrumente waren rund 50 MW_p installiert). Diese Grenze wird vermutlich, abhängig von der Entwicklung des Marktes, im Jahr 2003 oder 2004 erreicht. Im Jahr 2001 wurden über das 100.000-Dächer-Solarstromprogramm insgesamt PV-Anlagen mit einer Leistung von rund 77 MW_p gefördert (DFS 2002).

Da die Vergütung durch das EEG trotz der vergleichsweise hohen Mindesteinspeisevergütung noch nicht ausreicht, um die Stromproduktion durch PV-Anlagen wirtschaftlich zu machen, wird über das 100.000-Dächer-Solarstrom-Programm deren Errichtung und Erweiterung ab einer installierten Spitzenleistung von 1 kW_p durch zinsvergünstigte zehnjährige Darlehen gefördert. Die so geförderten Investitionen betragen bis Ende 2001 bis 5 kW_p bis zu DM 6.557 €-Cent/kW_p, bei Leistungen über 5 kW_p betragen sie bis zu DM 3.279 €-Cent/kW_p. Wie das EEG ist auch dieses Investitionsförderprogramm degressiv ausgestaltet, so dass Anfang 2002 die geförderten Investitionen jährlich um 5% verringert werden. Gefördert werden Privatpersonen, kleine und mittlere Unternehmen und freiberuflich Tätige.

Tab. 4.5: Ausgewählte Kennzahlen zum 100.000-Dächer-Solarstrom-Programm (Quelle: KfW 2000³⁰)

Berichterstattung zum 100.000 Dächer-Solarstrom-Programm für das Jahr 2000	
Anträge (Anzahl)	17.352
Antragsvolumen (Mio. €)	550,7
Zusagen (Anzahl)	8.107
Volumen der Zusagen (Mio. €)	223,21
Durchschnittlicher Zusagebetrag (€)	27.533
Auszahlungen bis Sept. 2001 (Mio. €)	200,38
Geförderte Investitionen (Mio. €)*	248,96
Durchschnittlich geförderte Investitionen (€)*	30.709
Geförderte Photovoltaikleistung (MW _p)	40,63
Durchschnittlich geförderte Photovoltaikleistung (kW _p)	5
Durchschnittlich geförderte Zellenfläche pro kW _p (m ²)**	8,6
Geförderte Solarzellenfläche insgesamt (m ²)**	349.418

Die starke Abweichung zwischen Anträgen und Zusagen erklärt sich vor allem durch die hohe Anzahl von Verzichten.

*Basierend auf Bruttobeträgen (inkl. MwSt.) für Investoren ohne Vorsteuerabzugsberechtigung und auf Nettobeträgen für vorsteuerabzugsberechtigte Investoren.

**Diese Angaben stammen aus den Verwendungsnachweisen.

Neben den genannten Instrumenten fördert auch das KfW-CO₂-Gebäude-sanierungsprogramm die Photovoltaik (siehe unter Solare Wärme). Ferner ist im Marktanreizprogramm zur Nutzung Erneuerbarer Energien die Förderung von PV-Anlagen in Schulen enthalten.

³⁰ Kreditanstalt für Wiederaufbau 2000: 100.000 Dächer-Solarstrom-Programm. Statistische Kennzahlen für das Jahr 2000.

4.4.2 Entwicklung der Nutzung und Potenziale

Aufgrund der spezifisch hohen Preise für Photovoltaik-Anlagen wurde diese Technik bis vor kurzer Zeit in Deutschland nur in sehr geringem Umfang angewendet. Einsatzbereiche für diese Technik lagen fast ausschließlich in speziellen Situationen, z.B. wenn ein Standort nur mit großem Aufwand an das Stromnetz angeschlossen werden konnte und ein Gerät daher möglichst autark durch PV-Strom versorgt werden sollte (z.B. Autobahntelefone, Parkuhren etc.). Eine Einspeisung von PV-Strom fand praktisch nicht statt. Daher war der Ausgangspunkt der Photovoltaik mit Inkrafttreten des EEG und des 100.000-Dächer-Solarstrom-Programm ein äußerst niedriges Niveau.

Entsprechend diesem niedrigen Niveau konnte der relative Zuwachs der Photovoltaik in Deutschland im Vergleich zu den anderen Sparten der Erneuerbaren Energien, höher liegen. Bereits im Jahr 2000, in dem das EEG in Kraft trat, stieg die Produktion durch zugebaute Anlagen um etwa das dreifache – nachdem der Zubau in den drei vorherigen Jahren beinahe stagnierte. Im Jahr 2001 wuchs der Zubau um weitere 50% auf 65 MW_p (DFS 2002). Die seit 1998 installierte PV-Leistung übersteigt damit bei weitem die vor 1998 installierte Leistung. Im Jahr 2001 wurde durch PV-Anlagen gut 150 Mio. kWh Strom produziert (siehe Abb. 4.11 und 4.12). Dies ist allerdings – trotz des starken Wachstums – im Verhältnis zu anderen Erneuerbaren Energiequellen noch ein sehr kleiner Anteil.

Innerhalb von Europa hatte Deutschland mit fast 114 MW_p im Jahr 2000 mit Abstand die meisten PV-Anlagen installiert. Pro 1.000 Einwohner hatte nur die Schweiz mit 2,11 W_p mehr PV-Leistung installiert als Deutschland (1,37 W_p).³¹ Durch die intensive Förderung baut Deutschland seine gute Position stetig aus, nicht nur bei der Anwendung, sondern vor allem auch bei der Produktion der Anlagen.

Die Potenziale zur Nutzung der PV sind bezogen auf die verfügbare Fläche größer als bei der Solarthermie. Denn auch auf Dächern und vergleichbaren bereits verbauten Flächen, in deren unmittelbarer Nähe keine Wärme benötigt wird, lassen sich sinnvoller Weise PV-Anlagen installieren. Ferner eignen sich teilweise Fassaden dazu. Damit kann die Photovoltaik langfristig, wie die übrigen Sparten der Erneuerbaren Energien, einen wichtigen Beitrag zur Erzeugung von Strom leisten.

³¹ Nach Staiß 2001.

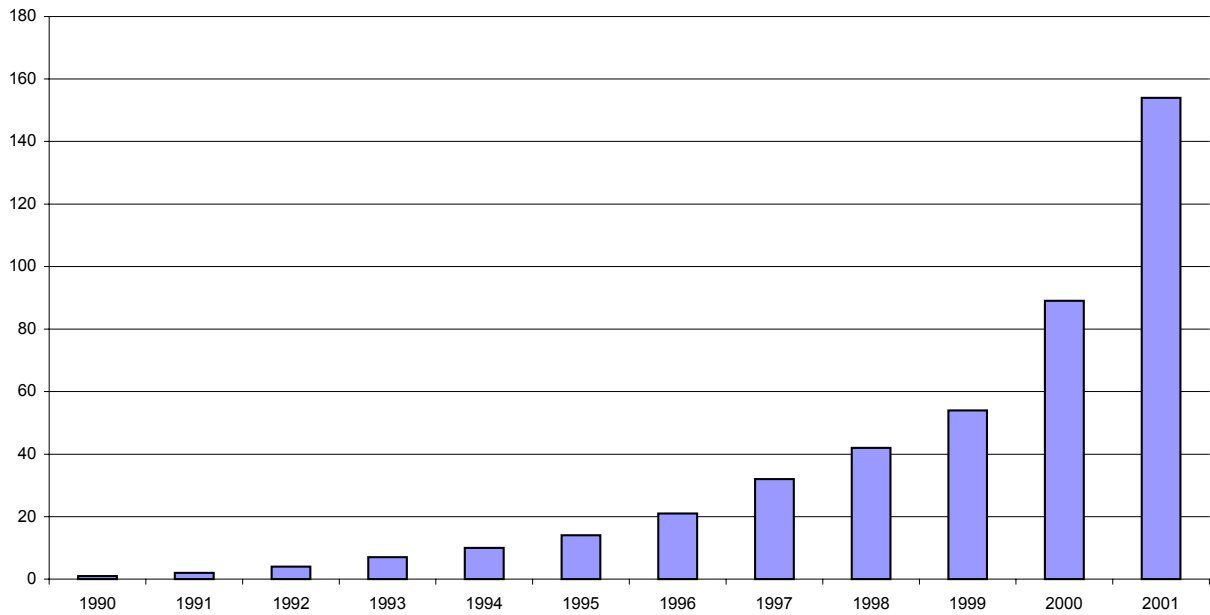


Abb. 4.11: Kumulierte Stromproduktion von PV-Anlagen in Deutschland in Mio. kWh/a; (Quelle: Staiß 2001, DFS 2002, Angabe für 2001 vorläufige Abschätzung)

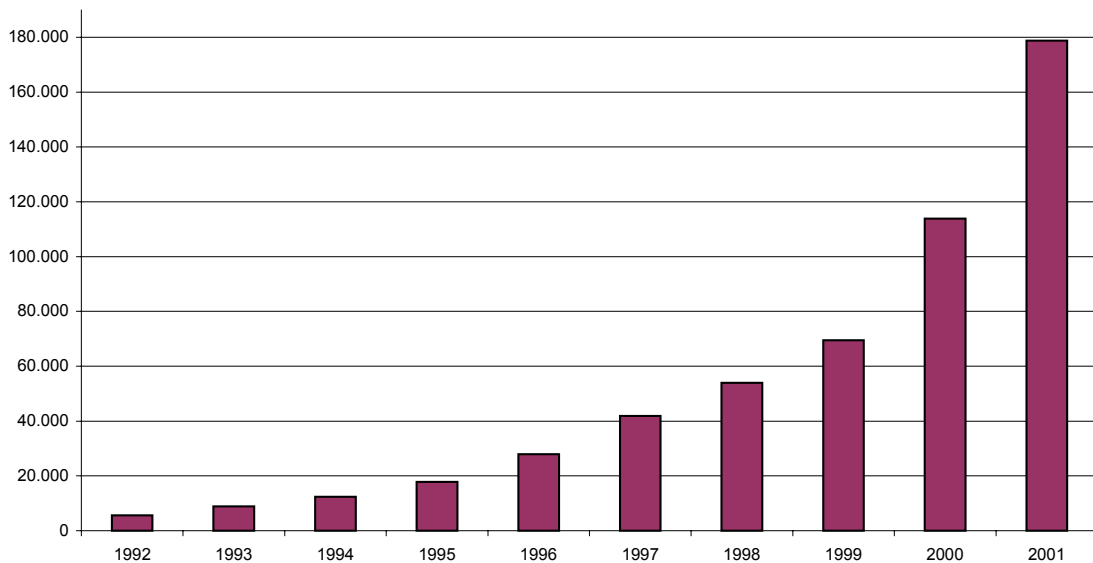


Abb. 4.12 : Kumulierte installierte PV-Leistung in kW_p gesamt in Deutschland (Quelle: Staiß 2001, DFS 2002, Angabe für 2001 vorläufige Abschätzung)

Insgesamt haben EEG und 100.000-Dächer Solarstrom-Programm bewirkt, dass sich in Deutschland eine leistungsfähige Industrie zur Herstellung und Installation von PV-Anlagen etablieren konnte. Das oben beschriebene Wachstum der PV-Industrie lässt

sich auch an verschiedenen Beispielen festmachen. Mit ca. 2.300 neuen Arbeitsplätzen in der PV-Industrie, im Elektrohandwerk und im Vertrieb haben sich allein im Jahr 2000 die Arbeitsplätze mehr als verdreifacht.³² So wird in Mecklenburg Vorpommern derzeit die größte PV-Anlage Europas gebaut. In der Ausbaustufe wird sie rund 5 MW_p auf rund 100.000 m² zur Verfügung stellen.³³ In Gelsenkirchen will die Deutsche BP AG und BP Solar eine Solarfabrik bauen. Mit Investitionen von rund 15 Mio. € soll eine Modul-Produktionsstätte für jährlich 20 MW_p entstehen – und 100 Arbeitsplätze geschaffen werden.³⁴ Im bayrischen Alzenau baut die Angewandte Solarenergie GmbH und steigert damit ihre Produktionskapazität auf 20 Megawatt aus.³⁵ In Rudisleben bei Erfurt baut die Firma Antec die modernste Dünnschichtfertigung mit Cadmium Telluridzellen.³⁶ Die Hamburger Solara AG plant, in der Nähe von Hamburg eine neue Solarfabrik mit einer Fertigungskapazität von 24 MW_p, um ihren wachsenden Bedarf an Solarmodulen selbst besser decken zu können.³⁷ Damit stärkt Deutschland seine Position im Weltmarkt, vor allem gegenüber den Marktführern USA und Japan. Darüber hinaus entwickelt ein deutsch-britisches Forscherteam „organische Solarzellen“, die die bisher aufwendige Herstellung organischer Solarzellen revolutionieren sollen.³⁸

Nach wie vor wäre die Stromproduktion durch PV-Anlagen ohne die intensive Förderung nicht möglich. Die Stromgestehungskosten liegen in Deutschland deutlich über den Sätzen, die im EEG als Einspeisevergütung festgelegt sind. Daher ist ergänzend das 100.000-Dächer-Solarstromprogramm notwendig, um die gewünschte Massenproduktion zu ermöglichen. Beispielhaft sind in Tabelle 4.6 die Stromgestehungskosten durch PV-Anlagen differenziert aufgeführt.

³² Erklärung von MdB Hans Josef Fell anlässlich der Eröffnung der 17. europäischen Photovoltaik-Konferenz in München am 22.10.2001.

³³ Frankfurter Rundschau, 24.7.2001: Bald Strom von der Sonne satt. Bei Usedom soll Europas größte Solaranlage gebaut werden. S. 28; [B.A.U.M.-@-News](#) Nr. 13 vom 12.7.2001: Deutschlands größte Photovoltaikanlage im Bau. S. 8.

³⁴ Sonnenenergie: Neue Modul-Produktion in Deutschland. BP plant Solarfabrik in Hameln. Juni 2001, S. 13.

³⁵ BMWi 2001, S. 49.

³⁶ Erklärung von MdB Hans Josef Fell anlässlich der Eröffnung der 17. europäischen Photovoltaik-Konferenz in München am 22.10.2001.

³⁷ Solarthemen. Infodienst für Regenerative Energien Nr. 121, 11. September 2001, S. 5..

³⁸ Energie Brief: Organische Solarzellen werden billiger. 24. Jahrgang, Nr. 15, 15. August 2001, S. 6 (dort wurde die Quelle: Science, Ausg. 293, S. 1119 angegeben).

Tab. 4.6: Orientierungswerte für Investitions- und Stromgestehungskosten von Photovoltaikanlagen (Quelle: Staiß 2001)

		Hausdachanlage (2 kW _p)	Freiflächenanlage (>100 kW _p)
Globalstrahlung auf die horizontale Fläche	[kWh/(m ² a)]	1.000	1.000
Totalstrahlung auf die geneigte Modulfläche	[kWh/(m ² a)]	1.120	1.120
Wirkungsgrad Module	[%]	13	13
Modulfläche	[m ² /kW _p]	7,7	7,7
Jährlicher Stromertrag (Wechselstrom)	[kWh/kW _p]	800	850
technische Nutzungsdauer	[a]	25-30	25-30
Investitionskosten	[DM/kW _p]	14.000	10.000
Davon Module	[DM/kW _p]	8.500	6.000
Tragstrukturen	[DM/kW _p]	700	1.300 ¹⁾
Infrastruktur	[DM/kW _p]	-	500
Wechselrichter, Netzanschluss	[DM/kW _p]	2.000	800
Installation einschl. Material	[DM/kW _p]	2.800	1.400
Jährliche Kosten für Wartung & Instandhaltung	[DM/kW _p]	75	50
Abschreibungsdauer	[a]	25/20	20
Zins	[% p.a.]	6	6
Stromgestehungskosten	[DM/kWh]	1,46/1,62	1,08

¹⁾ einschließlich Fundamente

4.4.3 Stand der Forschung und Entwicklung

Die Photovoltaik (PV) zählt zu einer Schlüsseltechnologie, die nicht nur in Deutschland, sondern auch in vielen anderen Ländern der Erde einen wichtigen Beitrag zur zukünftigen Stromversorgung leisten kann. Hierfür muss die Technik der PV aber weiter entwickelt werden, vor allem, um die Herstellung der Anlagen zu verbessern, die Effizienz der Anlagen zu steigern und die vergleichsweise hohen Kosten zu senken.

Bisher werden fast alle PV-Zellen aus Silizium gefertigt. Den größten Marktanteil – rund 80% - haben derzeit mono- und polykristalline Siliziumzellen. Solarzellen aus amorphem Silizium (die zu den Dünnschichtzellen gehören) machen ca. 20% aus. Während die kristallinen Zellen hohe Wirkungsgrade aufweisen, nur in einer geringen Größe von meist 10x10cm hergestellt werden und relativ teuer sind, können amorphe Zellen kosten- und materialsparend sowie großflächiger hergestellt werden, was den Aufwand für die Verschaltung der Zellen verringert.

Die Bundesregierung unterstützt Projekte, die kostengünstigere Systeme und Verfahren mit höheren Wirkungsgraden versprechen. Neben der Verbesserung der Fertigungstechnologie zielt die Förderung auch darauf ab, der deutschen Zulieferindustrie im Anlagenbau eine internationale Stellung zu sichern.³⁹

Obwohl die kristallinen Siliziumzellen derzeit marktbeherrschend sind, könnte die Zukunft in den Dünnschichtzellen zu liegen. So versprechen beispielsweise die Kupfer-Indium-Diselenid-Zellen (CIS-Zellen) eine kostengünstige und leistungsfähige PV. Im

³⁹ BMWi 2001, S. 49.

Gegensatz zu den heute marktbeherrschenden kristallinen Siliziumzellen sind die Dünnschichtsolarzellen nur wenige Mikrometer dünn. Das spart Material und Energie bei der Herstellung, ermöglicht die Produktion recht großer Module und senkt den Aufwand bei der elektrischen Verschaltung. Für diese Technik ist der Einstieg in die Massenfertigung geplant, wodurch sich der Preis der Solarzellen fast halbieren könnte.⁴⁰

Tab. 4.7: Wirkungsgrade marktrelevanter Solarzellentypen mit unterschiedlichen Halbleitermaterialien⁴¹

Bezeichnung	Kristallin	Dünnschicht	Maximaler Zellwirkungsgrad im Labor in % (1-4 cm ²)	Maximaler Zellwirkungsgrad Serienfertigung (100-150 cm ²)
Monokristallines Silizium	X		25	15-17,5
Multikristallines Silizium	X		21	14-15
Amorphes Silizium		X	12	5-7
Kupfer-Indium-Selenid CIS (CIGS)		X	17-19	10-13 (Pilotproduktion)
Cadmium-Tellurid (CdTe)		X	10-15	8-9 (Pilotproduktion)
Galliumarsenid (GaAs)		X	23-30	Kleinserienproduktion (Weltraumnutzung)

4.4.4 Gesamteinschätzung und Ausblick

Aufgrund des niedrigen Ausgangsniveaus bei Inkrafttreten des EEG und des 100.000-Dächer-Solarstrom-Programms leisten PV-Anlagen trotz einer deutlichen Steigerung von Nachfrage und Produktion heute noch keinen bedeutenden Anteil an der gesamten Stromversorgung. Die Preise sind in den vergangenen Jahren im Preis nicht deutlich gesunken. Es ist aber abzusehen, dass sich mit dem Einstieg in die Massenfertigung und durch die verstärkten Anstrengungen in Forschung und Entwicklung in kurzer Zeit eine spürbare Preissenkung einstellt. Die Preissenkung kann nur den Abstand zu den anderen Energiequellen verringern, ihn auf absehbare Zeit aber nicht nivellieren.

Wenn die Sonne aufgrund des hohen Potenzials eine wichtige Funktion im zukünftigen Energiemix haben soll, dann müssen noch große Erfolge bei der Senkung der Preise für PV-Anlagen eintreten. Werden diese Erfolge durch die Unterstützung des PV-Marktes und die Forschungsförderung in Deutschland erzielt, dann hat die heimische Industrie die Chance, sich frühzeitig auf dem zukünftig wichtigen internationalen Markt zu platzieren.

⁴⁰ BMWi 2001, S. 52.

⁴¹ BMWi 2001, S. 51.

In Einsatzgebieten ohne entsprechende Infrastruktur (netzferne Stationen in Deutschland, große Bereiche in Entwicklungsländern) haben PV-Anlagen heute schon eine hohe Bedeutung. Im Rahmen der Entwicklungszusammenarbeit des BMZ spielen solche Inselanlagen daher eine wichtige Rolle.

4.5 Geothermie

Erdwärme aus dem Erdinneren ist die wichtigste regenerative Energie, die weder direkt noch indirekt von der Sonne abhängt. (Als weitere nicht-solare Sparte ist die Gezeitenenergie zu nennen, die auf der Gravitationswirkung des Mondes beruht, für Deutschland aber keine große Rolle spielen dürfte.) Die Geothermie wird bislang weltweit zum allergrößten Teil dort eingesetzt, wo aufgrund von geologischen Bedingungen überdurchschnittlich hohe Temperaturen im oberflächennahen Erdreich vorkommen. An einigen sehr geeigneten Stellen war und ist die Nutzung dieser Wärme sowohl für die Bereitstellung von Nutzwärme als auch zur Produktion von Strom kostengünstig. Diese Bedingungen sind in Deutschland nur sehr eingeschränkt vorhanden, weshalb hier bislang ein sehr geringes Ausgangsniveau vorhanden ist.

Grundsätzlich sind u.a. folgende Arten der Nutzung der Geothermie zu unterscheiden:

Geeignet zur Wärmenutzung

- Hydrothermale Systeme mit niedrigem Temperaturniveau
- Oberflächennahe geothermische Systeme

Geeignet zur Wärmenutzung und Stromproduktion

- Hydrothermale Systeme mit hohem Temperaturangebot (heißes Tiefenwasser und Wasserdampf)⁴²
- Hot-Dry-Rock (HDR)⁴³

Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang auch die Nutzung von oberflächennahen Schichten als Wärme- bzw. Kältespeicher. Diese Speichernutzung selber ist zwar nicht in diesem Sinne als Erneuerbare Energie zu bezeichnen, allerdings kann dessen Nutzung insbesondere bei der Solarthermie eine wichtige Rolle spielen. Denn durch diese Speicherkapazität kann das Problem der saisonalen und tageszeitlich unterschiedlichen Verfügbarkeit der Sonnenenergie zu einem erheblichen Maße überbrückt werden.

⁴² BMWi 2001, S. 60.

⁴³ nach DLR et al: Klimaschutz durch Erneuerbare Energien 1999: Langfassung, S. 15.

4.5.1 Instrumente

Da die technische Entwicklung im Bereich der Nutzung der Geothermie in Deutschland insbesondere zur Senkung der Kosten noch stark vorangetrieben werden muss, unterstützt die Bundesregierung die Forschung und Entwicklung in dieser Sparte der Erneuerbaren Energien. Hier ist insbesondere das Zukunftsinvestitionsprogramm (ZIP) zu nennen (siehe Forschung und Entwicklung). Darüber hinaus ist im EEG für Anlagen bis 20 MW installierter elektrischer Leistung für das Jahr 2002 eine Einspeisevergütung von mindestens 8,95 €-Cent/kWh und für Anlagen über 20 MW von mindestens 7,16 €-Cent/kWh festgelegt.⁴⁴ Zusätzlich werden geothermische Anlagen über das Marktanzreizprogramm zur Nutzung Erneuerbarer Energien gefördert. Hier werden bis zu 40% der Investitionssumme in Form von Zuwendungen durch Darlehen aus Eigenmitteln der KfW und Teilschulderlasse vergeben. Voraussetzung zum Einstieg in diese vielversprechende Sparte der Erneuerbaren Energien sind in der nächsten Zeit weitere F&E-Maßnahmen sowie eine Reihe von Demonstrationsvorhaben für die verschiedenen geologischen Formationen und Techniken. Dies betrifft vor allem Geothermieanlagen zur Stromerzeugung und zur KWK-Nutzung. Bisher gibt es in Deutschland keine Anlagen zur Stromerzeugung aus Geothermie.

4.5.2 Entwicklung der Nutzung und Potenziale

Welche Rolle spielt oder kann die Geothermie im Verbund der Erneuerbaren Energien spielen? Hier soll im Folgenden zwischen der Wärmenutzung und der Stromerzeugung unterschieden werden. Die Wärmenutzung ist in Deutschland bei Vorhandensein von niedrigthermalen Tiefengewässern mit Temperaturen zwischen 40°C und 100°C möglich. Bei der geothermalen Stromerzeugung sind höhere Temperaturen ab 100°C notwendig, die in Deutschland nur in großen Tiefen gefunden werden können.

Wärmenutzung

Eine spezifische Art der Geothermie ist die hydrothermale Erdwärme. Sie kann durch die Nutzung von niedrigthermalen Tiefengewässern zwischen 40°C und 100°C genutzt werden, die vor allem im süddeutschen Molassebecken (Malmkarst), im Oberrheingraben und in Teilen der norddeutschen Tiefebene vorkommen. Das Thermalwasser wird gewöhnlich aus 1.000 bis 2.500 m Tiefe über Bohrungen an die Erdoberfläche gefördert und gibt hier seine Wärme an einen Verbraucher ab. Anschließend wird es über eine zweite Bohrung wieder in die Tiefe gebracht, um die Mengenbilanz im Untergrund zu erhalten. Die hochmineralisierten Thermalwässer können aus Umweltschutzgründen meistens nicht oberirdisch entsorgt werden.

Hydrothermale Erdwärme wird zur Gebäude- und Wasserheizung, in Thermalbädern und zu gewerblichen Zwecken (z. B. zur Beheizung von Gewächshäusern) genutzt. In Süddeutschland, vor allem in der Region zwischen Donau und Alpen (süddeutsches Molassebecken) kann das Thermalwasser nach dem Abkühlen auch als Trinkwasser

⁴⁴ Maßgeblich für die Mindestvergütung ist das EEG. Die hier angeführten Angaben sind unverbindlich.

verwendet werden, da unterirdisch genügend Wasser nachfließt und der Mineralgehalt nur gering ist.

In Deutschland wird die hydrothermale Geothermie schon seit langem energetisch genutzt, allerdings in geringem Umfang. Gegenwärtig sind 24 Anlagen mit einer thermischen Leistung von insgesamt 50 MW_{th} in Betrieb, sie stellen 220 TJ Wärme pro Jahr zur Verfügung. In den nächsten Jahren sollen bis zu 150 MW_{th} zugebaut werden.

Die gesamte Nutzung der Geothermie stellte in Deutschland im Jahr 2000 rund 440 GWh Endenergie zur Verfügung, was rund 1.700 TJ Primärenergie entspricht.

Stromerzeugung

Bei dieser Frage ist voranzustellen, dass die natürlichen Voraussetzungen in Deutschland zur geothermalen Stromerzeugung nicht so vorteilhaft wie in anderen europäischen Ländern, beispielsweise Island oder Italien, sind. Oberflächennahe Wärmepotentiale in der Größenordnung über 100° C gibt es in Deutschland nicht. Um solche Wärmepotentiale zu erschließen, muss in Tiefen bis ca. 4.000 m gebohrt werden.

Die wichtigsten Vorteile der geothermischen Stromerzeugung liegen in der möglichen kontinuierlichen Nutzung als Grundlast; saisonale oder tageszeitliche Schwankungen wie bei Wind und Sonne fallen weg. Hinzu kommt der doch sehr bedeutsame Anfall von Wärmeenergie im Rahmen der Stromgewinnung, der mitunter standortbezogen sehr kostendämpfend wirken kann.

Nachteilig bei der geothermischen Stromerzeugung sind die hohen Investitionskosten vor Inbetriebnahme (Bohrungen, Obertageanlage OTA, Anbindung). Wenn mit dem ZIP und einer Reihe von Demonstrationsvorhaben die geologische und hydrodynamische Machbarkeit der geothermischen Stromerzeugung in Deutschland in den verschiedenen geologischen Formationen und mit den verschiedenen technologischen Ausführungen nachgewiesen werden kann, dürfte die Geothermienutzung bei geeigneten Rahmenbedingungen zügig erschließbar sein.

Potenziale

Die Potenziale der Geothermie sind sehr groß. Ihre Nutzung in Deutschland ist derzeit allerdings insbesondere durch die hohen Investitionskosten stark eingeschränkt. Darüber hinaus stehen günstige geologische Bedingungen nicht flächendeckend zur Verfügung. Ferner ist die Wärmenachfrage lokal nicht überall vorhanden.

Laut BMWi gehen Prognosen davon aus, dass bis zum Jahr 2005 in Deutschland die jährliche Gewinnung von 1.800 TJ_{th} allein aus hydrothermalen Geothermie denkbar ist – eine Steigerung der bislang installierten hydrothermalen Leistung vorausgesetzt.⁴⁵ Tabelle 4.8 zeigt eine Übersicht über die Potenziale und die Nachfrage für den Wärmebereich. Unberücksichtigt sind in dieser Übersicht die Potenziale der Stromerzeugung (aus Tiefen über 3.000 Metern) und die Potenziale außerhalb der drei in Tabelle 4.8 aufgeführten geeigneten Gebiete. Allein das hier aufgeführte jährlich nutzbare Potenzial beträgt allerdings bei einem Endenergieverbrauch von 9.228 PJ/a einen Anteil von ca. 21 %.

⁴⁵ BMWi 2001, S. 60.

Tab. 4.8: Potenziale der hydrothermalen Geothermienutzung für die Wärmenutzung (ohne Strom) bis zu einer Tiefe von 3.000 m (nach Staiß, Jahrbuch Erneuerbare Energien 2001)

	Fläche	Theor. Potenzial	Technisches Potenzial	bei einer Wärmenutzung innerhalb 100 Jahre	Technisches Nachfragepotenzial Haushalte, Kleinverbraucher u. Industrie (Niedertemperaturnachfrage)
	[km ²]	[EJ]	[PJ]	[PJ/a]	[PJ/a]
Süddeutsches Molassebecken	20 000	6 700	88 000	880	112
Norddeutsches Becken	100 000	33 600	50 000	500	868
Oberrhingraben	5 000	1 700	60 000	600	97
<i>Deutschland gesamt</i>	<i>125 000</i>	<i>42 000</i>	<i>198 000</i>	<i>1 980</i>	<i>1 077</i>

4.5.3 Kostenentwicklung

Zeitreihen über die Entwicklung der Kosten für die Nutzung der Geothermie liegen nicht vor. Dies ist u.a. darin begründet, dass einheitliche Werte für das gesamte Bundesgebiet nicht angegeben werden können, da die lokalen Verhältnisse – Temperaturniveau im Boden, Gesteinsformation etc. – sehr unterschiedlich sind und entsprechend die Kosten der Nutzung der Geothermie regional stark variieren.

Die Investitionskosten einer geothermischen Heizzentrale liegen bei Anlagen mit einer installierten Leistung zwischen 3 und 30 MW im Bereich von 500 bis 750 €/kW. Dazu kommen meist noch Kosten für ein Wärmeverteilungsnetz. Je nach Temperaturniveau und Ergiebigkeit der Quelle können die Wärmegestehungskosten zwischen 2 und 4 €/Cent/kWh liegen. Dabei wird von einer Auslastung mit 2.500 bis 3.000 Volllaststunden pro Jahr ausgegangen. Bei industriellen Abnehmern mit hoher Auslastung (über 5.000 h/a) können die Wärmegestehungskosten unter 2 €/Cent/kWh sinken.

Weitere Orientierungswerte zur Wärmenutzung von tiefen Erdwärmesondensystemen sind in Tabelle 4.9 angegeben.

Tab. 4.9: Orientierungswerte für die Investitions- und Wärmeentstehungskosten von tiefen Erdwärmesondensystemen (nach Staiß, Jahrbuch Erneuerbare Energien 2001)

	Versorgung Neubaugebiet ¹⁾ 1.800 Volllaststunden		Prozesswärme ²⁾ 5.000 Volllaststunden	
	neue Bohrung	Altbohrung	neue Bohrung	Altbohrung
Wärmequelle (1.000 DM)	6.137 3)	2.500	6.137 3)	2.500
Wärmetauscher (1.000 DM)	18	18	18	18
Wärmepumpe (1.000 DM)	400	400	400	400
Spitzenlastanlage (1.000 DM)	444	444	555	555
Sonstiges (1.000 DM)	1.114	1.114	1.120	1.120
Zwischensumme (1.000 DM)	8.113	4.476	8.230	4.593
Fernwärmenetz (1.000 DM)	3.920	3.920	200	200
<i>Energiegestehungskosten frei Sonde (DM/kWh)</i>	<i>0,15</i>	<i>0,1</i>	<i>0,1</i>	<i>0,07</i>

- 1) Heizung: Vorlauftemperatur 70°C, Rücklauftemperatur 35°C,
 2) Heizung: Vorlauftemperatur 90°C, Rücklauftemperatur 30°C,
 3) Kosten für 2 Bohrungen

4.5.4 Stand und Förderung der Forschung und Entwicklung

Die von der Bundesregierung geförderte Forschung und Entwicklung zielt auf die Nutzung der Geothermie zur Nutzung der Wärme und zur Erzeugung von Strom ab. Seit vielen Jahren wird dieser Bereich über Forschungsgelder des BMBF bzw. des BMWi unterstützt. Durch die Einrichtung des Zukunftsinvestitionsprogramms (ZIP) konnten die Fördermittel die Jahre 2001 bis 2003 deutlich erhöht werden. Sowohl BMWi als auch BMU fördern aus diesen Mitteln unter anderem F&E-Maßnahmen zur Stromgewinnung aus Geothermie.

Um die Potenziale der Stromgewinnung aus geothermischer Energie abschätzen zu können und geeignete Technologien zu entwickeln, werden in Deutschland gegenwärtig folgende Arbeitsrichtungen verfolgt.

1. HOT – DRY – ROCK – Verfahren (HDR)

Hier geht es um die Schaffung von untertägigen Wärmetauschflächen innerhalb eines undurchlässigen bzw. gering durchlässigen Gebirges für die Zirkulation von Wasser als Wärmeträgerflüssigkeit. Durch sekundäre Maßnahmen, d. h. massive Stimulationen, soll die Durchlässigkeit des Gebirges bedeutend verbessert werden. Für die Zirkulation der Trägerflüssigkeit soll damit ein Kluftsystem zwischen zwei Bohrungen erzeugt werden.

Im Rahmen des Zukunftsinvestitionsprogramms der Bundesregierung werden im Vorhaben Bad Urach, Brandenburg, Forschungsarbeiten gefördert, mit denen der Nachweis geführt werden soll, dass mit geeigneten technologischen Maßnahmen eine geothermische Stromerzeugung unter wirtschaftlichen Bedingungen möglich ist. Die Ergebnisse von Bad Urach sind für große Räume des süddeutschen Raumes repräsentativ. Nutzhorizont sind hier kristalline Gesteine im Bereich von 4.000 – 4.500 m.

Parallel zu Bad Urach werden im Norddeutschen Tiefland in der Bohrung Groß Schönebeck Untersuchungsarbeiten in vulkanischen Gesteinen durchgeführt. Auch hier wird mit dem HDR – Verfahren versucht, die geothermische Energie mittels Wasserzirkulation für die Stromerzeugung zu nutzen. Die Ergebnisse von Groß Schönebeck sind repräsentativ für weite Teile des Norddeutschen Flachlandes.

2) Nutzung hochthermaler Lagerstätten im Sedimentgestein

Die Stromgewinnung aus sedimentären Gesteinen ist an eine sehr gute klüftig – poröse Ausbildung sowie an Temperaturen $> 100^{\circ} \text{C}$ gebunden. Hinzu kommen notwendige Fördermengen von $> 100 \text{ m}^3/\text{h}$. Solche Voraussetzungen können in Deutschland aller Voraussicht nach nur im Oberrheintalgraben und im Voralpenraum von Bayern mit Aussicht auf Erfolg gesucht werden. Es handelt sich hierbei um kalkige Karsthorizonte des Muschelkalkes und Sedimente des Buntsandsteins in Tiefenlagen von 3.000–4.000 m.

Verfahrenstechnisch werden auch hier 2 Bohrungen genutzt, wobei aus einer Bohrung gefördert wird. Das saline Thermalwasser wird über eine Obertageanlage geführt und wieder im Untergrund versenkt. Wichtig hierbei ist die thermodynamische Modellierung des Gesamtprozesses, wobei es sicherlich späterhin auch möglich sein wird, mit mehreren Bohrungen zu arbeiten, vorausgesetzt, die geologisch-geothermischen Bedingungen sind geeignet.

Im ZIP werden Vorarbeiten in einem Projekt in Offenbach, Rheinland-Pfalz, gefördert, welches die Bedingungen im Muschelkalk des Oberrheintalgrabens klären soll. Im bayerischen Molassebecken des Voralpenraumes ist in Unterhaching ein Geothermieobjekt zur Stromerzeugung ebenfalls im Muschelkalk geplant. Da hier gute Möglichkeiten zur Stromproduktion vorzuliegen scheinen, soll zunächst die geophysikalische Voruntersuchung gefördert werden.

Bezüglich des Oberrheintalgrabens wird auf dessen geothermische Nutzung auch in der Koalitionsvereinbarung von Rheinland-Pfalz Bezug genommen, d. h. die Landesregierung sieht hier eines ihrer energiepolitischen Handlungsfelder.

3) Nutzung von Tiefbohrungen als Wärmetauscher für die Verdampfung niedrig siedender Flüssigkeiten zur Stromgewinnung

Der Schwerpunkt der gegenwärtigen Forschung liegt hier im verfahrenstechnischen und bohrtechnischen Teil. Im ZIP wird zu dieser Problematik ein Vorhaben der TU Berlin mit 0,3 Mio. € gefördert.

Als wichtige Aufgabenfelder bei der geothermischen Stromerzeugung sind für die nächste Zeit zu nennen:

Bestimmung und Erhöhung des Ressourcenpotentials

- Verbesserung des Grundlagenwissens über Vorkommen und Eigenschaften der hydrothermalen Reservoirs in Deutschland; Erfassung und Bewertung des der HDR – Technologie zugänglichen geothermischen Potenzials
- Weiterentwicklung bohrtechnischer Aufschlussarbeiten unter geothermischen Erfordernissen, eingeschlossen die Effizienz massiver Stimulationen
- Entwicklung und Verbesserung geologisch-geophysikalischer Methoden zur Erfassung von Hochenthalpielagerstätten; Kartierung der hydrothermalen geothermischen Ressourcen; Neuinterpretation vorhandener Unterlagen
- Verbesserung des Wirkungsgrades und der Effizienz geothermientypischer Obertageanlagen (z. B. ORC)

Kostensenkungsmaßnahmen

- Mehrfach- und Kaskadennutzung
- Technisch wirtschaftliche Optimierung von Produktions-Injektions-Doubletten
- Einsatz fortschrittlicher Technologien bei der Ressourcenerkundung, im bohrtechnischen Prozess und beim Ausbau von Bohrungen
- Senkung des Zeitaufwandes von Erkundung bis Inbetriebnahme
- Nutzungskonzepte für die anfallende Wärmeenergie

4.5.5 Gesamteinschätzung und Ausblick

Im Wärmebereich ist die Nutzung der Geothermie derzeit in Deutschland nur in Ausnahmefällen wirtschaftlich. Zur Stromproduktion beschränken sich die Aktivitäten auf wenige Forschungs- und Pilotprojekte, die nur aufgrund der Förderung und guten Voraussetzungen durchgeführt werden. Auch wenn durch diese Projekte in den kommenden Jahren Strom in das Netz eingespeist werden kann, wird der Anteil des geothermisch erzeugten Stroms zunächst noch relativ gering sein.

Allerdings besteht in Deutschland ein großes erschließbares Geothermie-Potenzial – sowohl für Wärme als auch für Elektrizität – wobei diese Erneuerbare Energiequelle ständig verfügbar ist. Mit Geothermie kann im Winter geheizt und Warmwasser hergestellt sowie in Grundlast Strom produziert werden. Dies macht die Geothermie zu einer zukünftig wichtigen Energiequelle, für deren Nutzung bereits heute entsprechende Mittel zur Verfügung gestellt werden müssen.

Wichtig zur Erschließung dieser Potentiale sind kurzfristig F&E-Maßnahmen sowie verschiedene Demonstrations- und Pilotanlagen. Um diesen wichtigen Bereich möglichst frühzeitig einsatzfähig zu machen, sind ferner geeignete Rahmenbedingungen zu überprüfen, z.B.:

- Durch Gewährung von Steuervorteilen für geothermische Projekte
- Überprüfung des EEG, z. B. im Hinblick auf die hohen Anfangsinvestitionskosten und das zunächst große Bohrrisiko
- Schärfung des Bewusstseins beim Endverbraucher für das hohe Maß an Umweltverträglichkeit geothermischen Stromes
- Aktivitäten von Bundesländern und Kommunen.

4.6 Wasserkraft

Wasserkraft wird in Deutschland bereits seit vorindustriellen Zeiten an geeigneten Gewässern genutzt. Dies gilt für die direkte Krafterzeugung für den Antrieb von Mühlen als auch seit etwa 100 Jahren für die Stromproduktion. Ein besonderer Vorteil der Wasserkraft ist die relativ witterungsunabhängige Verfügbarkeit der Wasserkraft und damit ihre Grundlastfähigkeit, aber auch die Möglichkeit der Spitzenlastdeckung.

Wie bei fast allen Tätigkeiten des Menschen einer modernen Industriegesellschaft kann es auch bei der Wasserkrafterzeugung zu gewissen Beeinträchtigungen der Natur kommen. Hier entsteht teilweise ein Zielkonflikt zwischen Klimaschutz und Gewässer- und Naturschutz. Daher wird eine Steigerung der Wasserkraft in Deutschland vor allem im Ersatz oder der Modernisierung bestehender Anlagen gesehen. Dabei sollte neben einem höheren Stromertrag zugleich auch die gewässerökologische Situation verbessert werden, so dass allen Anliegen Rechnung getragen wird.

4.6.1 Instrumente

Derzeit werden kleine Wasserkraftwerke insbesondere durch das EEG und das Markt-anreizprogramm zur Nutzung Erneuerbarer Energien gefördert, da sie ohne Förderung noch nicht wirtschaftlich sind. Die Einspeisevergütung nach EEG beträgt für Kraftwerke unter 500 kW 7,67 €-Cent/kWh und für Kraftwerke zwischen 500 kW und 5 MW installierter elektrischer Leistung 6,65 €-Cent/kWh.⁴⁶ Die gesamten Vergütungen für eingespeisten Strom aus Wasserkraft durch das Stromeinspeisungsgesetz bzw. das EEG sind in Tabelle 4.10 dargestellt. Im Rahmen des Markt-anreizprogramms zur Nutzung Erneuerbarer Energien können Investitionen in kleine Wasserkraftanlagen durch Förderdarlehen der KfW unterstützt werden. Gefördert wird die Errichtung, Erweite-

⁴⁶ Maßgeblich für die Mindestvergütung ist das EEG. Die hier angeführten Angaben sind unverbindlich.

rung und Reaktivierung von Wasserkraftanlagen bis zu einer installierten, elektrischen Nennleistung von 500 kW. Bis zu den Änderungen der Richtlinie zum MAP vom 23.7.2001 wurden zusätzlich Teilschuldenerlasse im Falle des Neubaus oder der Erweiterung gewährt.

Für die Förderung zum Neubau und zur Reaktivierung von Wasserkraftanlagen werden Angaben aus den Förderkreditzusagen der DtA und aus dem ERP-Umweltprogramm herangezogen. Im Rahmen der Darlehensförderung aus dem Marktanzreizprogramm des Bundes wurden im Jahr 2000 354 Darlehensanträge mit einem Investitionsvolumen von 89,4 Mio. DM bewilligt. Für Wasserkraftanlagen ergeben sich daraus Förderäquivalente allein für das Jahr 2000 in Höhe von 2,1 Mio. DM (DtA). Für die vorangegangenen Jahre ergeben sich allerdings deutlich höhere Werte.

Tab. 4.10: Stromeinspeisung und – vergütungszahlung für Wasserkraftwerke nach dem Stromeinspeisungsgesetz (StrEG) und dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

	StomrEG										EEG
	1991 ¹⁾	1992	1993 ¹⁾	1994	1995 ¹⁾	1996	1997	1998	1999	1-3 2000 ²⁾	4-12 2000
Stromeinspeisung	[GWh]										
Wasserkraft ≤ 500 kW	665		817		849	869	980	1.051	170	3.623	
Wasserkraft > 500 bis 5000 kW	267		389		395	469	591	608	100		
Vergütung	[Mio. DM]										
Wasserkraft ≤ 500 kW	91,7		123,0		130,0	132,6	146,2	154,4	24,4	605	
Wasserkraft > 500 bis 5000 kW	33,5		51,3		52,8	62,6	77,2	78,2	12,5	0	

Quelle für EEG-Angaben: Deutsche Verbundgesellschaft 2001

1) VDEW-Schätzwerte

2) VDEW-Schätzwerte, Vergütung noch nach StrEG, ohne EVU-Anlagen

Im Rahmen des DtA-Umweltprogramms erhöhten sich die Förderkreditzusagen von 1990 bis 2000 (mit Ausnahme 1993) von 0,941 Mio. DM auf 25,7 Mio. DM. Bei den Förderkreditzusagen im ERP-Programm sind große Schwankungen innerhalb der Zeitreihe zu verzeichnen und am Ende der Dekade ist die Tendenz gegenläufig. In Tabelle 4.11 sind die jeweiligen Beträge für die einzelnen Jahre aufgeführt.

Tab. 4.11: Förderkreditzusagen für Wasserkraftprojekte des DtA-Programme in Mio. DM

	im DtA-Umweltprogramm	im DtA-ERP-Programm
1990	0,941	7,473
1991	2,247	9,873
1992	7,164	17,141
1993	10,065	24,352
1994	19,807	40,026
1995	6,669	21,338
1996	10,651	46,692
1997	25,647	55,706
1998	21,260	47,955
1999	24,904	3,387
2000	25,666	0,317

Tab 4.12: Kennzahlen zur Wasserkraft (Quellen: Heimerl/EnBW Ingenieure GmbH, Elektrizitätswirtschaft 2000, VDEW)

EVU-Anlagen				Nicht-EVU-Anlagen			Gesamt				
Jahr	Anzahl	Leistung (MW)	Stromerzeugung (GWh)	Anzahl	Leistung (MW)	Stromerzeugung (GWh)	Anzahl	Leistung (MW)	Stromerzeugung (GWh)	KEW ¹⁾ %	Regelarbeitsvermögen (GWh)
1990	649	4.017	14.633	3.719	386	947	4.368	4.403	15.580	92	16.999
1991 ²⁾	663	3.989	12.605	(3.719)	(386)	(947)	4.382	4.374	13.552	83	16.328
1992	660	3.963	14.930	4.031	440	999	4.691	4.404	15.929	99	16.090
1993 ²⁾	661	4.080	15.266	(4.030)	(440)	(999)	4.691	4.520	16.264	100	16.264
1994	667	4.076	16.228	4.330	453	1.271	4.997	4.529	17.499	105	16.666
1995 ²⁾	672	4.068	17.451	(4.330)	8453	(1.271)	5.002	4.521	18.722	110	17.020
1996	677	4.071	14.828	4.622	492	1.323	5.299	4.563	16.152	97	16.652
1997	661	4.054	14.293	4.800	524	1.471	5.461	4.578	15.764	94	16.770
1998	657	4.054	15.601	5.052	547	1.663	5.709	4.601	17.264	96	17.983
1999	657	4.054	17.918	4.963	493	1.790	5.620	4.547	19.708	111	17.755
2000									20.683 ³⁾	115 ³⁾	17.826
2001									19.825 ⁴⁾		

Angaben inkl. Leistung von Pumpspeicherwerken und Netto-Erzeugung aus natürlichem Zufluss

- 1) Der Koeffizient der Erzeugungsmöglichkeit aus Wasserkraft KEW ist der Quotient aus jährlicher Erzeugung und dem Regelarbeitsvermögen der Wasserkraftwerke, $KEW = \text{Ist} / \text{RAV}$
- 2) Die Daten der Nicht-EVU-Anlagen wurden zeitweise nur alle zwei Jahre erhoben, sodass die Werte des Vorjahres verwendet werden müssen
- 3) Persönliche Auskunft vom VDEW 2002
- 4) Erste Abschätzung (Quelle: DIW 2002)

Auf Landesebene erfolgt die Förderung von Wasserkraftanlagen derzeit in fünf Bundesländern. Nachfolgend werden die unterschiedlichen Konditionen aufgeführt:⁴⁷

Brandenburg:

Zuschuss bis zu 25%, max. 383.469 €.

Niedersachsen:

Zinsgünstige Darlehen bis 50% der zuwendungsfähigen Ausgaben; bei einer Nennleistung bis 500 kW.

Nordrhein-Westfalen:

Bis 1.000 kW installierter Leistung; Zuschuss bis 25%, bis 10.000 DM/kW.

Rheinland-Pfalz:

Laufwasserwerke, Zuschuss 1.500 DM/kW neu errichteter installierter Nennleistung, 307 €/kW erweiterter oder reaktiverter, max. 20%, höchstens 102.258 €.

Thüringen:

Zuschuss bis 35 kW: 1.000 DM/kW, 35-100kW: 383,47 €/kW, über 100 kW und bei Ausbau und Modernisierung: mind. 7669,38 €, max. 102.258 €.

4.6.2 Entwicklung der Nutzung und Potenziale

Etwa 20 TWh pro Jahr bzw. rund 4% des Stroms in Deutschland stammen aus der Wasserkraftnutzung. Trotz des starken Zuwachses bei der Nutzung der Windkraft ist die Wasserkraft derzeit noch immer die bedeutendste regenerative Energiequelle im Strombereich. Sie dürfte etwa im Jahr 2003 von der Windbranche überholt werden.

Der größte Teil des Stroms aus Wasserkraft stammt aus Anlagen mit einer Leistung von mehr als 10 MW. Die Ende des Jahres 2000 in Deutschland existierenden etwa 5.500 Kleinwasserkraftanlagen (<1 MW) hatten einen Anteil an der Stromerzeugung aus Wasserkraft von etwa 8%. Das Regelarbeitsvermögen beträgt etwa 1,3 TWh/a. Anlagen zwischen 1 und 10 MW produzieren mit 4,2 TWh/a etwa 25% des gesamten Stroms aus Wasserkraft (siehe Abb. 4.13).

⁴⁷ Stand Oktober 2001.

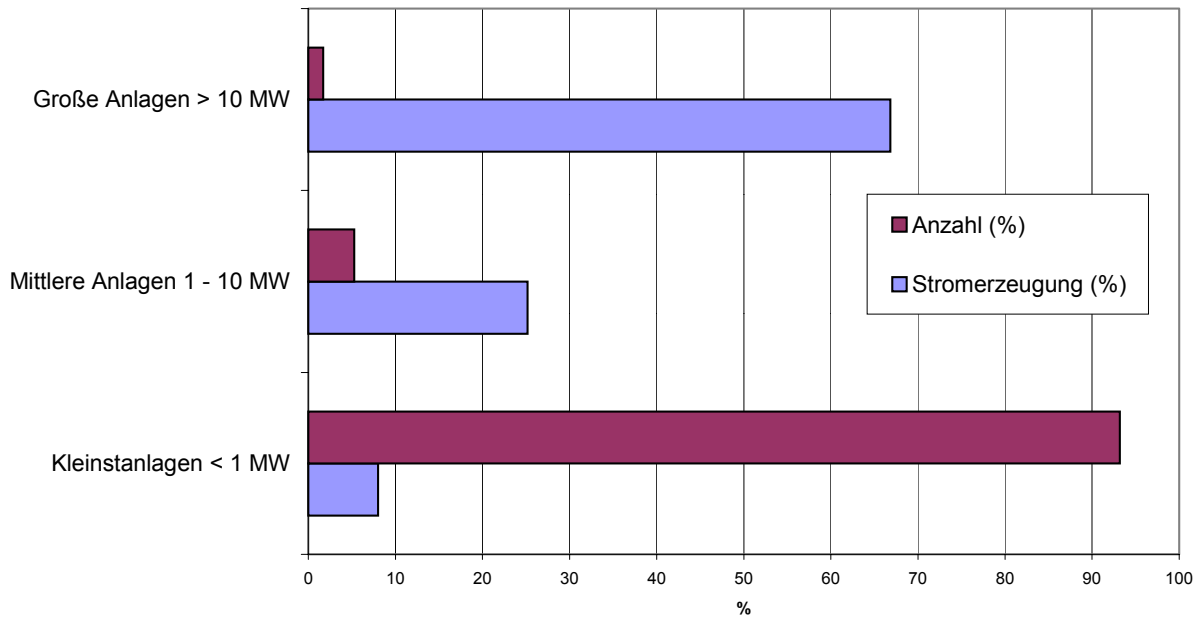


Abb. 4.13: Struktur des Anlagenbestandes und der Stromerzeugung aus Wasserkraft im Jahr 2000 nach Leistungsklassen (ohne Pumpspeicherkraftwerke mit natürlichem Zufluss)

Beim Ausbau der Wasserkraft besteht insbesondere bei neuen Anlagen ein Zielkonflikt zwischen Klimaschutz einerseits und Gewässer- und Naturschutz andererseits. Gerade die kleinen Fließgewässer in Deutschland sind in vielen Fällen naturnah und daher als Ökosysteme besonders schützenswert. So sollte bei Maßnahmen zur Erhöhung des Stromertrages aus der Nutzung der Wasserkraft u.a. darauf geachtet werden, dass die Durchgängigkeit für Wanderfische von den Weltmeeren bis in die naturnahen kleinen Fließgewässer zu gewährleisten ist, damit sich dort naturnahe Populationen erhalten können. Die wichtigsten Potenziale zur Steigerung der Stromproduktion aus Wasserkraft in Deutschland liegen daher im Ersatz und der Modernisierung von vorhandenen Anlagen. Dabei sollten sowohl der Stromertrag als auch die Gewässerökologische Situation verbessert werden.

Die Nutzung der Wasserkraft ist in Deutschland durch das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) an strenge gewässerökologische Vorgaben gebunden. Sowohl im WHG als auch in der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) wird eine ganzheitliche ökosystematische Betrachtungsweise des Gewässers und des Einzugsystems betont. Darüber hinaus hat die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) in einem Bericht vom Juli 2001 Empfehlungen zu Grundsätzen darüber aufgestellt, wie der Betrieb für die genutzten Gewässer verträglich gestaltet werden kann, damit das Ökosystem Fließgewässer nicht über das verträgliche Maß hinaus beeinträchtigt wird.

Unter technologischen Gesichtspunkten ist die Nutzung der Wasserkraft seit geraumer Zeit weitestgehend ausgereift. Wirkungs- und Nutzungsgrade, technische Verfügbarkeit sowie technische Lebensdauer neuer Anlagen sind sehr hoch. Bei älteren Anlagen sind noch erhebliche Potenziale durch eine Modernisierung vorhanden. In Verbindung mit einer Modernisierung und einem Ausbau können neben der Steige-

zung der Stromproduktion die gewässerökologischen Bedingungen bei entsprechenden Vorgehensweise verbessert werden.

Bei den in Deutschland vorherrschenden natürlichen Gefälleverhältnissen ist die Wasserkraftnutzung nicht überall möglich. Mehr als drei Viertel des technisch nutzbaren Potenzials liegen in Bayern und Baden-Württemberg. Im Norden der Bundesrepublik Deutschland bestehen kaum Möglichkeiten der Stromerzeugung durch Wasserkraft. Das mit der heutigen Technik nutzbare Potenzial ist schon zu etwa 75% erschlossen.

Tab. 4.13: Wasserkraftpotenziale und ihre Ausschöpfung in Deutschland 1999. Lauf- und Speicherwasser (Quelle: Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau, Giesecke und Heimerl 1999, Staiß 2001)

	technisch nutzbares Wasserkraftpotenzial	genutztes Wasserkraftpotenzial bei Regelar- beitsvermögen ⁴⁸			
		Anlagen >1MW		gesamt	
	[GWh/a]	[GWh/a]	[%]	[GWh]	[%]
Baden-Württemberg	6.294	3.952	63	4.268	68
Bayern	14.400	11.769	82	12.710	88
Brandenburg/Berlin	101	4	4	4	4
Hessen	815	278	34	301	37
Mecklenburg-Vorpommern	45	2	5	2	5
Niedersachsen	350	248	71	268	76
Nordrhein-Westfalen	700	364	52	393	56
Rheinland-Pfalz	1.500	940	63	1.016	68
Saarland	169	160	95	173	102
Sachsen	320	73	23	79	25
Sachsen-Anhalt	362	25	7	27	7
Schleswig-Holstein	10	5	52	5	52
Thüringen	414	36	9	39	9
Deutschland gesamt	ca. 25.480	ca. 17.856	ca. 70	ca. 19.284	ca. 75

4.6.3 Kostenentwicklung

Zu Kostenentwicklungen von Wasserkraftanlagen gibt es unterschiedliche Angaben. Die Tabellen 4.15 und 4.16 sind dem Jahrbuch Erneuerbare Energien 2001 entnommen und sollen als Orientierungswerte über Investitions- und Energiegestehungskosten von Wasserkraftwerken sowohl für Neuanlagen als auch für die Anlagenreaktivierung verstanden werden. Diese Berechnungen können aber nur exemplarisch die Größenordnung der Kosten darstellen. Nach örtlichen Gegebenheiten können die Kosten stark davon abweichen.

⁴⁸ Für 1999 wurde das gleiche Regelarbeitsvermögen wie 1998 unterstellt. Hierbei wird in Ergänzung zu den Angaben des VDEW auch der nicht ins öffentliche Netz eingespeiste Strom aus Kleinwasseranlagen berücksichtigt. Es gibt allerdings in diesem Bereich keine vollständige Erfassung.

Tab. 4.14: Stromeinspeisung aus Wasserkraft nach Bundesländern 1999 (Quelle: Elektrizitätswirtschaft 2000)

	EVU-Anlagen 1) [GWh/a]	Nicht-EVU-Anlagen 2)	Gesamt	allgemeine Versorgung 3)	Anteil [%]
Baden-Württemberg	4.635	259	4.893	59.785	8,18
Bayern	11.255	871	12.126	67.613	17,93
Berlin	-	-	-	13.850	-
Brandenburg	2	15	17	13.666	0,12
Bremen	-	-	-	5.364	-
Hamburg	-	-	-	12.692	-
Hessen	255	113	368	32.570	1,13
Mecklenburg-Vorpommern	2	4	6	6.249	0,09
Niedersachsen	187	91	278	46.544	0,60
Nordrhein-Westfalen	384	96	480	133.834	0,36
Rheinland-Pfalz	932	26	958	25.911	3,70
Saarland	65	60	125	7.121	1,76
Sachsen	39	186	226	18.494	1,22
Sachsen-Anhalt	14	32	46	13.655	0,34
Schleswig-Holstein	8	1	9	13.019	0,07
Thüringen	140	38	178	10.175	1,75
Deutschland gesamt	17.918	1.790	19.708	480.542	4,10

1) Ohne Erzeugung aus Pumpwasser in Pumpspeicherkraftwerken

2) Nicht-EVU-Anlagen (Fremdeinspeiser)

3) Stromverbrauch einschließlich Netzverluste aus dem Netz der allgemeinen Versorgung AVG

Tab. 4.15: Investitions- und Energiegestehungskosten von Wasserkraftwerke (Orientierungswerte für den Anlagenneubau, Quelle: Staiß 2001)

		Kleinstanlagen	Kleinanlagen	Mittelgroße Anlagen
Installierte Leistung	kW	70	300	1.000
Vollastbenutzungstunden	h/a	4.500	5.000	5.500
Ertrag	Mio. kWh/a	0,32	1,5	5,5
Investitionskosten	Mio. DM	1,2	4,5	10,5
Spez. Investitionskosten	DM/kW	17.500	15.000	10.500
Nutzungsdauer	Jahre	30	30	30
Zins p.a.	%	6	6	6
Kapitalkosten	DM/(kWh*a)	1.271	1.090	763
Betriebskosten	Mio. DM/a	0,03	0,11	0,26
Spez. Betriebskosten	DM/(kW*a)	428	375	263
Energiegestehungskosten	DM/kWh	0,37	0,29	0,19

4.6.4 Stand und Förderung der Forschung und Entwicklung

F&E-Schwerpunkte liegen bei der verstärkten Nutzung der Wasserkraft liegen in der Erhöhung der Stromausbeute kleinerer Wasserkraftwerke und in der Nutzung von Meeresströmungen.

Im Jahr 2000 wurden insgesamt 4,4 Mio. DM für die Forschungs-Förderung verwendet. Im Jahr 2001 waren dafür 4,0 Mio. DM vorgesehen.

4.6.5 Gesamteinschätzung und Ausblick

Mit einem Beitrag von rund 4% zur Produktion von Strom ist die Wasserkraft noch der wichtigste Erneuerbare Energieträger bei der Stromproduktion. Da allerdings die Potenziale in Deutschland bereits zu rund ¾ ausgenutzt werden, wird die Wasserkraft diese herausgehobene Position in absehbarer Zeit verlieren. Nach derzeitigem Stand dürfte sie etwa im Jahr 2003 von der Windkraft überholt werden. Aufgrund ihrer Grundlastfähigkeit wird die Wasserkraft aber langfristig eine unverzichtbare Position behalten.

Das größte Potenzial zur Steigerung der Stromproduktion mit Wasserkraft liegt im Einsatz und in der Modernisierung vorhandener Anlagen. Dieses Potenzial wird auf 20% der gegenwärtigen Stromerzeugung durch Wasserkraft, d.h. rund 7.000 GWh bzw. rund 1,4% des Stromverbrauches im Jahr 2000, geschätzt. Da hier neben der Erhöhung des Stromertrags gleichzeitig die gewässerökologischen Bedingungen verbessert werden können, ist dies gut mit Gewässer- und Naturschutzbelangen zu vereinen. Eine Lösung sollte bei der Finanzierung des Ersatzes und der Modernisierung von alten und großen Wasserkraftanlagen gefunden werden, da diese derzeit weder durch das EEG noch durch das Marktanzreizprogramm zur Nutzung Erneuerbarer Energien gefördert werden. Mit den am liberalisierten Strommarkt erzielbaren Strompreisen, lässt sich die Modernisierung und der Einsatz dieser Wasserkraftanlagen i.d.R. nicht finanzieren. Obwohl die Stromgestehungskosten niedriger sind als bei kleinen Wasserkraftwerken, droht bei großen Wasserkraftwerken deshalb sogar ein Rückgang der Stromerzeugung. Aus Sicht des Gewässerschutzes und der Nutzung der Erneuerbaren Energien ist es daher zu bedenken, dass gegenwärtig nur die Wasserkraftnutzung kleiner und kleinster Wasserkraftwerke gefördert wird, nicht jedoch auch bei Bedarf Modernisierung und Ersatz größerer Wasserkraftanlagen.

5 Überblick über die Wirkung der Instrumente auf die einzelnen Sparten der Erneuerbaren Energien

Die vom Bund eingesetzten Instrumente haben auf die verschiedenen Sparten der Erneuerbaren Energien unterschiedliche Wirkungen ausgeübt. Die intensivste direkte Wirkung auf deren verstärkten Ausbau hat das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) zusammen mit der Biomasseverordnung. Da sich das EEG auf die Stromproduktion durch Erneuerbare Energien bezieht, wird dieser Bereich am stärksten gefördert und verzeichnet das stärkste Wachstum. Dabei wird auch ein Teil der Wärmenutzung mit erschlossen, soweit es sich um KWK-Anlagen handelt.

Neben dem EEG hat insbesondere das Marktanreizprogramm zur Nutzung Erneuerbarer Energien (im Folgenden Marktanreizprogramm) direkte Auswirkungen auf deren verstärkte Nutzung. Es richtet sich vorrangig auf die Wärmebereitstellung durch Erneuerbare Energien. Durch das Marktanreizprogramm ist vor allem bei der Nutzung von Biomasse und Solarkollektoren zur Wärmebereitstellung ein deutliches Wachstum des Zubaus zu erkennen. Dieses relative Wachstum geht allerdings von einem deutlich niedrigeren Ausgangsniveau aus und ist absolut betrachtet deutlich geringer als im Strombereich.

Die Steigerung der Förderung der Erneuerbaren Energien zwischen 1996 und 2002 durch das EEG und Marktfördermaßnahmen ist in Tabelle 5.1 zusammengestellt.

Tab. 5.1: Einspeisevergütungen nach dem Stromeinspeisungsgesetz bzw. dem EEG und Förderung der Nutzung Erneuerbarer Energien durch Investitionsprogramme aus dem Bundeshaushalt (bis 2001 in Mio. DM, ab 2002 in Mio. €)

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1) Vergütung nach StrEG bis 3/2000, nach EEG ab 4/2000⁴⁹	588	788	1.078	1.250	569+ 1.653 ⁵⁰	2.700 ⁵¹	1.680 ⁵²
2) Staatliche Investitionsförderung							
Marktanreizprogramm EE ⁵³	18	18	18	200	200	300	200
100.000 Dächer-Solarstrom-Programm				180	220	220	113
Programm biogene Treib- und Schmierstoffe ⁵⁴					5	20	10
Zwischensumme (nur 2)	18	18	18	380	425	540	323

⁴⁹ Genannt ist hier die Vergütung nach StrEG bzw. EEG. Die Förderung ist erheblich geringer, entsprechend der Differenzierung nach anlegbaren Kosten.

⁵⁰ 1-3 2000: 569 Mio. DM, 4-12 2000: 1.653 Mio. DM.

⁵¹ Abschätzung der Deutschen Verbundgesellschaft, Stand 15.11.2001.

⁵² Abschätzung des Verbundes Deutscher Netzbetreiber, 2001.

⁵³ Marktanreizprogramm zur Nutzung erneuerbarer Energien der Bundesregierung.

⁵⁴ Markteinführungsprogramm des Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft „Biogene Treib- und Schmierstoffe“.

Weiterhin unterstützt die Bundesregierung verstärkt die Forschung und Entwicklung im Bereich der Erneuerbaren Energien, was für die Begleitung des Ausbaus und die zukünftigen Entwicklung auf absehbare Zeit von großer Bedeutung ist.

Ökologische Steuerreform als Querschnittsmaßnahme

Direkte Wirkungen entfaltet die Ökologische Steuerreform (ÖSR) im Wärmebereich durch den verstärkten Einsatz von Solarkollektoren und Biomasse aufgrund gestiegener Preise für fossile Heizstoffe. Im Kraftstoffbereich ist der Absatz des unbesteuernten Biodiesels stark gestiegen. Ferner wird im Strombereich die Eigenerzeugung aus Erneuerbaren Energien durch die Steuerbefreiung gefördert, ebenso die Erzeugung durch Erneuerbare Energien in Zusammenhang mit Energieleister-Contracting bis zu einer Nennleistung von 2 MW.

Die Wirkung im Strombereich ist jedoch eingeschränkt, da die wichtigsten Primärenergieträger zur Stromproduktion über die Stromsteuer nur indirekt erfasst werden. Zudem sind im Wärmebereich – also bei Erdgas und Heizöl - der ersten Stufe bisher keine weiteren gefolgt. Die Entscheidung für ein neues System zu Nutzung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich wird ferner für Investoren erschwert, da insgesamt die Preisentwicklung für Endkunden und Investoren schwer einschätzbar ist. Dennoch leistet die ÖSR durch ihre erste Stufe einen bedeutenden Beitrag, um den Einsatz von Erneuerbaren Energien im Wärmebereich attraktiver zu machen.

Die Wirkung der genannten Maßnahmen auf die einzelnen Sparten der Erneuerbaren Energien wird im Folgenden getrennt nach Stromerzeugung, Wärme- und Kraftstoffnutzung zusammenfassend dargestellt.

Stromerzeugung

Entsprechend der national und international anerkannt hervorragenden Wirkung des EEG ist insbesondere im Strombereich ein Vormarsch der Erneuerbaren Energien erkennbar.

Dies wird insbesondere daran deutlich, dass sich der seit Anfang der 90er Jahre eingesetzte Aufschwung der Windenergienutzung durch das EEG weiter verstärkte. Die Windenergie lieferte im Jahr 2000 rund 9.200 GWh Strom (28% des Stroms aus EE) bzw. 33,1 PJ Primärenergie (19,5% des PEV der EE). Der Zuwachs der Windenergie lag im Jahr 2000 bei 13,2 PJ. Im Jahr 2001 wurden 2079 weitere Windenergieanlagen mit einer Leistung von knapp 2.700 MW aufgestellt. Damit werden bereits rund 10 Mio. t CO₂-Emissionen vermieden. Gefördert wird die Windkraftnutzung vor allem durch das EEG. Inzwischen existiert in Deutschland eine leistungsstarke Industrie, die immer leistungsstärkere, aber auch bezüglich Vogelschutz, Geräuschentwicklung oder Lichtreflektionen umweltfreundlichere Anlagen auf den Markt bringen. Damit ist Deutschland führend in der Windenergienutzung. Die rechtlichen, technischen und wirtschaftlichen Bedingungen für die Ausweitung der Windenergienutzung auf die Nord- und Ostsee wurden und werden konsequent verbessert, so dass in wenigen Jahren die ersten Anlagen auf See aufgestellt werden können. Damit werden aktuell die Bedingungen geschaffen, damit in den kommenden Jahren die Windkraft unter den Erneuerbaren Energien an die erste Stelle rückt und damit die Wasserkraft ablöst. Dies dürfte etwa im Jahr 2003 erfolgen.

Für die Biomasse bestanden bis zur Verabschiedung der BiomasseV im Sommer 2001 noch nicht ausreichend sichere rechtliche Regelungen für umfangreiche Investitionen. Daher beginnt das Wachstum in diesem Segment erst jetzt. Biomasse, die von allen Sparten der Erneuerbaren Energien am vielfältigsten einsetzbare Energiequelle, kann in allen Formen – fest, flüssig und gasförmig – in Strom und andere Nutzenergieformen umgewandelt werden. Sie kann ferner für die Grund- und Spitzenlast eingesetzt werden. Neben dem seit längerem zur Stromproduktion verwendeten Deponiegas ist innerhalb der Biomasse das Biogas die derzeit wichtigste Form für die Stromproduktion. Die gesamte Biomasse lieferte im Jahr 2000 etwa 1.600 GWh Strom und hatte damit einen Anteil von rund 5% an der Stromerzeugung durch Erneuerbare Energien. Der Anteil am Primärenergieverbrauch durch Erneuerbare Energien lag ebenfalls bei rund 5%.⁵⁵ Das Potenzial der Biomasse liegt deutlich höher. Das EEG und das Marktanreizprogramm unterstützen die Nutzung dieser Potenziale.

Die solare Stromproduktion wird in Deutschland ausschließlich durch die Photovoltaik durchgeführt. Forschung wird im Bereich der Photovoltaik und der solarthermischen Stromerzeugung (geeignet für südliche, sonnenreiche Länder) gefördert. Aufgrund der nach wie vor sehr hohen Stromgestehungskosten lag der Anteil der Photovoltaik an der Stromproduktion durch Erneuerbare Energien im Jahr 2000 mit rund 0,3 Promille noch gering. Allerdings gibt es – ausgehend von einem sehr niedrigen Niveau – aufgrund des EEG und des 100.000-Dächer-Solarstrom-Programms ein sehr starkes Wachstum der Nutzung. Im Jahr 2001 wurde mit 65 MW_p etwa die 4-5-fache PV-Leistung in Deutschland installiert als jeweils in den Jahren 1996-1998. Aus jetziger Sicht dürften im Jahr 2003 bzw. 2004 insgesamt 350 MW_p durch PV-Anlagen erreicht werden. Am Ende des Jahres nach Erreichen dieser 350-MW-Grenze entfällt entsprechend dem EEG die Vergütungsverpflichtung für neue PV-Anlagen. Mit dem Wachstum einhergehend findet ein deutlicher Ausbau der Produktionskapazitäten in Deutschland statt. Ferner werden Erfolge in der Forschung und Entwicklung verzeichnet. Dies und der Einstieg in die Massenproduktion mit den derzeit in Bau bzw. Planung befindlichen Produktionsanlagen in Deutschland können vermutlich Preissenkungen möglich machen. Diese Entwicklung in der PV-Branche ist auch deshalb von Bedeutung, da Deutschland seine Position auf diesem wichtigen Weltmarkt in der letzten Zeit gestärkt hat und weiter stärken kann.

Die Geothermie hat in Deutschland hohe Potenziale und die strukturelle wichtige Eigenschaft, witterungs- und saisonunabhängig zur Verfügung zu stehen und damit zur Grundlastversorgung beitragen zu können. Der hohen Bedeutung dieser Sparte stehen nach wie vor insbesondere hohe Investitionskosten gegenüber. Aufgrund des Standes der Technik sind allerdings bislang vor allem F&E-Arbeiten sowie verschiedene Demonstrations- und Pilotanlagen in diesem Bereich notwendig, um die Grundlagen für eine stärkere Nutzung der Geothermie herzustellen. Während die thermische Nutzung bereits in geringerem Umfang eingesetzt wird, können bei entsprechenden Voraussetzungen erste Anlagen zur Stromproduktion aus Geothermie in Deutschland erst in wenigen Jahren in Betrieb gehen. Im Zukunftsinvestitionsprogramm des BMU werden einige Geothermieranlagen zur Stromproduktion unterstützt.

⁵⁵ Angaben nach AG Energiebilanzen 11-2001. Aufgrund der Anwendung der Wirkungsgradmethode bei der Bestimmung der entsprechenden Primärenergie.

Im Gegensatz zur Geothermie und der Solarenergie wird die Wasserkraft in Deutschland traditionell seit etwa 100 Jahren zur Stromproduktion eingesetzt. Entsprechend existieren zahlreiche große, mittlere und kleine Wasserkraftanlagen, die im Jahr 2000 ca. 4% der Stromversorgung bereitstellten (rund 22.000 GWh oder 67% der Stromproduktion durch EE bzw. 25% des PEV der EE). Da insgesamt bereits ca. 75% des Potentials der Wasserkraft in Deutschland ausgenutzt werden, sind große zusätzliche Potenziale nicht vorhanden. Das Potenzial lässt sich vor allem durch den Ersatz und die Modernisierung vorhandener Anlagen steigern. Damit sollen gleichzeitig die Stromerträge erheblich gesteigert sowie die gewässerökologische Situation verbessert werden. Daher gilt vor allem, die weitere Nutzung vorhandener Anlagen mittel- und langfristig zu sichern und deren Effizienz zu verbessern. Während allerdings kleine Wasserkraftanlagen durch das EEG und das Marktanreizprogramm gefördert werden, ist derzeit kein Instrument vorhanden, welches sich auf den Bereich der großen Wasserkraftwerke bezieht. Da die Wasserkraft sowohl zur Deckung der Grundlast als auch teilweise der Spitzenlast beitragen kann, ist die umwelt- und naturschutzverträgliche Nutzung dieser Potenziale besonders wichtig.

Wärmenutzung

Die Energienutzung zu Wärmezwecken hat einem Anteil am Endenergieverbrauch von rund 58%. Die Förderung der Erneuerbaren Energien im Wärmebereich ist allerdings strukturell schwieriger als deren Förderung bei der Stromproduktion, da ein mit der Einspeiseregulierung im Strombereich vergleichbar effektives Instrument hier schwieriger zu realisieren ist. Ferner liegt das Ausgangsniveau der Nutzung der Erneuerbaren Energien im Wärmebereich – mit Ausnahme der traditionellen Holzverbrennung zur Wärmebereitstellung - deutlich niedriger. Daher bleiben die absoluten Zuwächse weit hinter dem Wachstum im Strombereich zurück. Daher ist für diesen Bereich das Verdopplungsziel der Bundesregierung besonders anspruchsvoll, auch wenn es bereits deutliche Steigerungen beim Zubau von modernen Anlagen gibt.

Obwohl die Biomasse für alle Nutzenergieformen hervorragend einsetzbar ist, wird sie derzeit zu etwa 95% im Bereich der Wärmebereitstellung verwendet und lieferte dort im Jahr 2000 rund 42.300 GWh Endenergie. Damit lieferte die Biomasse – bezogen auf den gesamten Primärenergieverbrauch – einen Anteil von rund 50% der Erneuerbaren Energien. Die Wärmebereitstellung durch Biomasse findet überwiegend in kleinen Anlagen und traditionell statt. Neue Anlagen wie beispielsweise automatische Pelletheizungen müssen den Markt erst durchdringen, eine entsprechende Wirtschaftsbranche muss sich noch weiter ausbilden. Dies wird insbesondere durch das Marktanreizprogramm unterstützt. Ferner wird über das EEG und die Biomasseverordnung die Wärmebereitstellung durch mit Biomasse betriebene Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen gefördert. Genaue Aussagen über die Entwicklung in diesem Bereich sind derzeit noch nicht zu treffen.

Auch bei der Nutzung der Sonnenenergie durch Solarkollektoren muss eine Marktdurchdringung und die Ausbildung einer leistungsfähigen Wirtschaftsbranche noch stattfinden. Die Branche verzeichnete im Jahr 2000 ein deutliches Wachstum von 0,84 PJ auf knapp 4,7 PJ Primärenergie bzw. rund 1.200 GWh Endenergie pro Jahr. Dies entspricht einer Steigerung von knapp 20% und einem Anteil an der Wärmebereitstellung durch Erneuerbare Energien von rund 2,5%. Der Anteil am Primärenergieverbrauch aller Erneuerbaren Energien liegt bei rund 1,5%. Die Steigerungen sind ins-

besondere durch das Marktanzreizprogramm gefördert worden und sind im Jahr 2001 um weitere 50% - bezogen auf den Zubau – gestiegen. Die Solarbranche erwartet, dass im Jahr 2010 – bei geeigneten Rahmenbedingungen - 10 Mio. m² Solarkollektoren in Deutschland installiert werden. Bei einer solchen Entwicklung würden im Jahr 2010 insgesamt durch Solarkollektoren rund 100 PJ Primärenergie bzw. rund 5,7 Mio. t CO₂ eingespart werden. Damit etabliert sich die Kollektortechnik in den Handwerksbetrieben und der Bauindustrie, was für eine weitere Verbreitung entscheidend ist. Nachdem der Großteil der Solarkollektoranlagen zur Wärmenutzung bisher auf Einfamilienhäusern installiert wurden und überwiegend nur die Warmwasserbereitung (ca. 10% des Wärmebedarfs im Gebäudebereich) abgedeckt hat, fördert die Bundesregierung 100 Großanlagen, die sowohl zur Warmwasserbereitung als auch zumindest anteilig die Raumheizung (ca. 90% des Wärmebedarfs im Gebäudebereich) abdeckt. Dabei werden große Erdwärmespeicher eingesetzt, die den zeitlichen Unterschied zwischen der größten Verfügbarkeit von Sonnenenergie und der Nachfrage nach Wärme ausgleichen.

Die Nutzung der Geothermie steht in Deutschland erst am Anfang. Der Beitrag an der Wärmeleistung der Erneuerbaren Energien lag im Jahr 2000 bei rund einem Prozent, der Anteil am Primärenergieverbrauch aller Erneuerbaren Energien lag bei gut 0,5%. Dieser Anteil sollte deutlich vergrößert werden, insbesondere da die Geothermie aufgrund ihrer Unabhängigkeit von Jahreszeiten und Witterungsbedingungen eine außerordentlich hohe Versorgungssicherheit bietet und in nahezu unbegrenzter Menge zur Verfügung steht. Größtes Hindernis für einen zügigen Ausbau der Geothermie sind allerdings die heute noch hohen Investitionskosten und des Bohrrisikos. Es ist wichtig, insbesondere zur Stromerzeugung und zum KWK-Einsatz F&E-Vorhaben sowie eine Reihe von Demonstrations-Anlagen für verschiedene geologische Formationen und Anlagentypen durchzuführen.

Kraftstoffe

Derzeit ist innerhalb der Sparten der Erneuerbaren Energien nur die Biomasse im Bereich der Kraftstoffe vertreten. Aus Erneuerbaren Energien hergestellter Wasserstoff ist bislang nicht erhältlich. Biodiesel hatte im Jahr 2000 mit 14,5 PJ einen Anteil von rund 0,5% der im Verkehrsbereich verbrauchten Kraftstoffe. Er wird durch die Befreiung von der Mineralölsteuer gefördert; der Effekt steigt durch die Erhöhungen durch die Stufen der Ökologische Steuerreform. Mischungen von biogenen mit anderen Kraftstoffen sind allerdings nicht steuerbegünstigt.

Die dargestellte Entwicklung der verschiedenen Erneuerbaren Energieträger, bezogen auf den jeweiligen Verwendungszweck, belegt den außerordentlichen Erfolg des Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG) im Strombereich. Das EEG gewährt den Investoren über viele Jahre hinweg klare und sehr positive Rahmenbedingungen, was notwendig ist, um eine leistungsfähige Industrie zu etablieren und Investoren für die Errichtung dieser Anlagen zu gewinnen. Durch die Ausgestaltung des EEG gelingt dies ferner, ohne damit den staatlichen Haushalt zu belasten bzw. den Strompreis in nennenswertem Maße zu erhöhen. Ein vergleichbares Instrument für den Wärmebereich fehlt.

Das Marktanreizprogramm zur Nutzung Erneuerbarer Energien (MAP) hat ebenfalls zu einer deutlich merkbaren Zunahme des Ausbaus der Erneuerbaren Energien im Wärmebereich geführt. Um jedoch durch das Marktanreizprogramm einen jährlichen Zubau zu erreichen, der mit dem durch das EEG induzierten Zubau vergleichbar ist, müsste sein Volumen um eine Größenordnung höher liegen als derzeit. Somit kann diese Art der Förderung nur den Anreiz für den Markt geben, der anteilig mit dazu beitragen kann und wird, die einschlägigen Rahmenbedingungen dahingehend zu verändern, dass mittel- und langfristig auch ohne eine direkte staatliche Förderung bei Investitionen auf die Erneuerbaren Energiequellen zurückgegriffen wird. Da das Potenzial gerade auch im Wärmebereich groß und die Technik zum großen Teil ausgereift ist, sollte hier zügig nach entsprechenden Rahmenbedingungen gesucht werden. Denn derzeit wird von jährlich ca. 400.000 modernisierten Heizungs- und Warmwasseranlagen noch der überwiegende Anteil auch nach der Modernisierung mit fossilen Energieträgern betrieben. Diese werden für ca. 20 weitere Jahre fossile Energien verbrennen und entsprechende CO₂-Emissionen verursachen, obwohl bereits heute die technischen Möglichkeiten vorhanden sind, auf Erneuerbare Energieträger umzustellen.

Tab. 5.2: Vergleich der Energiebereitstellung durch die verschiedenen Sparten der Erneuerbaren Energien und der damit vermiedenen CO₂-Emissionen im Jahr 2000

Erneuerbare Energiequelle	Primärenergieverbrauch (PEV)		Vermiedene CO ₂ -Emissionen ⁵⁶ (Mio. t)
	(TJ)	(Mrd. kWh)	
Biomasse fest	165.100	45,90	8,5
Biogas	15.700	4,36	1,1
Biokraftstoffe	14.740	4,10	1,2
Geothermie (Wärme)	1.700	0,47	0,1
Solare Wärme	4.700	1,31	0,25
Solarer Strom	300	0,08	0,07
Wasserkraft	79.000	21,96	17,5
Windkraft	33.100	9,20	7,4
<i>Summe</i>	<i>314.340</i>	<i>87,39</i>	<i>36,2</i>

⁵⁶ Für die Berechnung der vermiedenen CO₂-Emissionen wurde bei der Stromproduktion als Faktor der Durchschnittswert von 0,8 kg CO₂/kWh_{el} angewendet. Abhängig von der Annahme, welche Primärenergieträger zur Stromproduktion substituiert werden, schwankt dieser Wert um rund ± 20%. Bei der Wärmenutzung aus Erneuerbaren Energien wurde die Substitution konventioneller Energieträger im Heizbereich angenommen. Der Faktor für die verschiedenen CO₂-Emissionen beträgt hier 0,20 kg CO₂/kWh. Bei der Substitution im Kraftstoffbereich wurde von der Vermeidung von 0,3 kg/kWh ausgegangen.

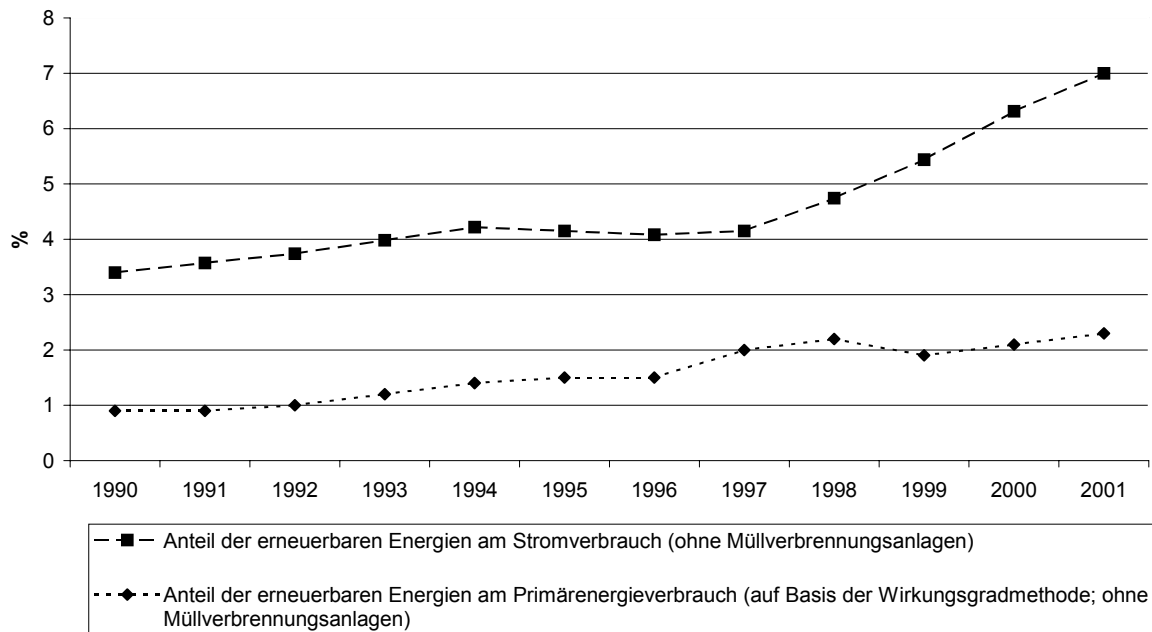


Abb. 5.1: Entwicklung des Anteils der Erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch und der Stromproduktion in Deutschland (Quelle: AG Energiebilanzen, Staiß 2001, DIW 2001 und 2002, Angaben für 2002 vorläufige Abschätzung)

Mit dem steigenden Ausbau der Nutzung Erneuerbarer Energien geht auch eine Steigerung der Anzahl der Arbeitsplätze einher. In der Windindustrie arbeiten in Deutschland bereits rund 35.000 Menschen. Insgesamt sind derzeit direkt und indirekt rund 100.000 Menschen im Bereich der Erneuerbaren Energien beschäftigt – mit steigender Tendenz. Deutschland ist nicht nur in der Wind- und Solarindustrie weltweit führend, sondern nimmt auch bei den anderen Sparten der Erneuerbaren Energien hervorragende Positionen ein und baut diese aus. Damit werden nicht nur Arbeitsplätze für den deutschen Markt, sondern auch für den Export geschaffen. Da die Erneuerbaren Energien Zukunftstechnologien sind, die zukünftig weltweit stärker nachgefragt werden, wird dieser Aspekt mittel- und langfristig von großer Bedeutung sein. Diese Entwicklung ermöglicht es ferner, technisch weniger entwickelte Länder bei ihrer nachhaltigen Entwicklung zu unterstützen. Zudem ist der Aspekt zu berücksichtigen, dass durch den vermehrten Einsatz von Erneuerbaren Energien die wirtschaftliche Abhängigkeit Deutschlands von importierten Energiequellen mit teilweise stark schwankenden Weltmarktpreisen reduziert werden kann.

Literatur

BMU 2002: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Strategie der Bundesregierung zur Windenergienutzung auf See. Januar 2002.

BMWi 2001: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Energieforschung: Investition in die Zukunft. Projekte mit Perspektiven. Juli 2001.

Fischer, Joachim und Kaltschmitt, Martin: Potenziale der KWK mit Biomasse – eine systemtechnische Analyse, Biomasse-Info-Zentrum, Leipzig, 2001

Kaltschmitt, M. , Merten, D.: „Biogas als regenerative Energie im Energiesystem“, Tagung: Biogas als regenerative Energie – Stand und Perspektiven, Hannover 19.-20.6.2001, VDI-Berichte 1620, Düsseldorf, 2001.

Rehfeldt, K., et. al : Weiterer Ausbau der Windenergienutzung im Hinblick auf den Klimaschutz, Teil 1. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin April 2001 .

Schwenk, B.; Rehfeldt, K.: Studie zur aktuellen Kostensituation der Windenergienutzung in Deutschland. Herausg. BWE e.V. 1999.

Staiß, Frithjof: Jahrbuch Erneuerbare Energien 2000, Biebertstein-Verlag, Radebeul, 2000, ISBN: 3-927656-11-9

Staiß, Frithjof: Jahrbuch Erneuerbare Energien 2001, Biebertstein-Verlag, Radebeul, 2001, ISBN: 3-927656-14-3

Sowie eine Vielzahl aktueller Quellen (Bundesressorts, Verbände der Erneuerbaren Energien etc.)