

Renews Spezial

Ausgabe 41 / September 2010

Hintergrundinformationen
der Agentur für Erneuerbare Energien

20 Jahre Förderung von Strom aus Erneuerbaren Energien in Deutschland – eine Erfolgsgeschichte

www.unendlich-viel-energie.de



Autoren:

Dr. Elke Bruns
Dr. Dörte Ohlhorst
Dr. Bernd Wenzel

Redaktion:

Claudia Kunz

Stand: August 2010

Herausgegeben von:

**Agentur für Erneuerbare
Energien e. V.**

Reinhardtstr. 18
10117 Berlin
Tel.: 030-200535-3
Fax: 030-200535-51
kontakt@unendlich-viel-energie.de

ISSN 2190-3581

Schirmherr:

„deutschland hat unendlich viel energie“
Prof. Dr. Klaus Töpfer

Unterstützer:

Bundesverband Erneuerbare Energie
Bundesverband Solarwirtschaft
Bundesverband WindEnergie
Geothermische Vereinigung
Bundesverband Bioenergie
Fachverband Biogas
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Dieser Renews Spezial ist eine Kurzfassung aus dem umfangreichen Forschungsbericht „Erneuerbare Energien in Deutschland - eine Biographie des Innovationsgeschehens“. Das Buch können Sie kostenlos von der Webseite der Bibliothek der Technischen Universität Berlin herunterladen:

<http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2010/2557/>

Eine kostenpflichtige englische Fassung erscheint im Dezember 2010 als Buch beim Springer-Verlag unter dem Titel: „Renewable Energies in Germany's Electricity Market“.

<http://www.springer.com/engineering/energy+technology/book/978-90-481-9904-4>

Dieser Renews Spezial wurde gefördert durch das
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.



Inhalt

Vorwort	5
Zusammenfassung	6
Erneuerbare Energien im gesellschaftspolitischen Kontext	7
Energiepolitische Meilensteine 1990-2009	9
Das Stromeinspeisungsgesetz (StrEG)	9
Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)	10
EEG-Novelle 2004	11
EEG-Novelle 2008	11
Weitere politische Meilensteine	12
Klimaschutz und nachhaltige Energieversorgung	14
Motor für Wirtschaft und Arbeitsmarkt	14
Ausblick	15
Innovationsdynamik der Erneuerbaren Energien	17
Innovationsakteure	17
Unterschiedliche technische Innovationsdynamiken	17
Wasserkraft	18
Pionier- und Verbreitungsphase (1850-1930) und Reifephase (1930-1990).....	18
Neubelebung durch die gesetzliche Einspeisevergütung (1991-1999)	20
Modernisierung unter ökologischen Auflagen (ab 2000).....	21
Windenergie	23
Pioniere erobern das Feld (1975-1986).....	23
Aufbruchstimmung (1986-1991).....	24
Die ersten Windenergie-Förderprogramme	25
Technische Entwicklungen in der Aufbruchphase	25
Erste planerische Vorgaben	25
Der Durchbruch (1991-1995)	26
Sand im Getriebe (1995-1997).....	27
Dynamisches Wachstum (1997-2002)	27
Stabile Entwicklung an Land und Planungen Offshore (seit 2002).....	29
Offshore-Windenergie	30
Ausblick	32
Photovoltaik	33
Industrie und Forschung als Pioniere (1970-1985).....	33
Rückzug der Industrie, mehr Forschung und Entwicklung (1986-1991).....	34
1000 und mehr Dächer mit Photovoltaik-Anlagen (1991-1994).....	35
Unsicherheit und Verlangsamung (1994-1998)	36
100.000 Dächer und das EEG – der Durchbruch (1999-2003)	37
Dynamische Entwicklung (2004-2010)	38
Ausblick	40

Biogas	41
Der Ursprung der Biogasnutzung	41
Forschungs- und Pionierphase (1970-1990).....	42
Erster Aufbruch durch das StrEG (1991-1999)	43
Verstärkter Aufbruch durch das EEG (2000-2004).....	45
Dynamisches Wachstum (2004-2006)	46
Markteinbruch durch Substratpreisentwicklung (2007-2008).....	48
Wiederbelebung und Ausblick (ab 2008).....	48
Geothermie	51
Forschungs- und Entwicklungsphase (1985-2003)	51
Einstieg in die Stromerzeugung (ab 2004)	53
Technische und wirtschaftliche Herausforderungen	54
Rechtliche Rahmenbedingungen	55
Ausblick	55
Perspektiven	56
Klima- und energiepolitische Zielsetzungen	56
Herausforderungen im Stromnetz und Kraftwerkspark	56
Literatur	58
Fotonachweis.....	58

Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser,

wir blicken auf zwanzig Jahre Entwicklung der Erneuerbaren Energien in Deutschland zurück – eine beeindruckende Erfolgsgeschichte wird dabei sichtbar. Wer hätte Anfang der 90er Jahre damit gerechnet, dass Erneuerbare Energien in einem Zeitraum von nur 20 Jahren einen Anteil von 16 Prozent an unserer Stromversorgung liefern würden? Das ist fünfmal so viel wie 1990. Damals lieferte lediglich die Wasserkraft nennenswerte Beiträge zur Stromproduktion. Ihre Potenziale wurden weithin als gering eingeschätzt.

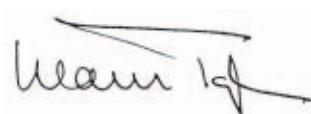
Im Jahr 1990 legte der Bundestag dann mit dem Beschluss zum Stromeinspeisungsgesetz den entscheidenden Grundstein für die erfolgreiche Markteinführung einer breiten Palette Erneuerbarer Energien in Deutschland. Die Motivation dafür war die immer stärkere Erkenntnis in breiten Teilen der Öffentlichkeit und Politik, aber mehr und mehr auch in der Wirtschaft: Die Energieversorgung muss unabhängiger von Importen fossiler Energien werden. Das Stromeinspeisungsgesetz ermöglichte vor allem im Bereich der Windenergie eine rasante Entwicklung. Die Stromerzeugung aus Windenergie stieg enorm an. Die gesetzliche Förderung ebnete technischen Innovationen den Weg. Damit konnten die Kosten der Windenergie schneller als erwartet gesenkt werden. Viele zukunftsfähige Arbeitsplätze entstanden.

Um diese Erfolge auf die anderen Sparten der Erneuerbaren Energien zu übertragen, wurde das Stromeinspeisungsgesetz im Jahr 2000 durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz ersetzt. Dieses Gesetz hat sich seitdem als das wichtigste und erfolgreichste Instrument für die Markteinführung der Erneuerbaren Energien im Strombereich erwiesen. Es ist ein Exportschlager deutscher Umweltpolitik geworden. Diese erfolgreiche Entwicklung gilt es fortzusetzen, um baldmöglichst den vollständigen Umstieg auf eine regenerative Energieversorgung zu schaffen.

Die Förderung der Erneuerbaren Energien war und ist eingebettet in die nationale und internationale Klimaschutzpolitik. Effizienztechnologien und Erneuerbare Energien sind die Schlüssel für eine sichere und klimaschonende Energieversorgung. Die Erneuerbaren Energien sind in der Lage, im globalen Maßstab dauerhaft bezahlbare Energie bereitzustellen und die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Deutschland steht in der globalen Verantwortung, klimaschonende Technologien und Lösungen zu liefern. Dies ist auch mit großen Vorteilen für den Wirtschaftsstandort Deutschland verbunden. Zukunftsfähige, umweltschonende Technologien schaffen wichtige Arbeitsplätze. Eine Welt mit bald 9 Milliarden Menschen ist auf eine sichere Energieversorgung jenseits fossiler Energieträger ökonomisch und ökologisch angewiesen.

Die vorliegende Broschüre blickt auf die erfolgreiche, aber teilweise auch konfliktreiche Entwicklungsgeschichte der zurückliegenden 20 Jahre zurück.

Ich wünsche Ihnen eine informative Lektüre.



Prof. Dr. Klaus Töpfer



Zusammenfassung

Diese Veröffentlichung aus der Reihe "Renews Spezial" zeichnet die historische Entwicklung der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland nach. Es handelt sich dabei um die Zusammenfassung einer umfangreichen Forschungsarbeit der TU Berlin mit dem Titel „Erneuerbare Energien in Deutschland - eine Biographie des Innovationsgeschehens“.

Die Analyse beinhaltet den gesellschaftlichen Hintergrund für den Umbau des Stromversorgungssystems, die wichtigsten politischen und rechtlichen Weichenstellungen für den Ausbau der Erneuerbaren Energien sowie einen Überblick über bislang erzielte technologische Innovationen. Ein Schwerpunkt liegt auf der Entstehungsgeschichte der deutschen Einspeisevergütungsregelungen. Diese ist besonders interessant, da es sich hierbei um eine vorwiegend parlamentarische Initiative mit breiter Unterstützung aus allen im Bundestag vertretenen Fraktionen handelte. Bezüglich der technologischen Innovationsprozesse beschränkt sich der Bericht auf den Bereich der Stromerzeugung, genauer auf die Technologien, die in den vergangenen 20 Jahren eine wesentliche Weiterentwicklung erfahren haben. Mehr Informationen zu technischen Innovationen enthält ein anderes Hintergrundpapier aus der Reihe „Renews Spezial“, Ausgabe 37.

Das Stromeinspeisungsgesetz (StrEG) war 1991 ein erster wirkungsvoller Schritt zur breiten Markteinführung der Erneuerbaren Energien. Es verpflichtete die Energieversorger im damals noch nicht liberalisierten Strommarkt, den in Wasserkraftwerken, Windkraft-, Solar- und Biogasanlagen produzierten Strom ins Netz aufzunehmen und zu gesetzlich definierten Preisen zu vergüten. Im April 2000 trat das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) an die Stelle des StrEG. Eine kostendeckende Vergütung sollte allen Anlagen zur Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien einen wirtschaftlichen Betrieb ermöglichen. Die auf die Vielfalt der Technologien individuell abgestimmte Vergütung erwies sich als noch erfolgreicher als das StrEG und hatte ein äußerst dynamisches Wachstum bei der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien zur Folge. Zu den Erfolgen des EEG liegt ein separates Hintergrundpapier aus der Reihe „Renews Spezial“, Ausgabe 27 vor, das im Internet unter www.unendlich-viel-energie.de bezogen werden kann.

Obwohl mit dem StrEG und dem EEG keine explizite Forschungsförderung verbunden war, lösten sie in den betreffenden Branchen erhebliche Innovationen aus. Die langfristige Investitionssicherheit ermöglichte den Unternehmen den Aufbau eigener Forschungs- und Entwicklungsabteilungen. So konnten bedeutende technologische Fortschritte erzielt werden, die die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien effizienter und kostengünstiger machen. Die in der Zwischenzeit erfolgten Novellierungen des EEG tragen diesen Fortschritten Rechnung.



Erneuerbare Energien in der Energielandschaft Morbach sind die Basis für die regionale Strom- und Wärmeversorgung.

Erneuerbare Energien im gesellschaftspolitischen Kontext

Eine Vielzahl verschiedener Ereignisse in den letzten 30 Jahren bildete den Rahmen für das Innovationsgeschehen im Energiesektor und speziell für die Entwicklung der Erneuerbaren Energien. Vor allem Versorgungs- und Preiskrisen, der öffentliche Konflikt um die Kernenergie sowie Umweltprobleme und der drohende Klimawandel spielten eine wichtige Rolle – sie lenkten eine starke öffentliche Aufmerksamkeit auf Risiken der herkömmlichen Energieversorgung und erhöhten den Handlungsdruck für die Politik. Die Krisen haben gesellschaftliche und politische Neuorientierungen im Energiebereich ausgelöst, die die Förderung der Erneuerbaren Energien zu einem wichtigen Politikfeld machten.

Wichtige Ereignisse und politische Meilensteine für die Erneuerbaren Energien



Bereits in den 1960er Jahren wuchs das Umweltbewusstsein in Gesellschaft und Politik. Ausdruck dessen war unter anderem der Bericht des Club of Rome mit dem Titel „Die Grenzen des Wachstums“ aus dem Jahr 1972, der große öffentliche Aufmerksamkeit erregte. In den 1970er Jahren machten Ölpreiskrisen deutlich, dass dringend Alternativen zu den fossilen Energieträgern benötigt werden. Um die Stromversorgung zu sichern, setzte die Regierung in dieser Phase auch auf die Kernenergie. Der Reaktorunfall von Tschernobyl 1986 sensibilisierte das öffentliche Bewusstsein für die Risiken dieser Technologie und verstärkte die Anti-Atomkraft-Bewegung. Zusammen mit der immer stärker werdenden Umweltbewegung bildete diese in den 1980er Jahren den gesellschaftspolitischen Hintergrund für energiepolitische Veränderungen. Auch das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung, im so genannten Brundtland-Bericht¹ erstmals formuliert, beeinflusste die internationale Debatte über entwicklungs- und umweltpolitische Inhalte und Ziele maßgeblich. Der Bericht war ein Auslöser für die fünf Jahre später stattfindende Umweltkonferenz in Rio de Janeiro.

¹ Zukunftsbericht der World Commission for Environment and Development „Unsere gemeinsame Zukunft“ von 1987, erarbeitet unter dem Vorsitz von Gro Harlem Brundtland.



Dr. Hermann Scheer, seit 1980 Mitglied des Deutschen Bundestages (SPD);
Präsident von EUROSOLAR; Vorsitzender des Weltrates für Erneuerbare Energien
(World Council for Renewable Energy, WCRE).

**„Nur die Erneuerbaren Energien können einlösen, was von der Atomenergie
versprochen wurde: eine dauerhafte, sichere, unabhängige und emissionsfreie
und friedenssichernde Energieversorgung.“**

Ende der 1980er Jahre veröffentlichte die Deutsche Meteorologische Gesellschaft gemeinsam mit der Deutschen Physikalischen Gesellschaft einen Aufruf, in dem sie auf den anthropogenen Klimawandel aufmerksam machte. Neben der Wissenschaft griffen auch die Medien und die Politik das Thema der Erderwärmung auf. Die Berichte über das Aufheizen der Erdatmosphäre, das Abschmelzen der Gletscher und den zu erwartenden Anstieg des Meeresspiegels nahmen zu. Sie lösten eine heftige Diskussion über Ursachen und Folgen des Klimawandels aus.

Auf die politische Tagesordnung gelangte der Klimaschutz im Wesentlichen durch die Enquête-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ (1988-1990). Die Entwicklungen auf nationaler Ebene erfolgten im Wechselspiel mit dem internationalen Klimaschutzprozess: Internationale Klimaschutzkonferenzen, die Verabschiedung der UN-Klimarahmenkonvention 1992 und die Institutionalisierung des Klimaschutzes in der EU sowie auf internationaler Ebene waren Teile dieses Prozesses.

Das Treibhausgas Kohlendioxid (CO₂) wurde als wichtigster Verursacher des Klimawandels identifiziert. Mit dem Ziel den CO₂-Ausstoß zu verringern, rückten die Erneuerbaren Energien als zentraler Baustein für den Klimaschutz in den Fokus.

Energiepolitische Meilensteine 1990-2009

Politische Maßnahmen und Entscheidungen spielten eine zentrale Rolle für Innovationen im deutschen Stromsektor und leiteten maßgebliche Schritte in Richtung einer Energiewende ein. In der Anfangsphase der Entwicklung der Erneuerbaren Energien ging es darum, einen stabilen finanziellen und rechtlichen Rahmen zu schaffen. 1991 gelang mit dem Stromeinspeisungsgesetz (StrEG) ein entscheidender Schritt für die Markteinführung und den Innovationsprozess der Erneuerbaren Energien. Erstmals gab es ein gesetzlich verankertes Recht auf Netzzugang und Stromabnahme sowie eine Mindestvergütung für den eingespeisten Strom.

Mitte der 1990er Jahre erließ die EU Vorgaben zur Öffnung der Strommärkte. Die dadurch erforderliche Änderung des deutschen Energiewirtschaftsgesetzes schrieb den Zugang der Erneuerbaren Energien zum Strommarkt fest. Im Jahr 2000 ersetzte das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) das inzwischen überholte StrEG. Es übertraf in seiner Reichweite die Wirkungen der Vorgängerregelung bei weitem und wurde zum zentralen Erfolgsfaktor für den Ausbau der Erneuerbaren Energien in Deutschland.

Das Stromeinspeisungsgesetz (StrEG)

Ende 1990 fiel der Startschuss für den erfolgreichen Ausbau der Erneuerbaren Energien in Deutschland. Knapp zwei Monate vor der ersten gesamtdeutschen Bundestagswahl im Jahr 1990 ergriff eine fraktionsübergreifende Gruppe von Parlamentariern die Initiative für ein Stromeinspeisungsgesetz. Einige Abgeordnete setzten sich besonders engagiert für das Gesetz ein: der Abgeordnete Dr. Wolfgang Daniels von der Fraktion „Die Grünen“, Dr. Hermann Scheer von der SPD und aus den Reihen der CDU/CSU Bernd Schmidbauer und Matthias Engelsberger. Seitens der Bundesregierung unterstützte der damalige Bundesumweltminister Prof. Dr. Klaus Töpfer das Gesetzgebungsverfahren. Am 7. Dezember 1990 verabschiedete der Bundestag das StrEG einvernehmlich. Dies galt als Indiz dafür, dass sich die Erneuerbaren Energien als wichtiges Politikfeld etabliert hatten.



Prof. Dr. Klaus Töpfer, 1987 bis 1994 Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Gründungsdirektor des 2009 gegründeten Instituts für Klimawandel, Erdsystem und Nachhaltigkeit in Potsdam.

„Das Stromeinspeisungsgesetz war der Startpunkt dafür, die Erneuerbaren Energien erfolgreich in die Märkte hineinzubringen.“

Das zum 1. Januar 1991 in Kraft getretene Gesetz erwies sich als entscheidender Impuls für die Markteinführung der Erneuerbaren Energien. Das StrEG öffnete den Strommarkt, der durch das Leitungs- und Versorgungsmonopol der damals sieben großen Energieversorgungsunternehmen geprägt war, für Erzeuger von Strom aus Erneuerbaren Energien. Im Kern regelte es den Zugang zum Stromnetz sowie die Verpflichtung zur Abnahme von Strom aus erneuerbaren Energiequellen zu gesetzlich definierten Vergütungen. Dies bedeutete eine erhebliche Verbesserung gegenüber Vorläuferregelungen, beispielsweise den individuell ausgehandelten Vergütungen nach der Verbändevereinbarung. Zunächst profitierten vor allem Wasser- und Windkraftbetreiber von den Regelungen. Die Windenergie erfuhr sogar einen richtigen Entwicklungsschub.



Dr. Wolfgang Daniels, 1987 bis 1990 Mitglied des Bundestages (Die Grünen); Mitinitiator des Stromeinspeisungsgesetzes.

„Das Stromeinspeisungsgesetz wurde verabschiedet, weil auch in der CDU/CSU-Fraktion einige Abgeordnete etwas für die Erneuerbaren Energien tun wollten. Niemand konnte damals absehen, dass dieses Gesetz später einmal in 40 Ländern nachgeahmt werden würde.“

Die etablierte Energiewirtschaft maß dem StrEG zunächst keine große Bedeutung zu. Das sollte sich jedoch bald ändern. Mit Blick auf eine anstehende Novellierung strebten die Stromversorger ab 1994 an, das Gesetz wieder abzuschaffen. In dem Maße, wie die Effekte immer deutlicher wurden, wuchs der Widerstand, insbesondere in den Jahren 1995 bis 1997. Den Kern der Gegner bildeten die in der Vereinigung deutscher Elektrizitätswerke e.V. (VDEW) zusammengeschlossenen Energieversorgungsunternehmen.

Der Widerstand blieb allerdings dank der breiten politischen Unterstützung vieler Bundestagsabgeordneter erfolglos. Ab 1994 setzte sich auch die damalige Bundesumweltministerin Dr. Angela Merkel für die Erneuerbaren Energien ein. Weiterhin unterstützte aus den Reihen der CDU/CSU-Fraktion der Abgeordnete Dr. Peter Ramsauer das StrEG. Schließlich wurde die Förderregelung im Rahmen zweier Gesetzesnovellen 1994 und 1998 an die Entwicklung der 1990er Jahre angepasst.

Die zweite Novellierung im Jahr 1998 kam den Energieversorgern entgegen, denn sie sah vor, die Belastungen der Netzbetreiber durch die Vergütung für Strom aus Erneuerbaren Energien zu begrenzen. Dennoch kam es zu einem Rechtsstreit, der insbesondere die noch junge Windbranche verunsicherte. Obwohl der Kartellsenat des Bundesgerichtshofs bereits 1996 geurteilt hatte, dass das StrEG von 1990 verfassungsgemäß war, zweifelten einige Energieversorger dies nach der Novellierung 1998 an. Die Klage von PreussenElektra bzw. deren Tochterunternehmen Schleswig vor dem Landgericht Kiel endete schließlich beim Europäischen Gerichtshof. Dieser entschied im März 2001, das Gesetz sei mit dem EU-Recht vereinbar und stelle keine rechtswidrige staatliche Beihilfe im Sinne des EG-Vertrags dar. Im Jahr 2003 bestätigte der Bundesgerichtshof schließlich, dass auch das StrEG von 1998 und das Erneuerbare-Energien-Gesetz aus dem Jahr 2000 mit dem Grundgesetz vereinbar seien. Damit ging eine mehrjährige Phase der Verunsicherung zu Ende.

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

Im StrEG orientierte sich die Vergütung für die Erneuerbaren Energien am jeweiligen Strompreis. Dabei ging der Gesetzgeber von kontinuierlich steigenden Preisen aus. Als der Strompreis jedoch im Zuge der Liberalisierung Ende der 1990er Jahre sank, reichte die Vergütung nicht mehr aus, um Investitionen anzureizen. Zudem erwiesen sich die festgelegten Vergütungshöhen als unzureichend, um der Entwicklung weiterer Technologien neben der Windkraft einen Schub zu verleihen. Dies gefährdete das deutsche und europäische Ziel, den Anteil Erneuerbarer Energien am Strommix bis 2010 zu verdoppeln und eine breite Markteinführung anzustoßen. Daher plante die seit 1998 amtierende rot-grüne Bundesregierung zum 1. Januar 2000 eine neue Regelung für die Einspeisung und Vergütung von Strom aus Erneuerbaren Energien.



Ministerialrat Dr. Wolfhart Dürrschmidt, Referatsleiter „Grundsatzfragen der Erneuerbaren Energien“ im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

„Mit Erneuerbaren Energien können wir die Energieversorgung in Europa und global vollständig sichern, wenn sowohl ihr Ausbau als auch die Verbesserung der Energieeffizienz kräftig vorangebracht werden. Sie spielen damit eine Schlüsselrolle nicht nur für wirksamen Klimaschutz, sondern auch für innere und äußere Sicherheit, nachhaltige soziale und wirtschaftliche Entwicklung sowie den Erhalt unserer natürlichen Lebensgrundlagen.“

Das Bundesumweltministerium begann, die Ablösung des StrEG durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vorzubereiten. Erneut griff der Bundestag die Initiative auf und legte einen Gesetzentwurf vor. Abgeordnete der Fraktion Bündnis 90/ Die Grünen waren hierbei die treibenden Kräfte. Sie erhiel-

ten Unterstützung von Abgeordneten der SPD-Fraktion, namentlich Dr. Hermann Scheer und Dietmar Schütz, die sich für die noch jungen Unternehmen der Wind- und Solarbranche einsetzten.



Dietmar Schütz, 1987 bis 2001 Mitglied des Deutschen Bundestages, stellvertretender energiepolitischer Sprecher der SPD. Seit 2008 Präsident des Bundesverbands Erneuerbare Energie (BEE).

„Das Erneuerbare-Energien-Gesetz war eine sehr starke parlamentarische Initiative. In der SPD-Fraktion gab es zu jeder Zeit eine Mehrheit für das Gesetz - auch gegen die ablehnende Position des damals federführenden Wirtschaftsministeriums. Ausschlaggebend für die Abgeordneten war der Beitrag des EEG zum Klimaschutz sowie die Arbeitsplatzeffekte.“

Nach intensiven und kontroversen Debatten verabschiedete der Bundestag das EEG im Februar 2000. Am 1. April 2000 trat es in Kraft. Die darin verankerte 20-jährige Vergütungsgarantie sowie die auf die verschiedenen Stromerzeugungstechnologien abgestimmten kostendeckenden Vergütungssätze senkten die Risiken für Investoren deutlich. In der Folge wuchs die Investitionsbereitschaft für Erneuerbare-Energien-Projekte und die Nachfrage nach Anlagen zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien stieg.



Hans-Josef Fell, seit 1998 Mitglied des Deutschen Bundestages (Bündnis 90/Die Grünen), seit 2005 Vizepräsident von EUROSOLAR.

„Das EEG war ein reines Parlamentsgesetz! Wir Parlamentarier haben es, weil es im Parlament entstanden ist, unabhängig von sehr vielen Lobbyeinflüssen durchsetzen können. Das EEG ist die erfolgreichste Klimaschutzmaßnahme, wesentlich erfolgreicher als z.B. der Emissionshandel.“

EEG-Novelle 2004

Nach der Wiederwahl der rot-grünen Regierungskoalition im Jahr 2002 ging die Ressortzuständigkeit für Erneuerbare Energien vom Bundeswirtschafts- an das Bundesumweltministerium über. Dieses hatte damit die Federführung für Fortschreibungen des EEG inne. Es erarbeitete einen ersten Erfahrungsbericht, auf dessen Basis das Gesetz im Jahr 2004 novelliert wurde.

Die neue Fassung des EEG differenzierte die Regelungen für die verschiedenen Technologien der regenerativen Stromerzeugung noch stärker. Dadurch nahm das Gesetz erheblich an Umfang und Komplexität zu. Aus Sicht der Befürworter ist der Erfolg des Gesetzes jedoch auf diese differenzierte und zielgerichtete Förderung zurückzuführen, da sie verbesserte Anreize für Innovationen und Kostensenkungen bietet und Mitnahmeeffekte minimiert. Während die Oppositionsparteien auf den EEG-Entwurf positiv reagierten, griffen Industrieverbände, die konventionelle Energiewirtschaft und das Bundeswirtschaftsministerium den Entwurf heftig an. Die konventionellen Energieversorger wollten der Förderung der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien Grenzen setzen. Trotz der heftigen Angriffe konnte das neue EEG dank der überparteilichen politischen Unterstützung im Bundestag und des Rückhalts innovativer Teile der Wirtschaft schließlich doch verabschiedet werden. Es trat am 1. August 2004 in Kraft.

EEG-Novelle 2008

Die weitere Fortschreibung des EEG stand in engem Zusammenhang mit dem Integrierten Klima- und Energieprogramm der Bundesregierung im Jahr 2007. Nach der Ressortabstimmung beschloss im Dezember 2007 zunächst das Bundeskabinett den neuen Gesetzentwurf. In der Regierung bestand Einigkeit darüber, den Ausbau der Erneuerbaren Energien und die Technologieentwicklung im Strombereich

auch künftig dynamisch fortzusetzen. Im Mai 2008 einigten sich die Koalitionsfraktionen CDU/CSU und SPD in den strittigen Punkten. Das neu gefasste EEG konnte so im Juni 2008 im Bundestag verabschiedet werden und trat zum 1.1.2009 in Kraft.



Jürgen Trittin, 1998 bis 2005 Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Fraktionsvorsitzender der Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen.

„Das Erneuerbare-Energien-Gesetz ist die einfachste, preiswerteste und effizienteste Form, den Ausbau der Erneuerbaren Energien im Strombereich voranzubringen. Es fördert neue Technologien, schafft Arbeitsplätze und verbindet Klimaschutz mit wirtschaftlicher Entwicklung.“

Im EEG 2009 wurde das Ausbauziel für das Jahr 2020 auf mindestens 30 Prozent Anteil der Erneuerbaren Energien an der Stromversorgung angehoben. Auch danach soll der Anteil weiter ansteigen, wobei das Gesetz keine weitere Zielmarke formuliert. Auf Basis des EEG-Erfahrungsberichtes 2007 korrigierte der Gesetzgeber die Vergütungssätze im Erneuerbare-Energien-Gesetz 2009 in fast allen Sparten nach oben, besonders bei der Offshore-Windkraft, der Geothermie sowie einem Teil der Biomasse. Deutlich gesenkt wurden hingegen die Vergütungssätze für die solare Stromerzeugung, da die bisher realisierten jährlichen Kostensenkungen die Erwartungen von 5 Prozent deutlich übertroffen hatten.



Johannes Lackmann, 1999 bis 2008 Präsident des Bundesverbands Erneuerbare Energie, seit 2009 Geschäftsführer der VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH in Berlin.

„Das Erneuerbare-Energien-Gesetz ist national und international zu einem Leuchtturm für couragierte Gesetzgebung geworden. Dass dieses erfolgreiche Gesetz in wesentlichen Teilen von den Abgeordneten selbst geschaffen wurde, sollte diese durchaus ermutigen, ihre Gesetzgebungskompetenz hin und wieder unmittelbar wahrzunehmen. Im Bereich der Erneuerbaren Energien und der Klima- und Technologiepolitik ist der Gestaltungsspielraum noch lange nicht ausgeschöpft.“

Weitere politische Meilensteine

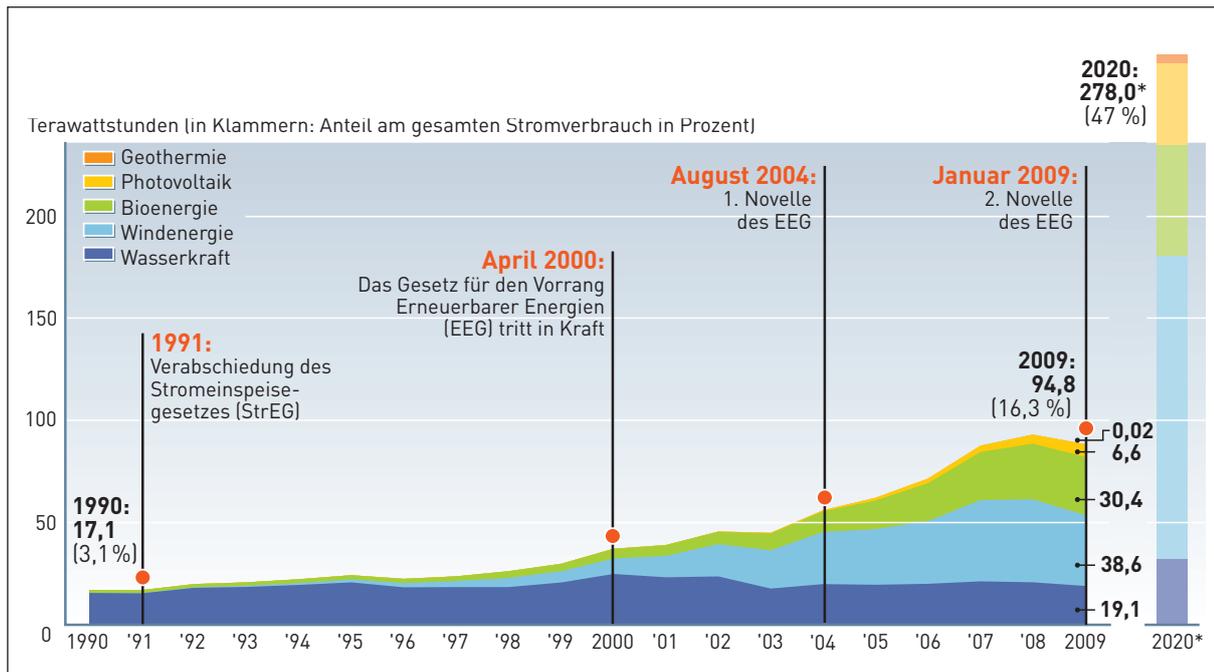
Weitere wichtige Impulse für den Innovationsprozess der Erneuerbaren Energien lieferten die Offshore-Strategie und die Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung (2002), das Klimaschutzprogramm (2005) sowie das Integrierte Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung (2007). Eine Vielzahl von Gesetzesanpassungen flankierte die Förderung der Erneuerbaren Energien, beispielsweise im Bauplanungs- und Raumordnungsrecht, im Immissionsschutzrecht sowie im Wasser- und Abfallrecht. Sie waren entscheidend für den Expansionsprozess der Erneuerbaren Energien.

Auch die Förderung von Forschung und Entwicklung brachte den Innovationsprozess im Bereich der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien voran. Hierfür war in den 1990er Jahren das Bundesforschungsministerium zuständig. Allerdings war das verfügbare Mittelvolumen für die Erneuerbaren Energien vergleichsweise gering. Maßnahmen zur Markteinführung konnte das Bundesforschungsministerium offiziell nicht ergreifen. Mit dem „100 Megawatt Wind“- beziehungsweise „250 Megawatt Wind“-Programm unterstützte es aber zum Beispiel die Realisierung von Windkraftanlagen über die Förderung von Forschung und Entwicklung hinaus.

Die Markteinführung der Erneuerbaren Energien fiel bis 2002 in die Zuständigkeit des Bundeswirtschaftsministeriums. 1998 erhielt das Bundeswirtschaftsministerium auch die Zuständigkeit für anwen-

dungsorientierte Forschung und Entwicklung. Es ergriff jedoch keine Initiative für ein Marktanreizprogramm im Strombereich. Daher bestand die Lücke zwischen Forschungs- und Entwicklungsförderung und der Markteinführung Erneuerbarer Energien fort. Schließlich gingen im Herbst 2002 die Zuständigkeiten für Forschung und Entwicklung sowie für die Markteinführung der Erneuerbaren Energien an das Bundesumweltministerium. Erst jetzt wurde eine Gesamtstrategie für die Förderung Erneuerbarer Energien entwickelt und umgesetzt. Sie umfasste die Forschungsförderung, Markteinführungsprogramme und die Verbesserung weiterer rechtlicher und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen.

Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland 1990-2009

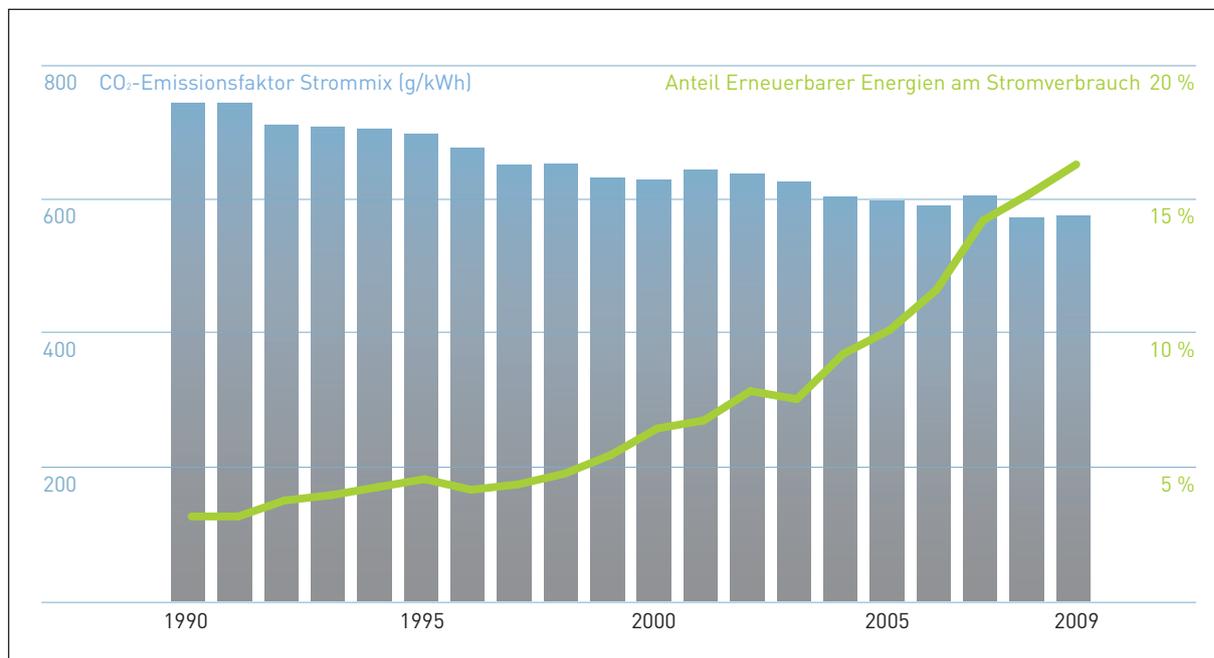


Das Förderinstrument der Einspeisevergütung in Verbindung mit einer vorrangigen Abnahme- und Vergütungsverpflichtung hat sich als zentraler Antriebsfaktor für die dynamische Entwicklung der Erneuerbaren Energien im Stromsektor erwiesen. Der Anteil der Stromerzeugung aus Wind-, Sonnen-, Bioenergie, Wasserkraft und Geothermie stieg in Deutschland von drei Prozent im Jahr 1990 auf 16 Prozent im Jahr 2009. Die Erneuerbaren Energien bilden damit einen zentralen Pfeiler der Energieversorgung.

Weltweit haben 47 Staaten, darunter China, Brasilien und Südkorea, das deutsche EEG als Vorbild für ihre eigenen Förderinstrumente herangezogen. Von den 27 EU-Mitgliedstaaten fördern allein 16 die Erneuerbaren Energien durch eine Einspeisevergütung. Daran wird deutlich, dass das EEG viele überzeugt hat.

Klimaschutz und nachhaltige Energieversorgung

Spezifischer Kohlendioxid-Ausstoß der Stromerzeugung in Deutschland und Anteil Erneuerbarer Energien



*2008: vorläufige Angaben **2009: erste Schätzung

Quellen: UBA, BMU; Stand 8/10

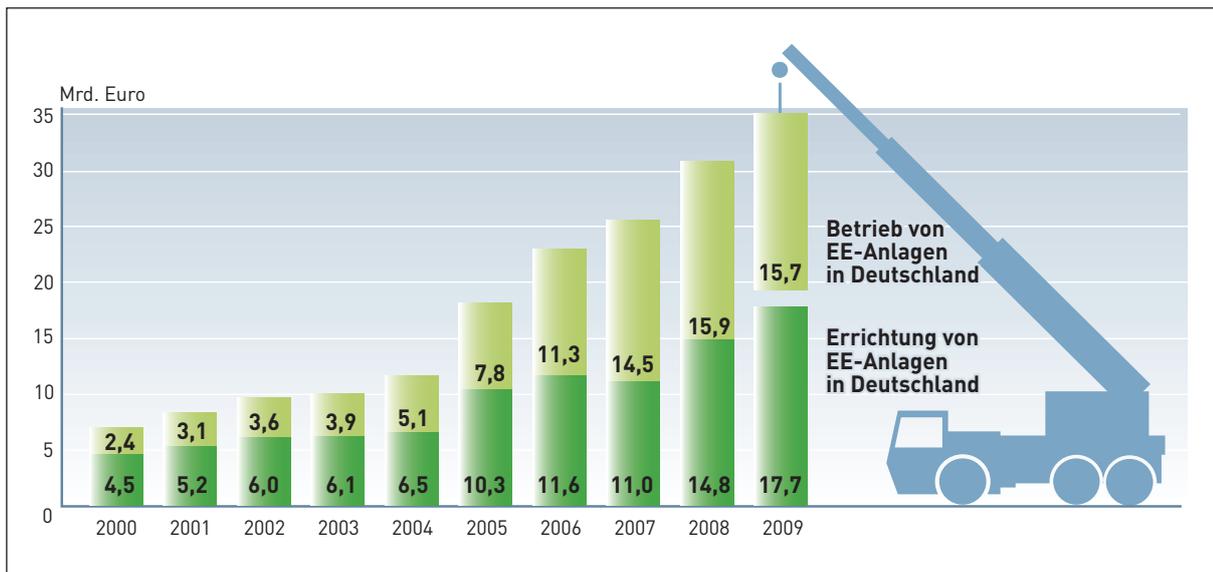
Der Ausbau der Erneuerbaren Energien ist parallel zu Energieeinsparung und -effizienz die zentrale Säule für den Klimaschutz in Deutschland. Der Stromsektor ist der Wirtschaftszweig mit den höchsten Treibhausgasemissionen. Daher sind die Weichenstellungen hier von besonderer Bedeutung. Die Umstellung des Stromversorgungssystems auf Erneuerbare Energien ist technisch und wirtschaftlich möglich und im Sinne eines umfassenden Klimaschutzes auch notwendig. Das EEG spielt dabei eine zentrale Rolle. Ein fortgesetztes Engagement Deutschlands kann dazu beitragen, dass sich die weltweit dringend benötigte Triebkraft für den Klimaschutz verstärkt.

Strom aus Erneuerbaren Energien ersetzt heute im Wesentlichen die Stromerzeugung aus Kohle - ein Brennstoff, der einen besonders hohen Ausstoß an Kohlendioxid (CO₂) verursacht. So hat die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien im Jahr 2009 den Ausstoß von rund 68 Millionen Tonnen CO₂ vermieden. Davon entfielen 54 Millionen Tonnen auf die durch das EEG vergüteten Strommengen. Diese Mengen entsprechen dem CO₂-Ausstoß von etwa 14 Kohlekraftwerken und zeigen, dass die Erneuerbaren Energien unverzichtbar für jegliche Klimaschutzstrategie sind.

Motor für Wirtschaft und Arbeitsmarkt

Der Umbau der Energieversorgung ist eine Herausforderung für die deutsche Wirtschaft und bringt innovative technische Leistungen hervor. Vorangetrieben von einem rasanten Innovationsprozess, haben die Erneuerbaren Energien inzwischen eine hohe ökonomische Bedeutung erlangt. Aktuelle Umsatz- und Beschäftigungszahlen belegen dies eindrucksvoll. Die Förderung der Erneuerbaren Energien hat eine bedeutsame Wirtschaftsbranche mit rund 38 Milliarden Euro Umsatz in Deutschland (2009) entstehen lassen. Der weitaus größte Teil der Investitionen in die erneuerbare Energieerzeugung im Jahr 2009 floss in den Strombereich.

Umsatz der deutschen Erneuerbare-Energien-Branche 2000 – 2009



Quellen: BMU/AGEE-Stat, Branchenangaben; Stand 2/2010

Die Förderung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz zahlt sich volkswirtschaftlich und arbeitsmarktpolitisch aus. Innerhalb der letzten zehn Jahre hat sich die Zahl der Beschäftigten in der gesamten Erneuerbare-Energien-Branche vervierfacht. Mehr als 300.000 Menschen waren hier Ende 2009 tätig und der Bedarf an Fachkräften steigt selbst in Zeiten der Wirtschaftskrise. Der Konjunkturmotor läuft vor allem deshalb, weil durch das EEG solide gesetzliche Rahmenbedingungen geschaffen wurden.

Das Wachstumspotenzial ist angesichts der global steigenden Nachfrage riesig. Die deutsche Erneuerbare-Energien-Branche kann von dem gewonnenen Technologievorsprung und damit erzielten Wettbewerbsvorteilen im internationalen Markt auch in Zukunft weiter profitieren.

Ausblick



Prof. Dr. Frithjof Staiß, Geschäftsführer des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden Württemberg (ZSW).

„Wir werden künftig einen vielfältigeren Energiemix haben, der die ganze Palette Erneuerbarer Energien einbezieht. Die Nutzung von Sonnenenergie weist weltweit die größten Potenziale auf, vor allem ist sie überall verfügbar.“

Die Erneuerbaren Energien sind zu einem bedeutenden Bestandteil im deutschen Energiemix geworden. Auch global gesehen sind die Erneuerbaren Energien aus der Marktnische herausgewachsen und in der Expansionsphase angekommen. Die Potenziale der Erneuerbaren Energien reichen aus, um die Versorgungssicherheit mit Strom zu gewährleisten, wenn neben dem konsequenten Ausbau der Erneuerbaren Energien auch die Strategien Energieeinsparung und -effizienz verfolgt werden. Zudem lässt sich durch die Nutzung heimischer Erneuerbarer Energiequellen sowie durch eine gesteigerte Energieeffizienz die hohe Abhängigkeit Deutschlands von teuren Energieimporten reduzieren.



Dr. Joachim Nitsch, 1976 bis 2005 Leiter der Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung am Institut für Technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR)

„Erneuerbare Energien und Effizienz gehören zusammen und müssen zusammen gedacht und zusammen konzipiert werden. Das ist jetzt begriffen worden und wird jetzt langsam umgesetzt. Den Erneuerbaren Energien gehört die Zukunft.“

Auf dem Weg zu einer sicheren, umwelt- und klimaverträglichen Energieversorgung mit Erneuerbaren Energien als Basis der Stromerzeugung bedarf es allerdings einer weiteren gezielten politischen Steuerung. Dies gilt vor allem im Hinblick auf die Wettbewerbsfähigkeit der Erneuerbaren Energien sowie den Ausbau der Stromnetze und -speicher als Voraussetzung für dauerhafte Versorgungssicherheit.

Innovationsdynamik der Erneuerbaren Energien

In der Entwicklung der Erneuerbaren Energien in Deutschland konnten Wachstumsquoten und Innovationsprozesse umgesetzt werden, die zuvor nicht für möglich gehalten wurden. Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den Innovationsakteuren und den erreichten technologischen Fortschritten.

Innovationsakteure

Beim Ausbau der Erneuerbaren Energien in Deutschland war das zivilgesellschaftliche Engagement für eine „Energiewende“ wichtige Antriebskraft. Motiviert durch die Suche nach Alternativen zur fossilatomaren Energieerzeugung und nach Unabhängigkeit von Energieimporten wurden in dieser Szene, die vielfach in Bürgerinitiativen organisiert war, neue Ideen entwickelt. Mitglieder der Umweltbewegung leisteten Pionierarbeit bei der Entwicklung und der ersten Anwendung der Windkrafttechnologie. Auch die Photovoltaik-Entwicklung wurde durch private Investitionen und ein starkes Engagement von Interessenverbänden maßgeblich vorangebracht. Im Biogasbereich und auch in der Windenergie waren es insbesondere für den Umweltschutz engagierte Landwirte, die die Anwendung der Technologien initiierten und durch „learning by doing“ vorantrieben. Entscheidend für den Durchbruch der Erneuerbaren Energien war, dass es sowohl in der Wind- und Photovoltaik- als auch in der Biogasbranche einzelne Unternehmer schafften, die neuen Technologien professionell anzuwenden und marktfähige Strukturen aufzubauen.

Dabei konnten sie auf die Akzeptanz und Unterstützung weiter Kreise der Bevölkerung setzen. Die gesellschaftliche Akzeptanz für Erneuerbare Energie ist laut Umfragen der Meinungsforschung bis heute allgemein hoch. Im Zusammenhang mit dem Bau einzelner Anlagen ist diese Akzeptanz abhängig vom Ausmaß der tatsächlichen oder befürchteten negativen Wirkungen auf den Naturhaushalt, das Landschaftsbild und den Menschen. Neben der optischen Wahrnehmung, möglichen Lärm- oder Geruchsbelästigungen spielen der Flächenbedarf und die Eingliederung in die regionale Flächennutzung eine wesentliche Rolle.

Unterschiedliche technische Innovationsdynamiken

Trotz vielfacher Parallelen weist jede der Technologien zur Stromerzeugung auf Basis Erneuerbarer Energien eine eigene Charakteristik und Geschichte auf. Sie unterscheiden sich zum Beispiel im Hinblick auf den technischen Stand und die Dynamik der Innovationsentwicklung. Während die Wasserkraft bereits vor Jahren ausgereift war, befanden sich Windenergie und Biogas vor 20 bis 30 Jahren noch in der Pionierphase. Die Photovoltaik stand mit einem hohen Forschungsbedarf noch ganz am Anfang der Entwicklung, ebenso die Nutzung der Geothermie für die Stromerzeugung.

Neben dem unterschiedlichen technischen Ausgangspunkt hängt die Entwicklungsdynamik wesentlich von den jeweiligen Produktions- bzw. Erneuerungszyklen ab. Bei der Photovoltaik und der Windenergie ist die Dynamik aufgrund der vergleichsweise kurzen Reinvestitionszyklen (ca. 15 bis 20 Jahre) recht hoch, bei der Wasserkraft sind diese Zyklen mit 30 bis 50 Jahren deutlich länger. Technische Innovationen lassen sich dementsprechend nur in langen Zeitintervallen umsetzen.

Unterschiede bestehen auch in den Anforderungen an das Know-how und an notwendige Fertigungstechnologien. Im Fall der Windenergie waren technische Expertise und Fertigungsanlagen aus dem Turbinen-, Maschinen- und Flugzeugbau vorhanden. Hier war eine schnellere Expansion der Produktion möglich als im Fall der Photovoltaik, wo nur bedingt an Produktionsprozesse aus der Halbleitertechnologie angeknüpft werden konnte. Im Folgenden werden die in den letzten zwanzig Jahren erzielten wesentlichen Innovationen bei der Wasserkraft, Windenergie, Photovoltaik, Biogas und Geothermie dargestellt.

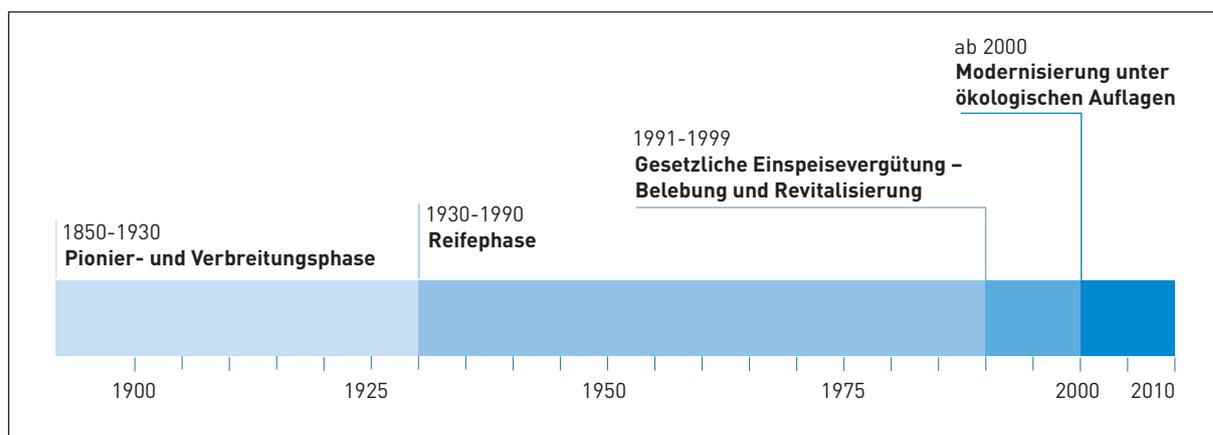
Wasserkraft

Die Wasserkraft wurde bereits zur Stromerzeugung eingesetzt, lange bevor über so genannte „alternative“ Formen der Energiegewinnung nachgedacht wurde. Bereits ab Mitte des 19. Jahrhunderts ermöglichte sie die Elektrifizierung ländlicher Gebiete und trieb als Energielieferant die industrielle Entwicklung voran. Angesichts der eindrucksvollen ingenieurtechnischen Leistungen und als Träger des Fortschritts hatte die Wasserkraftnutzung ein positives Image. Aufgrund ihrer raschen Ausbreitung wurden allerdings auch frühzeitig die Grenzen deutlich. Bereits Mitte des 20. Jahrhunderts verringerte sich die Verfügbarkeit wirtschaftlich tragfähiger Standorte.

In den 1980er und 1990er Jahren schränkte der Schutz der Fließgewässer die Standortpotenziale weiter ein. Veränderungen der Wasserstände, des Abflussverhaltens von Flüssen und der Verlust der Durchgängigkeit für wandernde Fischarten waren unerwünschte Folgewirkungen der Wasserkraftnutzung. Die in der Elektrifizierungs- und Industrialisierungsphase sehr positiv besetzte Wasserkraftnutzung verlor an Akzeptanz und sah sich vor der Herausforderung, Konzepte für mehr Naturverträglichkeit zu entwickeln.

Anhand der Wasserkraft lassen sich die verschiedenen Entwicklungsphasen von der Erfindung der Technik über deren Optimierung bis hin zur Integration in das bestehende Energieversorgungssystem exemplarisch nachvollziehen. Die geringe Zahl der unterschiedenen Entwicklungsphasen entspricht der vergleichsweise geringen Innovationsdynamik in diesem Sektor.

Entwicklung der Wasserkraftnutzung



Pionier- und Verbreitungsphase (1850-1930) und Reifephase (1930-1990)

Die wesentlichen technischen Lösungen zur Umwandlung der Strömungsenergie des Wassers zu Strom stammen aus der Mitte des 19. Jahrhunderts. In dieser „historischen Phase“ wurden verschiedene Turbinentypen erfunden. Die Technologie breitete sich im Zuge der Elektrifizierung zunächst in den ländlichen Gebieten Bayerns und Baden-Württembergs aus. Dort waren die topographischen Voraussetzungen für die Wasserkraftnutzung besonders günstig.

Elektrifizierung und Industrialisierung sowie die Fortentwicklung der Wasserkrafttechnologie bedingten sich gegenseitig, so dass schon in den 1930er Jahren die Reifephase erreicht war. Zu dieser Zeit gab es bereits das heute bekannte Spektrum von Turbinentypen. Diese sollten angesichts der lokal unterschiedlichen Fallhöhen und Fließgeschwindigkeiten des Wassers dessen energetische Potenziale bestmöglich nutzen.

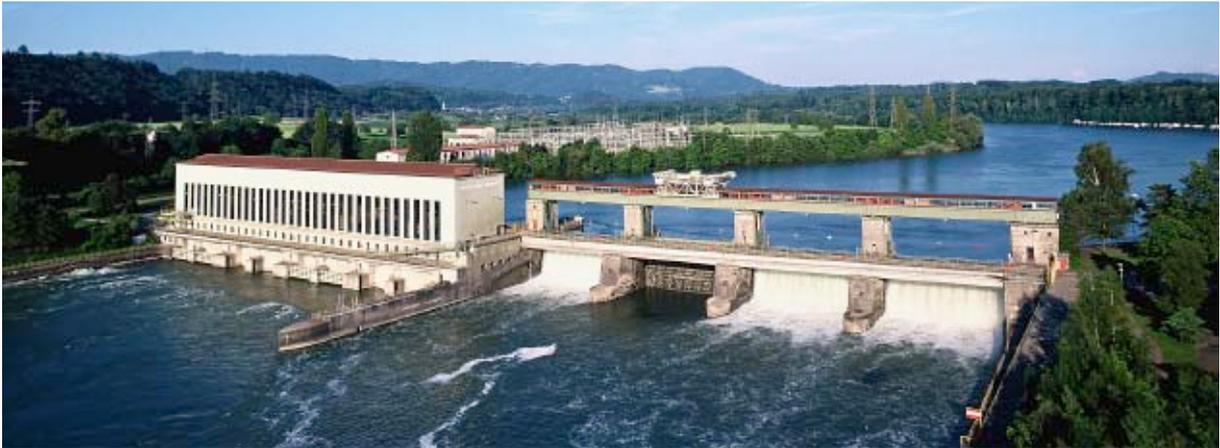
Die Betreiber von Wasserkraftanlagen waren vorwiegend Privatpersonen. Aus Klein- und Kleinanlagen mit geringer elektrischer Leistung gewannen sie Strom zur Eigenversorgung. Sie bevorzugten einfache und robuste technische Lösungen. Neben Landwirten nutzten auch Handwerksbetriebe und Unternehmen die Möglichkeit, sich mit eigenem Strom zu versorgen. Diese Betreiber etablierten das Segment, das als die „Kleine Wasserkraft“ bezeichnet wird. Es handelt sich hierbei meist um Anlagen bis zu einer Größe von einem Megawatt. Bei einer großen Anzahl von Anlagen stellen sie in Deutschland einen geringen Anteil der Stromproduktion aus Wasserkraft bereit.



Wasserkraftanlage im Landkreis Traunstein

Die Nachfrage nach leistungsfähigeren Turbinen erfolgte durch kommunale und regionale Stromversorgungsunternehmen. Damals wie heute produzierte eine kleine Zahl von großen Anlagen den überwiegenden Teil des Wasserkraftstroms. Bei den Betreibern handelt es sich vornehmlich um Energieversorgungsunternehmen, die von jeher einen Zugang zum Stromnetz hatten. Neben der Stromerzeugung interessierten sich die Energieversorgungsunternehmen wegen ihrer Regelungs- und Speicherfunktion für Wasserkraftwerke.

Hier zeichnen sich bereits unterschiedliche Voraussetzungen für die Vermarktung des erzeugten Stroms ab. Dieser Umstand sorgt auch im weiteren Verlauf für anhaltende Differenzen unter den sogenannten „Kleinen“ und „Großen“ Wasserkraftbetreibern.



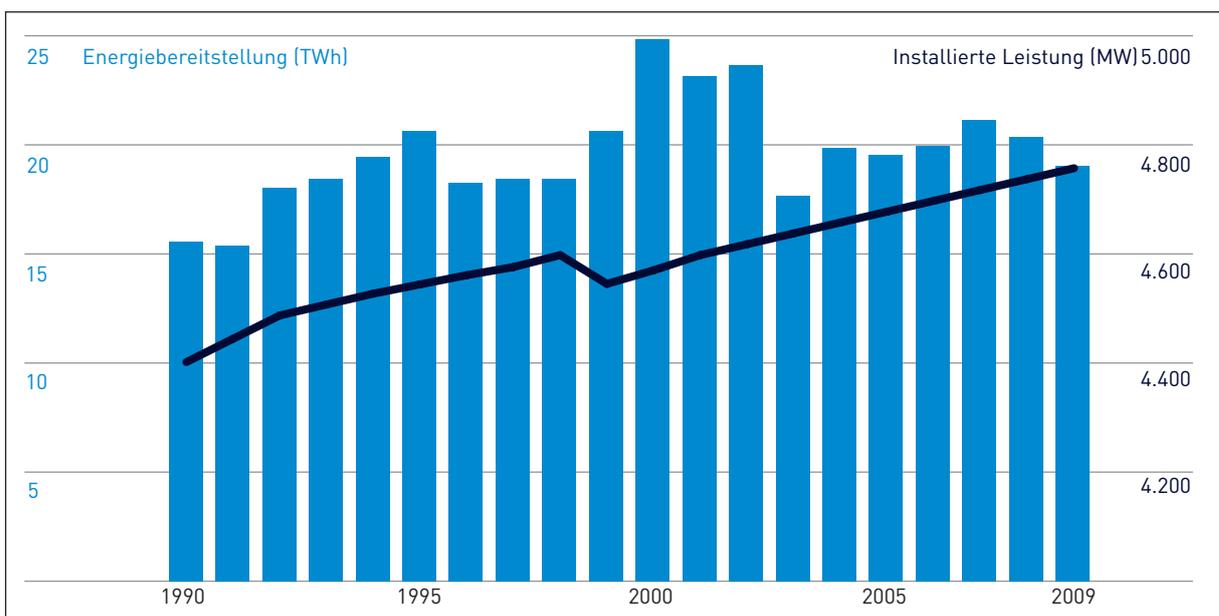
Wasserkraftwerk Ryburg Schwörstadt

Neubelebung durch die gesetzliche Einspeisevergütung (1991-1999)

Die vornehmlich in Süddeutschland beheimateten Betreiber von Kleinwasserkraftwerken waren an einer kostendeckenden Vermarktung des produzierten Stroms interessiert. Sie benötigten dafür zunächst eine Einspeisegenehmigung des Energieversorgers. Hatten sie diese nach oft mühsamen Verhandlungen erhalten, legten die Energieversorger die Preise fest. Vielfach lagen die von den Energieversorgern gezahlten Vergütungen nur bei einem Bruchteil dessen, was die Energieversorger von ihren Kunden verlangten. Die Verhandlungsposition der Einspeiser war zumeist schwach – sie hatten für die Stromabnahme keine Alternative zum örtlichen Energieversorger. Die Einspeisekonditionen mussten den Energieversorgern für jeden Einzelfall für einen begrenzten Zeitraum abgerungen werden. Eine langfristige Kalkulation war so nicht möglich.

Wollten die Betreiber der Kleinwasserkraftwerke ihre wirtschaftliche Basis sichern, mussten sie darauf hinwirken, die ungleiche Machtverteilung aufzuheben und sich aus dem Abhängigkeitsverhältnis zu befreien.

Entwicklung der Wasserkraft in Deutschland



Quelle: BMU Stand: 8/2010

Anfang der 1980er Jahre kam unter Beteiligung des Landesverbandes „Vereinigung Wasserkraftwerke in Bayern“ eine so genannte „Verbändevereinbarung zur stromwirtschaftlichen Zusammenarbeit“ mit den Energieversorgern zustande. Diese bildete fortan eine einheitliche Basis für die einzelnen Einspeiseverträge. Die Vergütung entsprach aber noch nicht den Kosten und der Wertigkeit der erzeugten Elektrizität. Die Betreiber der Kleinwasserkraftwerke, mittlerweile im Bundesverband deutscher Wasserkraftwerke (BDW) organisiert, brachten ihr Anliegen auf die politische Ebene. Nachdem auch durch eine Nachbesserung der Vereinbarung kein wesentlicher Fortschritt erzielt werden konnte, setzten sich die Wasserkraftverbände Ende der 1980er Jahre für eine gesetzliche Regelung ein. Unterstützt wurden sie dabei von den Befürwortern der Windenergie, die darin auch eine Chance sahen, ihren Strom besser zu vermarkten.

Eine parteiübergreifende Initiative von Bundestagsabgeordneten für die Erneuerbaren Energien mündete im Dezember 1990 in das Stromeinspeisungsgesetz (StrEG). Hiermit gab es erstmals eine gesetzliche Regelung der Einspeisevergütung für Strom aus Erneuerbaren Energien. Das Zustandekommen ist nicht zuletzt auf den damaligen Bundestagsabgeordneten und Vorsitzenden der „Vereinigung Wasserkraftwerke in Bayern“, Matthias Engelsberger (CSU), zurückzuführen. Er erkannte die Chancen, die in einem gemeinsamen strategischen Vorgehen mit den Windkraftbefürwortern lagen.



Matthias Engelsberger († 2005), ehemaliges Mitglied des Deutschen Bundestages (CSU), ehemaliger Vorsitzender des Bundesverbands deutscher Wasserkraftwerke (BDW), einer der „Väter“ des Stromeinspeisungsgesetzes.

Die im StrEG festgelegte Mindestvergütung erlaubte es, längst überfällige Modernisierungen und teilweise auch Erweiterungen von Wasserkraftwerken vorzunehmen. Denn die Einnahmen waren fortan kalkulierbar. Während sich die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen verbesserten, rückte jedoch der schlechte ökologische Zustand der Fließgewässer stärker ins Bewusstsein. Nicht zuletzt die Europäische Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie und die Wasserrahmenrichtlinie machten es erforderlich, die Durchgängigkeit für wandernde Fischarten und die hydraulischen Verhältnisse zu verbessern. Dies stand oftmals einer Modernisierung und Wiederinbetriebnahme von Altstandorten sowie der Erschließung neuer Standorte entgegen. Angesichts dieser hemmenden Faktoren löste das StrEG zwar positive Impulse, jedoch keinen deutlichen Wachstumsschub aus.

Modernisierung unter ökologischen Auflagen (ab 2000)

Auch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 2000 trug kaum dazu bei, neue Standorte für die Wasserkraft zu erschließen. Sowohl beim Ausbau bestehender Anlagen als auch bei Neuplanungen waren Auflagen zur naturverträglichen Gestaltung zu beachten. Deren Kosten erwiesen sich insbesondere bei Neuanlagen als zentrales Hemmnis. Die EEG-Vergütung ermöglichte lediglich den Bestandserhalt und die Modernisierung stark überalterter Anlagen. An einigen Altstandorten konnten Ausbaumaßnahmen in Verbindung mit einer Modernisierung der Steuerungstechnik eine Leistungssteigerung bewirken. Die Optimierung der Steuerungstechnik trug zur Verstetigung der Stromerzeugung und zur Verbesserung der Wirkungsgrade bei der Stromwandlung bei.



Fischpass am Wasserkraftwerk Wyhlen

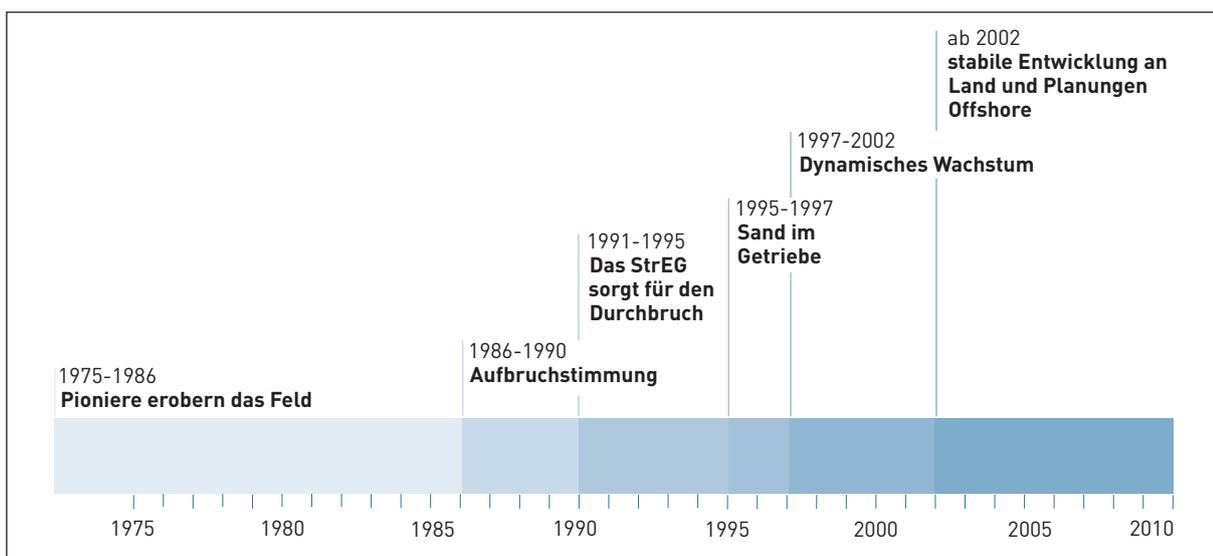
Im EEG 2004 wurde die Vergütung für die Wasserkraft um eine „ökologische Steuerungskomponente“ erweitert. Die Zahlung der Vergütung wurde an eine Verbesserung der Durchgängigkeit des Fließgewässers geknüpft, etwa durch Fischaufstiegshilfen oder Umgehungsgewässer. Mit Hilfe eines Leitfadens sowie eines Demonstrationsprojekts, das die Umsetzbarkeit der Anforderungen zeigte, konkretisierte das Bundesumweltministerium die Anforderungen. Die Bindung der Vergütungszahlung an ökologische Kriterien ist beispielhaft dafür, wie Konflikte zwischen Erneuerbaren Energien und dem Naturschutz vermindert werden können. Aus Sicht der Wasserkraftbetreiber entstehen jedoch durch die zusätzlichen ökologischen Anforderungen höhere Kosten, die durch die Vergütung nicht abgedeckt sind. Diese Unterfinanzierung wird als Grund dafür genannt, dass die Mobilisierung der noch vorhandenen Potenziale trotz einer leichten Belebung der Wasserkraftnutzung hinter den technischen Möglichkeiten zurückbleibt.

Viele Experten rechnen aufgrund der umweltrechtlichen Restriktionen auch künftig mit einer geringen Entwicklungsdynamik der Wasserkraft. Akteure der Erneuerbare-Energien-Branche zeigen sich demgegenüber wesentlich optimistischer. So gehen der Bundesverband Erneuerbare Energie und der Bundesverband Deutscher Wasserkraftwerke davon aus, dass der Beitrag der Wasserkraft zur Stromerzeugung in den nächsten zehn Jahren um etwa die Hälfte steigen kann.

Windenergie

In der öffentlichen Wahrnehmung gilt die Windenergie als Vorreiter der Erneuerbaren Energien. Sie etablierte sich nach der Wasserkraft als neue Form der dezentralen und regenerativen Energiegewinnung. Windenergie deckte in Deutschland im Jahr 2009 6,6 Prozent des Strombedarfs. Im Jahr 2004 übertraf die Menge des Windstroms mit 25,5 Terrawattstunden (TWh) erstmals den Beitrag der Wasserkraft in Höhe von 21 TWh. Dies gelang trotz des Widerstands vor allem durch Akteure aus der konventionellen Energieversorgung und trotz der Schwierigkeiten, die die fluktuierende Energiebereitstellung für die Integration in das bestehende Versorgungssystem mit sich bringt. Rückblickend ist die Entwicklung der Windenergie in Deutschland eine Erfolgsgeschichte, die in den 1970er Jahren begann und bis heute anhält.

Entwicklung der Windenergie



Pioniere erobern das Feld (1975-1986)

Die Ölpreiskrise, drängende Umweltprobleme und der Konflikt um die Atomkraft in den 1970er und 1980er Jahren führten zu einem Bewusstseinswandel in der Gesellschaft und zwangen die energiepolitischen Akteure dazu, nach Alternativen zu suchen. Die Windenergie wurde erstmals als eine - wenn auch untergeordnete - Möglichkeit wahrgenommen, die Importabhängigkeit von Öl und Gas zu verringern.

Erste Windenergie-Projekte in den USA und vor allem in Dänemark weckten das Interesse Deutschlands an dieser Technologie. Anfang der 1980er Jahre gab es in Dänemark bereits eine serienmäßige Produktion von Windenergieanlagen im Leistungsbereich bis etwa 50 Kilowatt. Die dänischen Anlagen waren dafür bekannt, robust und zuverlässig zu sein. Weiteren Auftrieb gab eine Programmstudie zur Windenergienutzung unter der Leitung von Professor Dr. Ulrich Hütter², die der Windenergie ein großes Zukunftspotenzial bescheinigte.

Die Bundesregierung unterstützte zunächst vor allem die Großanlagenforschung mit großem finanziellem Aufwand. Bis 1988 stellte das Bundesforschungsministerium insgesamt 218 Millionen DM zur Verfügung. Davon entfielen mehr als 90 Millionen DM auf den so genannten GROWIAN, eine Großwindanlage mit einer Nennleistung von drei Megawatt. Am GROWIAN waren das Bundesforschungsministerium, große Energieversorger, Industrieunternehmen und Wissenschaftler beteiligt. Der Versuch eines

² Professor Dr. Ulrich Hütter, Leiter des Instituts für Flugzeugbau an der TH Stuttgart 1959 bis 1980, Pionier der Entwicklung von Windenergieanlagen und Faserverbundbauteilen.

technologischen Entwicklungssprungs scheiterte jedoch nach wenigen Jahren aufgrund von Problemen mit Konstruktion und Werkstoffen.

Parallel zu den großtechnischen Forschungsbemühungen trieben engagierte Ingenieure und überzeugte Bastler die Entwicklung im Kleinen voran. Sie entwickelten die ersten funktionierenden Anlagen in der Leistungsklasse von zehn bis 50 Kilowatt. Ihre Motivation lag in einer umweltfreundlichen und dezentralen Energieerzeugung, der Unabhängigkeit von Ölimporten und dem Ausstieg aus der Atomenergie. Auch Landwirte waren wichtige Akteure, da sie Strom aus Windenergieanlagen für den Eigenbedarf nutzten. Diese ersten Anlagen waren jedoch noch vom konventionellen Energieversorgungssystem isoliert. Die Windenergie befand sich im Experimentierstadium und trug noch kaum zur Energieversorgung bei. In dieser Phase zeigte sich aber, dass öffentliches Bewusstsein und zivilgesellschaftliches Engagement zentrale Schubkräfte für Innovationen darstellen.



Großwindanlage Growian



Aloys Wobben, Geschäftsführer der Enercon GmbH, Elektroingenieur und Pionier der Windenergie

„Die Windenergie trägt schon heute entscheidend dazu bei, dem Klimawandel entgegenzuwirken. Nur mit einem hohen Anteil an Windenergie an der deutschen Stromversorgung kann eine nachhaltige, unabhängige Energieversorgung sichergestellt werden.“

Aufbruchstimmung (1986-1991)

Die Reaktorkatastrophe in Tschernobyl 1986 führte die Risiken der Nukleartechnologie drastisch vor Augen. Zudem stellte das erstarkende Bewusstsein für den Klimaschutz maßgebliche Weichen für die Entwicklung der Erneuerbaren Energien in Deutschland. Die Bedeutung, die der Klimaschutz auf der politischen Tagesordnung gewonnen hatte, zeigte sich in der Einrichtung der Enquête-Kommission des Bundestages „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“. Deren Abschlussbericht 1990 förderte eine positive Haltung der Öffentlichkeit gegenüber der Windenergie und anderen Erneuerbaren Energien. Gleichzeitig drängte die Europäische Union auf eine Öffnung der Energiemärkte für neue Akteure.



Dr. Peter Ahmels, Landwirt, Leiter des Bereichs Erneuerbare Energien bei der Deutschen Umwelthilfe, 1996 bis 2007 Präsident des Bundesverbandes WindEnergie.

„Der aus Windkraftanlagen erzeugte Strom ersetzt konventionelle Kraftwerkskapazitäten. Jede mit Windenergie erzeugte Kilowattstunde vermeidet Treibhausgasemissionen.“

Bis 1991 wurde der Windstrom vorwiegend in lokale Netze eingespeist. Dafür musste der Netzananschluss mit Einspeiseerlaubnis und Vergütungssatz individuell mit den Energieversorgern vor Ort ausgehandelt werden. Ob ein Vertrag zustande kam, war vielfach von Unwägbarkeiten begleitet und hing vom Ermessen des Energieversorgers ab. Eine Windenergieanlage zu errichten und zu betreiben war deshalb zur damaligen Zeit noch mit großen finanziellen Risiken verbunden. Umso wichtiger waren die ersten Förderprogramme für die Entwicklung der Windenergie.

Die ersten Windenergie-Förderprogramme

Mitte der 1980er Jahre gab es noch keine systematische Förderung der Erneuerbaren Energien, aber erste Förderprogramme für Windenergie und Photovoltaik auf Bundes- und Landesebene trafen auf hoch motivierte Akteure. Sie hatten ein großes Interesse daran, die Windkrafttechnologie weiterzuentwickeln. Die Phase von 1986 bis 1990 kann daher als „Aufbruch“ für die Windenergie charakterisiert werden.



Jens Peter Molly, Leiter des Deutschen Windenergie-Instituts in Wilhelmshaven. **„Maßgebliche Akteure in der Anfangsphase der Windenergieentwicklung waren enthusiastische, von der Windenergie überzeugte Ingenieure und Forscher, kleine Maschinenbauunternehmen und die ersten Nutzer der Windenergie, meist Landwirte, Privatpersonen oder kleine Betriebe.“**

Die Förderpolitik war durch eine Neuorientierung charakterisiert: Die Förderprogramme hatten eine weniger forschungs- und entwicklungsorientierte Stoßrichtung, sondern konzentrierten sich auf die schrittweise Einführung zuverlässiger und markttauglicher Anlagen. Mit dem „100-MW-Wind-Programm“ setzte das Bundesforschungsministerium unter Heinz Riesenhuber (CDU) 1989 einen wichtigen Impuls. Mit Hilfe dieses Programms sollte innerhalb von fünf Jahren eine Windenergieleistung von 100 Megawatt installiert werden. Wegen der hohen Anzahl von Anträgen wurde das Programm bereits 1991 modifiziert und auf 250 Megawatt erweitert. Das Bundesforschungsministerium schaffte so eine entscheidende Grundlage für die Markteinführung und Entwicklung der Technologie.

Auch die Bundesländer Niedersachsen und Schleswig-Holstein begannen, die Windenergie zu fördern. So wurde 1987 unter dem niedersächsischen Wirtschaftsminister Karl Walter Hirche ein erstes Landesförderprogramm aufgelegt. Durch die Kombination von Bundes- und Landesfördermitteln kam es zu einer wirkungsvollen Anschubfinanzierung. Kritiker sprachen zwar von einer „Überförderung“. Jedoch hatten gerade die hohen finanziellen Anreize zur Folge, dass viele Firmen in den Markt eintraten und die so entstehende Konkurrenz die technologische Weiterentwicklung vorantrieb.

Technische Entwicklungen in der Aufbruchphase

Die staatliche Förderung von Kleinanlagen führte zunächst zu unterschiedlichen technischen Konzeptionen. Keine davon konnte sich allerdings bis Ende der 1980er Jahre durchsetzen, geschweige denn Marktreife erlangen. Nach dem GROWIAN-Experiment zeichnete sich eine Weiterentwicklung von robusten zwei- und dreiflügeligen Kleinanlagentypen mit Horizontalachse ab. Der Dreiblattrotor mit gekoppelter Netzanbindung, das so genannte „dänische Konzept“, hatte sich in Dänemark bereits bewährt und wurde nun zum Ausgangspunkt der deutschen Entwicklung.

Die Windenergietechnologie konnte auf das Know-how aus dem traditionellen deutschen Maschinenbau, dem Turbinenbau sowie auf Wissen aus der Verbundstofftechnik zurückgreifen. Zwar wurden zunächst nur kleine Leistungssteigerungen erreicht, dies lenkte aber die Aufmerksamkeit auf die noch schlummernden Potenziale der Windenergie.

Erste planerische Vorgaben

Schleswig-Holstein und Niedersachsen übernahmen aufgrund der hohen Nachfrage nach Baugenehmigungen in den Küstenregionen eine Vorreiterfunktion bei der Entwicklung einheitlicher Vorgaben für die Planung und Genehmigung der Anlagen. So arbeiteten zum Beispiel die schleswig-holsteinischen Kommunen bereits 1984 mit „Richtlinien für die Auslegung, Aufstellung und das Betreiben von Wind-

kraftanlagen“, die die Auslegung der bestehenden Gesetze spezifizierten. Aufgrund der rasanten Entwicklung zeichnete sich in den windreichen Küstenzonen bereits Ende der 1980er Jahre eine Konkurrenz der vorwiegend privaten Betreiber um Standorte und Genehmigungen ab.

In küstenferneren Bundesländern überwogen hingegen weiterhin Einzelfallentscheidungen. Ob diese positiv oder eher restriktiv ausfielen, war stark davon abhängig, ob die Windenergie als energiepolitische Alternative oder als wirtschaftliches Standbein der ortsansässigen Landwirtschaft angesehen wurde.

Der Durchbruch (1991-1995)

Für die Entwicklung der Windenergie war das Stromeinspeisungsgesetz (StrEG) vom 1.1.1991 von zentraler Bedeutung. Die darin festgelegte Einspeisevergütung und das zugleich wirksame 250-MW-Programm ließen das Interesse an der Windenergie deutlich wachsen. Das 250-MW-Förderprogramm unterstützte die Betreiber von Windenergieanlagen über eine Laufzeit von insgesamt 15 Jahren und ergänzte die wirtschaftlich noch nicht ausreichenden Anreize des StrEG.

In der Folge entstand eine zunehmend professionelle Windenergiebranche mit einer Vielzahl kleiner und mittlerer Unternehmen. Die Entwicklung der Windenergie wurde nun nicht mehr nur durch ideelle Werte des Umweltschutzes, sondern auch durch kommerzielle Interessen vorangetrieben. Sie wurde nicht mehr nur durch einzelne engagierte Pioniere oder Betreiber getragen, sondern vor allem durch die in Zahl und Größe wachsenden Anlagenhersteller. Anzahl und Leistungsfähigkeit der Windenergieanlagen stiegen in raschem Tempo.



Hermann Albers, Präsident des Bundesverbands WindEnergie, Unternehmer in den Bereichen Landwirtschaft und Erneuerbare Energien.

„Klimaschutz und Windenergie sind untrennbar. Windenergie ist die weltweit größte und preisgünstigste Ressource. Wir können eine sichere Stromversorgung aus erneuerbaren Energiequellen auch zur Zeit der höchsten Stromnachfrage zuverlässig gewährleisten.“

Die zuvor noch breite Variation der Technik (Ein-, Zwei- und Dreiflügler, unterschiedliche Bauarten, Klein- und Großanlagen) konzentrierte sich auf ein einheitliches technisches Format: horizontale Achse, Dreiblattrotor, Luvläufer³ und Stahlrohturm. Die Anlagen wurden deutlich zuverlässiger und effizienter und konnten mit technischen Innovationen aus dem Bereich der Leistungselektronik verbessert werden. Allerdings bestanden auch noch viele Betriebsrisiken angesichts der noch nicht voll ausgereiften Technologie.

Eine innovative Leistung bestand darin, neue Betreiberformen zu erschließen. Der Betrieb von Windenergieanlagen durch Bürgerinitiativen („Bürgerwindkraftwerke“) unter dem Prinzip der Selbstorganisation und der ehrenamtlichen Aufgabenbewältigung war neu auf dem Sektor der Energieversorgung. Die GmbH und Co KG wurde zu einer typischen Gesellschaftsform für Betreibergemeinschaften. Sie bot neben einer Haftungsbeschränkung und der Aussicht auf Rendite steuerliche Vorteile durch die Abschreibung der Windenergieanlagen. In Bürgerwindprojekten konnten die Investitionen auf viele Schultern verteilt werden und viele Ortsansässige am Gewinn teilhaben. Dies unterstützte sowohl die Verbreitung der Anlagen als auch die Akzeptanz der Windenergie vor Ort.

Die räumliche Ausbreitung immer größerer Anlagen setzte allerdings Länder und Kommunen unter Druck. Sie mussten sich mit der Neuregelung der räumlichen Steuerung und der Genehmigung von Windenergieprojekten befassen, um zunehmende Konflikte zwischen der Windenergienutzung und Zielen des Umwelt- und Naturschutzes zu bewältigen.

3 Bei Luvläufern ist der Rotor auf der dem Wind zugewandten Seite angebracht (Luvseite).

Sand im Getriebe (1995-1997)

Die dynamische Entwicklung der Windenergie geriet Mitte der 1990er Jahre ins Stocken, als sie sich mit neuen Widerständen konfrontiert sah. Die konventionelle Energiewirtschaft bekämpfte das StrEG und klagte bis zum Europäischen Gerichtshof. Unterschiedliche politische Ressorts setzten widersprüchliche Signale: Einerseits sollten die Vergütungssätze im StrEG zum Schutz der Verbraucher gesenkt werden, andererseits sollten die Betreiber mit der Beibehaltung der Vergütungshöhe stabile Rahmenbedingungen erhalten. Gleichzeitig liefen Förderprogramme der Bundesländer aus.

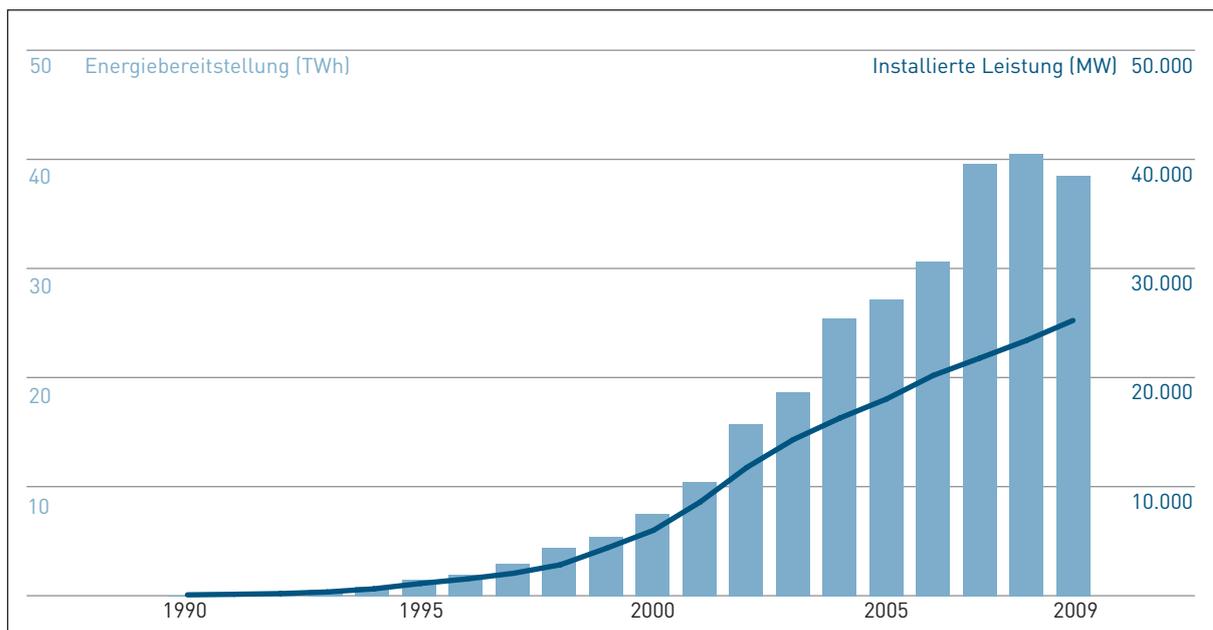
Im Kampf gegen das StrEG kürzten einzelne Energieversorgungsunternehmen auf eigene Faust Einspeisern die gesetzlich vorgegebene Vergütung. Sie strebten damit Musterprozesse an, um die Verfassungsmäßigkeit des StrEG prüfen zu lassen. Dieses Vorgehen stieß in der Öffentlichkeit auf massive Kritik. Auch Bundestagsabgeordnete aller Parteien äußerten ihre Missbilligung und forderten die Stromversorger auf, das Einspeisungsgesetz in der vom Bundestag beschlossenen Form anzuwenden. Erst ein Urteil des Europäischen Gerichtshofs im Jahr 2001 beendete die Phase der Verunsicherung. Darüber hinaus kritisierten Bürgerinitiativen und Naturschutzverbände die Windenergienutzung, weil sie zunehmend Naturraum beanspruchte. Insbesondere in Regionen mit günstigen Windverhältnissen kam es zu einer Auseinandersetzung um den befürchteten „Wildwuchs“ von Windenergieanlagen. Die Kommunen lehnten vermehrt Bauanträge ab. Die genehmigungs- und planungsrechtlichen Bestimmungen des Baugesetzbuches passten nicht mehr zur enorm gestiegenen Nachfrage nach Standorten und Baugenehmigungen. Die Folge war ein Genehmigungs- und Investitionsstau. Auch technische Engpässe spielten eine Rolle. Zu geringe Kapazitäten des Stromnetzes führten in einzelnen Regionen dazu, dass Netzanschlüsse verzögert wurden.

Die noch junge Branche geriet unter Druck. Für einige Unternehmen entstanden wirtschaftliche Probleme, da die Entwicklungszyklen für neue Anlagen sehr kurz waren, die Technologien sich als fehleranfällig erwiesen und zugleich ein hoher Konkurrenz- und Preisdruck auf dem Markt herrschte. Diese schwierige Phase Mitte der 1990er Jahre war außerdem geprägt durch starke Rechts- und Planungsunsicherheiten. Die Entwicklung im Windenergiemarkt stagnierte.

Dynamisches Wachstum (1997-2002)

Etwa ab 1997 wurde die kritische Phase jedoch überwunden und ein rasanter Entwicklungsschub der Windenergie setzte ein. Auslöser waren verschiedene Faktoren: Zum 1. Januar 1997 trat eine neue Privilegierungsregelung im Baurecht in Kraft. Für Windenergieanlagen besteht seither grundsätzlich ein Rechtsanspruch auf eine Baugenehmigung - es sei denn, wichtige öffentliche Belange sprechen dagegen. Dazu gehören Natur- und Artenschutz, die Erholungsfunktion der Landschaft oder eine drohende Verunstaltung des Ortsbildes. Zugleich können Städte und Gemeinden „Konzentrationszonen“ für Windenergie ausweisen. Die Ausweisung dieser Flächen hat zur Folge, dass alle übrigen Flächen von Windenergieanlagen frei bleiben.

Leistung und Stromerzeugung aus Windenergie



Quelle: BMU; Stand: 8/2010

Der Wechsel der Bundesregierung 1998 brachte neue politische Akteure und Leitbilder mit sich, die sich günstig auf die Entwicklung der Windenergie auswirkten. Von zentraler Bedeutung war die Weiterentwicklung des Stromeinspeisungsgesetzes zum Erneuerbare-Energien-Gesetz im Jahr 2000. Dieses brachte eine weitergehende Absicherung für die Betreiber von Erneuerbare-Energien-Anlagen, lockte Investitionen an und sorgte dafür, dass die Zahl der Anlagen weiter stieg.



Windenergieanlagen sind für viele Landwirte ein zweites wirtschaftliches Standbein

Das Modell der Einspeisevergütung fand viele Befürworter in unterschiedlichen politischen Gruppen: Erneuerbare-Energien-Verbände, Umweltverbände, der Bauernverband, die evangelische Kirche oder die IG Metall setzten sich für die Förderung der Erneuerbaren Energien ein. Überdies sprachen sich

Vertreter aller im Bundestag vertretenen Parteien dafür aus. Eine solche Allianz für den Ausbau der Erneuerbaren Energien hatte es bis dahin in der deutschen Energiepolitik noch nicht gegeben.

Im Jahr 2001 urteilte der Europäische Gerichtshof, dass die deutsche Stromeinspeisevergütung mit dem EU-Recht vereinbar sei. Die Windenergiebranche, mittlerweile ein erfolgreicher und etablierter Zweig des Energieversorgungssystems, setzte ihr dynamisches Wachstum fort. Der Erfolg wurde durch eine Kombination aus umwelt- und wirtschaftspolitischen Zielsetzungen begünstigt. Allerdings äußerten sich auch in dieser Phase kritische Stimmen: Die wachsende Größe der Windparks und entsprechend hohe Investitionssummen gingen mit einer zunehmenden Anonymisierung der Investoren und negativen Auswirkungen auf das Landschaftsbild einher. Damit nahm der Widerstand lokaler Interessengruppen zu - trotz einer hohen Akzeptanz der Windenergie in der Gesamtbevölkerung.

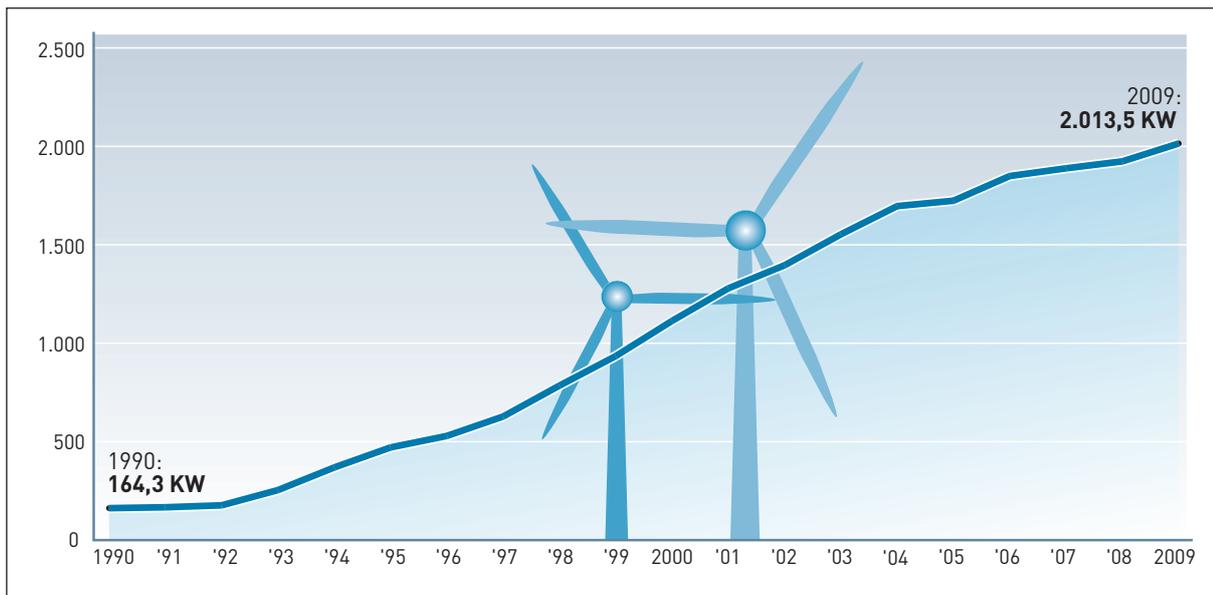
Stabile Entwicklung an Land und Planungen Offshore (seit 2002)

Seit 2002 hat die Dynamik des Zubaus von Windenergieanlagen an Land nachgelassen. Es ist schwieriger geworden, geeignete Standorte ohne Nutzungskonkurrenzen zu erschließen. Gleichzeitig ist das Repowering bislang aufgrund von baurechtlichen Regulierungen nur langsam in Gang gekommen. Repowering bedeutet, kleinere und ältere Anlagen durch neue, leistungsstärkere zu ersetzen.

Dennoch bewegt sich der Kapazitätszubau der Windenergie auf stabilem Niveau. Das ist nicht zuletzt der zunehmenden Leistung pro Anlage zu verdanken, die den erreichten technischen Fortschritt dokumentiert. Lag die durchschnittliche Leistung einer im Jahr 2002 installierten Windenergieanlage bei 1,4 Megawatt (MW), bringt es eine durchschnittliche Anlage aus dem Jahr 2010 auf gut 2 MW. Auch 5 MW-Anlagen haben mittlerweile Serienreife erlangt. Jährlich kommen insgesamt fast zwei Gigawatt Windenergieleistung in Deutschland dazu, so dass die insgesamt installierte Leistung von zwölf Gigawatt im Jahr 2002 auf knapp 26 Gigawatt Ende 2009 gewachsen ist.

Verzweifelfachung der Anlagenleistung in der Windenergie seit 1990

Durchschnittliche Leistung neu installierter WEA



Quelle: Deutsches Windenergie-Institut; Stand: 6/2010



Moderne Windenergieanlagen in Norddeutschland

Die Entwicklung der Windenergie ist jedoch nicht nur durch höhere Türme und größere Rotoren gekennzeichnet, sondern auch durch eine verbesserte Technik. Heute gibt es Anlagen, die für die jeweiligen Windverhältnisse an der Küste oder im Binnenland optimiert sind. Auch neue Generatorkonzepte verbessern die Effizienz⁴. Parallel zu den technischen Verbesserungen sind die Preise pro erzeugte Kilowattstunde gesunken, seit 1990 um mehr als die Hälfte.

Einen großen Bedeutungszuwachs für Anlagenhersteller und -planer hat seit 2002 der Export gewonnen. Die erfolgreiche Entwicklung in Deutschland hat dazu geführt, dass die deutsche Windindustrie sich mit ihren innovativen Produkten gut auf dem Weltmarkt positionieren konnte. Inzwischen gehen rund 80 Prozent der deutschen Produktion ins Ausland.

Offshore-Windenergie

Im Jahr 2002 beschloss die Bundesregierung in ihrer Offshore-Strategie, die Windenergie zukünftig auch auf dem Meer (offshore) zu nutzen.



Jörg Kuhbier, Senator a.D., Geschäftsführender Vorstand des Offshore Forums Windenergie und Vorstandsvorsitzender der Stiftung Offshore-Windenergie.
„Um die Ausbauziele für Erneuerbare Energien zu erreichen, kommt der Entwicklung und Nutzung der Offshore-Windenergie eine herausragende Bedeutung zu. In Deutschland geht es darum, möglichst schnell praktische Erfahrungen mit Offshore-Windkraftanlagen in Zusammenarbeit mit der maritimen Wirtschaft zu sammeln - als Katalysator für den weiteren Ausbau der Windenergiegewinnung in Nord- und Ostsee.“

⁴ Weitere Informationen zu den technischen Innovationen der Windenergie finden sich im RENEWS Spezial 37 „Innovationsentwicklung der Erneuerbaren Energien“.

Viele Akteure begleiten diese Entwicklung kritisch. Interessenvertreter aus Fischerei, Tourismus, Militär, Seeschifffahrt und Meeresschutz fürchten unerwünschte Folgen durch den Bau großflächiger Offshore-Windparks. Um mögliche ökologische Beeinträchtigungen zu ermitteln, wurde ab 2001 eine umfassende Begleitforschung initiiert. Sie soll die Diskussion versachlichen und letztlich zu einer Minimierung ökologischer Auswirkungen beitragen.

Die Windenergienutzung auf See unterscheidet sich von der auf dem Land. Die Planungen sind durch große Anlagendimensionen charakterisiert. Zudem ist der Einsatz von Windenergieanlagen weitab der Küste und in großer Wassertiefe mit hohen technischen und organisatorischen Herausforderungen verbunden. Offshore-Windparks erfordern hohe Investitionen sowie aufwändige technische und organisatorische Maßnahmen zur Netzanbindung an Land. Für die Netzanbindung müssen neue Seekabelverbindungen geplant, genehmigt und umgesetzt werden.

Im Jahr 2006 wurde eine gesetzliche Regelung verankert, die eine finanzielle Entlastung für künftige Betreiber von Offshore-Windparks mit sich bringt. Danach haben die Netzbetreiber - wie an Land bereits üblich - die Investitionskosten für den Netzanschluss zu tragen, das heißt die Leitungen zwischen Windpark und nächstem Landanschlusspunkt.



Offshore-Windpark Alpha Ventus in der Nordsee

Trotz dieser und weiterer unterstützenden Maßnahmen verzögerte sich jedoch der deutsche Windenergieausbau auf See gegenüber den ursprünglichen Planungen. Daher wurde 2005 die „Offshore-Stiftung⁵“ gegründet. Sie dient dazu die Errichtung von Offshore-Testfeldern voranzubringen und damit eine Initialzündung für den Ausbau der Windenergiegewinnung in Nord- und Ostsee auszulösen. Die

⁵ Stiftung der deutschen Wirtschaft zur Nutzung und Erforschung der Windenergie auf See

Stiftung hält die Rechte an dem Offshore-Windpark „alpha ventus“ in der Nordsee und stellt ihn den Testfeldbetreibern zur Verfügung. Das Bundesumweltministerium hat für die Forschung und Entwicklung im Testfeld über einen Zeitraum von fünf Jahren 50 Millionen Euro bereitgestellt.

Im Jahr 2009 sind die ersten 12 Offshore-Windkraftanlagen im Windpark „alpha ventus“ mit einer Gesamtleistung von 60 Megawatt (MW) in Betrieb gegangen. Darüber hinaus sind Vorbereitungen für die Netzanbindung von bereits 25 genehmigten Windparkprojekten in Nord- und Ostsee getroffen worden. Die geplanten und zum Teil im Bau befindlichen Windparks auf See sollen künftig einen maßgeblichen Beitrag zur nationalen Stromversorgung liefern. Bis zum Jahr 2020 sollen 10.000 MW Windkraftleistung in Nord- und Ostsee installiert sein, die fünf bis sechs Prozent des Strombedarfs in Deutschland decken sollen.

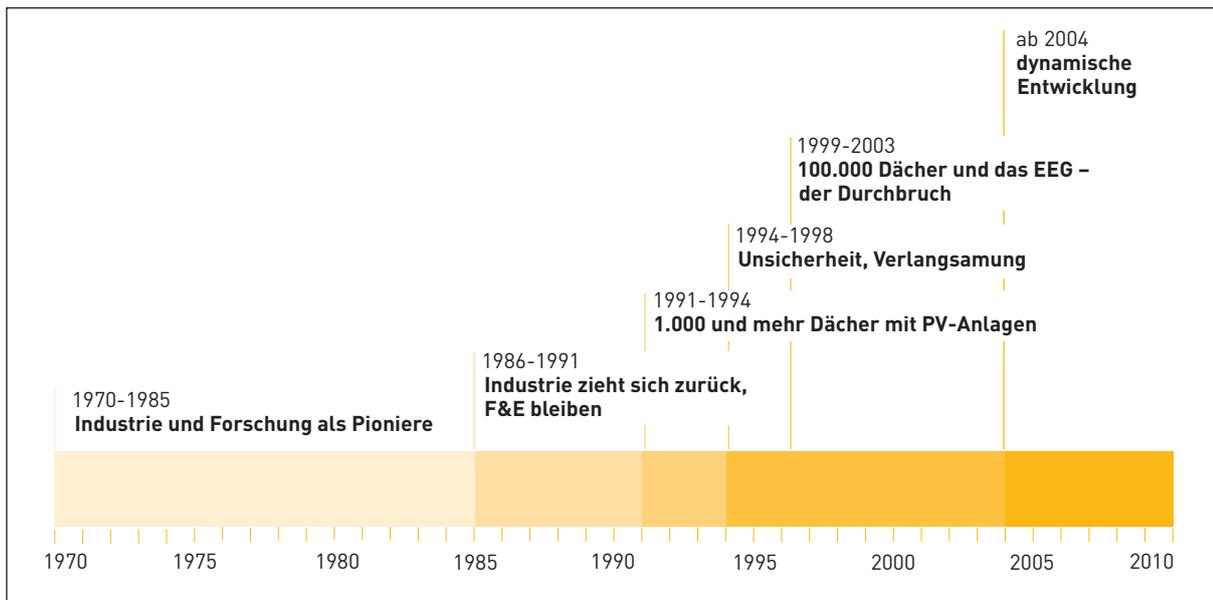
Ausblick

Der Ausbau der Windenergie in Deutschland wird sich auch künftig fortsetzen. Er ist unerlässlich, um Klimaschutzziele, eine nachhaltige Energieversorgung und eine Verringerung der Abhängigkeit von Energieimporten zu erreichen. Dabei kommen dem Ausbau der Stromnetze und der Entwicklung von Speichermöglichkeiten hohe Bedeutung zu.

Photovoltaik

Die solare Stromerzeugung erfolgt in Deutschland ausschließlich durch die Photovoltaik. Nur in Gegenden mit höherer direkter Sonneneinstrahlung, zum Beispiel in Spanien, ist auch die solarthermische Stromerzeugung möglich. Bei der Photovoltaik erzeugen Halbleiter aus dem Sonnenlicht direkt Strom. Bereits im Jahr 1954 wurde in den USA die erste Silizium-Solarzelle präsentiert. Ihre erste Anwendung fand die neue und sehr teure Technologie zunächst nur in der Raumfahrt zur Stromversorgung von Satelliten. Die Photovoltaik-Entwicklung für Anwendungen auf der Erde begann erst später, in Deutschland Mitte der 1970er Jahre. Sie kann in folgende Phasen eingeteilt werden:

Entwicklung der Photovoltaik

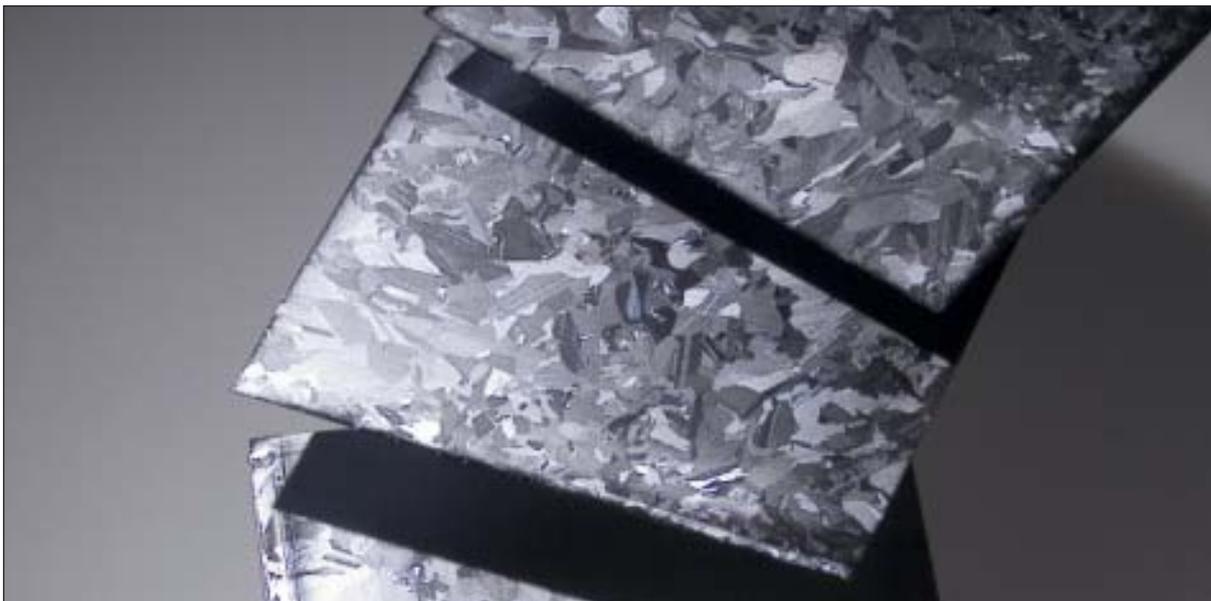


Industrie und Forschung als Pioniere (1970-1985)

Im Zuge der Ölpreiskrisen in den 1970er Jahren trafen auf der Suche nach alternativen Energiequellen die USA und Australien die ersten Investitionsentscheidungen zugunsten der Photovoltaik. In der Folge wuchs weltweit, auch in Deutschland, das Interesse an dieser Form der Stromerzeugung.

Unterstützt durch das Erste Energieforschungsprogramm des Bundesforschungsministeriums testeten zunächst wenige große Industriekonzerne wie AEG und Siemens sowie einige Forschungseinrichtungen die Anwendungsmöglichkeiten der jungen Technologie. Die Unternehmen sahen die industrielle Fertigung schon in Reichweite und hofften, die Photovoltaik kurzfristig wirtschaftlich nutzen zu können. Bereits 1984 waren alle wichtigen Aspekte der Photovoltaik und ihre wesentlichen Bauprinzipien mit industriellem Fertigungspotenzial bekannt:

- Mono- und polykristalline Silizium-Solarzellen, bei denen sehr dünne Metallplatten (Wafer) die Trägerschicht bilden;
- die Dünnschichttechnologien amorphes Silizium, Cadmium-Tellurid und Kupfer-Indium-Sulfid (CIS), bei denen eine dünne Halbleiterschicht auf eine Trägerschicht aus Glas oder Folie aufgetragen wird;
- sowie die Kombination zweier Technologien (Tandemzellen).



Silizium-Wafer

Die Forschungsaktivitäten konzentrierten sich von 1970 bis Mitte der 1980er Jahre auf die Verbesserung der Ausgangsmaterialien für alle Komponenten. Daneben entstanden Demonstrationsvorhaben wie das mit 300 Kilowatt damals weltweit größte Solarkraftwerk auf der Insel Pellworm (1983). Zudem wurde die Anwendung der Photovoltaik in Kleinstgeräten wie Taschenrechnern oder Uhren gefördert.

Rückzug der Industrie, mehr Forschung und Entwicklung (1986-1991)

Das Photovoltaik-Kraftwerk auf Pellworm demonstrierte zwar die Potenziale der Technologie. Die hohen Erwartungen der Industrie in eine schnelle Leistungssteigerung und Marktreife erfüllten sich jedoch nicht. Das Marktinteresse war aufgrund der hohen Anlagenpreise gering, weshalb das industrielle Engagement stagnierte. Einige der Unternehmen gaben die Entwicklung der Photovoltaik wieder auf.



Dr. Gerd Eisenbeiß, 1982 bis 1989 Referatsleiter für Energieeffizienz und Erneuerbare Energien im Bundesforschungsministerium; in den 1990er Jahren Mitbegründer und drei Mal Sprecher des Forschungsverbundes Sonnenenergie. „Damals waren die Zellen so dick, dass sie sich erst nach vier Jahren energetisch amortisiert hatten. Ziel war es, dünnere Wafer zu produzieren, Sägeverluste zu verringern, Wirkungsgrade zu heben, die Prozesse zu vereinfachen und die Anwendung in Systemen vorzubereiten.“

Vor diesem Hintergrund sah sich die Bundesregierung gezwungen zu handeln. Sie stockte die Forschungsmittel im Rahmen des Dritten Energieforschungsprogramms ab 1990 deutlich auf und stärkte die Kooperation zwischen Politik, Unternehmen und Forschung. Neue Forschungseinrichtungen entstanden und bestehende wurden besser ausgestattet. Die Forschung erweiterte das Wissen über die Anwendungsmöglichkeiten von Solarzellen und unterstützte die Produktentwicklung in den Unternehmen.

Engagierte Bürger und Unternehmer setzten große Hoffnungen in die Nutzung der Sonne als Energiequelle. Sie gründeten Verbände und Fördervereine. Neben dem Deutschen Fachverband Solarenergie e.V.⁶ wurden die Unternehmensvereinigung Solarwirtschaft e.V. und die Europäische Vereinigung für

⁶ Seit 1979 als Verband mittelständischer Solarindustrie e.V.

Erneuerbare Energien (EUROSOLAR e.V.) gegründet. Diese Organisationen machten sich stark für eine Weiterentwicklung der Photovoltaik und vertraten die Interessen der neu entstehenden Branche auf nationaler und internationaler Ebene.

In der zweiten Hälfte der 1980er Jahre installierten engagierte Hauseigentümer die ersten Solarstromanlagen auf Wohnhäusern. In dieser Zeit wurde deutlich, dass es für den Ausbau der Photovoltaik in Deutschland wichtig sein würde, die Anlagen an das Stromnetz zu koppeln. Zudem würde die Entwicklung nur durch ein staatlich gefördertes Markteinführungsprogramm wirklich vorangehen.

1000 und mehr Dächer mit Photovoltaik-Anlagen (1991-1994)

Das 1991 in Kraft getretene Stromeinspeisungsgesetz enthielt auch Vergütungssätze für Strom aus Photovoltaik. Diese waren jedoch angesichts der noch immer sehr hohen Kosten viel zu niedrig, um eine schnelle Verbreitung der Technologie zu erreichen. So rief das Bundesforschungsministerium im gleichen Jahr das sogenannte „1000-Dächer-Programm“ ins Leben, welches auf ein schweizerisches Vorbild zurückging.



Photovoltaik-Dach-Anlage

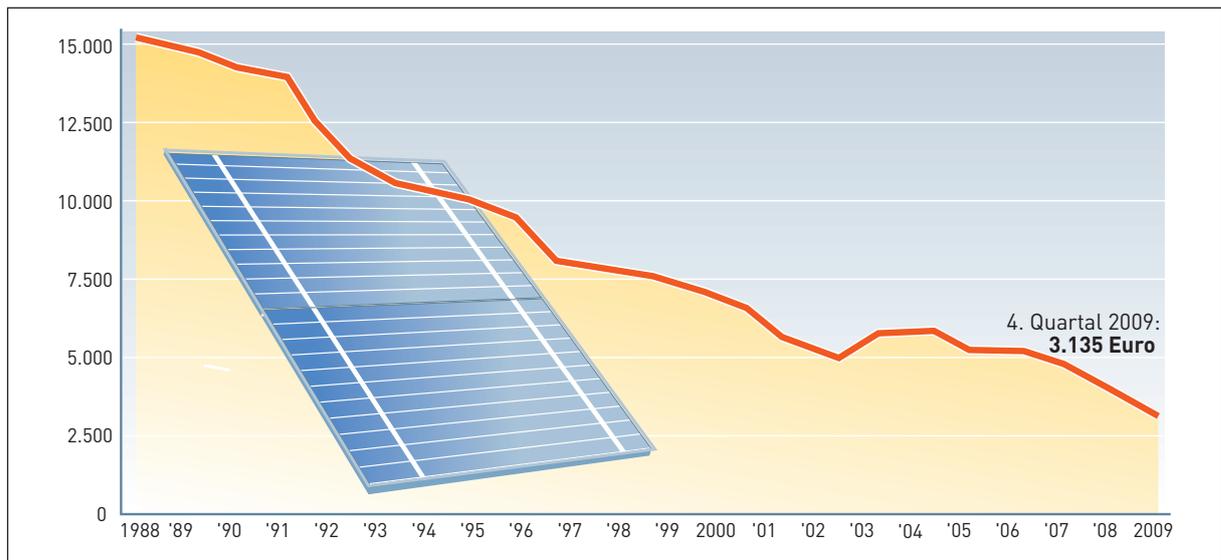
Das von Bund und Ländern gemeinsam finanzierte Demonstrations- und Breitentest-Programm sollte zeigen, dass eine netzgekoppelte Einspeisung von vielen kleinen Photovoltaik-Anlagen technisch möglich war. Während das Stromeinspeisungsgesetz den Netzzugang, die Stromabnahme und eine niedrige Vergütung garantierte, gewährten Bund und Länder im Rahmen des 1000-Dächer-Programms Zuschüsse von bis zu 70 Prozent der Investitionskosten. Dies hatte eine positive Signalwirkung für die Photovoltaikbranche und gab einen wichtigen Impuls für die Weiterentwicklung der Technik.

Das 1000-Dächer-Programm richtete sich gezielt an Eigenheimbesitzer und bezog somit erstmals Privathaushalte in die Energieerzeugung ein. Diese wurden nun zu Stromproduzenten. Insgesamt wurden durch das Programm bis 1995 mehr als 2.200 netzgekoppelte Anlagen mit einer Gesamtleistung von insgesamt 5,3 Megawatt gefördert. Das 1000-Dächer-Programm war zu dieser Zeit das weltweit umfangreichste Förderinstrument für Photovoltaik-Systeme.

Die spezifischen Stromerzeugungskosten der Photovoltaik lagen in dieser Phase mit über einem Euro pro Kilowattstunde noch sehr hoch. Die staatliche Förderung trug entscheidend dazu bei, dass diese Kosten durch den Eintritt in die Massenfertigung und technische Innovationen deutlich reduziert werden konnten. Beispielsweise verringerte die Weiterentwicklung der Wechselrichtertechnologie Ausfallquoten und Verluste bei der Frequenzumwandlung.

Kostenentwicklung der Photovoltaik

Durchschnittspreise in Deutschland in Euro pro Kilowatt (peak)



Quelle: Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, Bundesverband Solarwirtschaft; Stand 6/2010

Neben der industriellen Forschung war in dieser Phase auch die öffentlich geförderte Forschung sehr aktiv. 1990 schlossen sich die relevanten Forschungseinrichtungen im „Forschungsverbund Sonnenenergie“ zusammen (seit 2009 „Forschungsverbund Erneuerbare Energien“). Die dadurch erzielte bessere Vernetzung der Forschung wirkte sich vorteilhaft auf die Entwicklung der Photovoltaik aus und beflügelte den Innovationsprozess.

Unsicherheit und Verlangsamung (1994-1998)

Die Strategie der Bundesregierung zum Ausbau der Photovoltaik in Deutschland war jedoch nicht widerspruchsfrei, denn kein Ministerium fühlte sich zu diesem Zeitpunkt umfassend zuständig. Nach der hoffnungsvollen Phase Anfang der 1990er Jahre gab es nach dem Auslaufen des 1000-Dächer-Programms 1994 keine Anschlussförderung. So bestand zwischen 1994 und 1998 eine hohe Unsicherheit bezüglich der weiteren Entwicklung und Förderung.

Das technische Know-how war in Deutschland zwar bereits weit fortgeschritten und deutsche Forschungseinrichtungen waren führend, aber das Marktwachstum ging aufgrund der ausgelaufenen Förderprogramme deutlich zurück. Das Ausbleiben einer Anschlussförderung an das 1000-Dächer-Programm war eine herbe Ernüchterung für die Branche. Größere Unternehmen schränkten ihr Engagement stark ein oder gaben es ganz auf. Trotz der schwierigen Rahmenbedingungen erkannten einige Unternehmer aber die Zukunftsfähigkeit der Technologie und gründeten neue Betriebe.

Dass trotz des fehlenden Förderkonzeptes auf Bundesebene die Markteinführung nicht ganz abbriss, war einer Vielzahl kommunaler und regionaler Initiativen, Programmen und Projekten zu verdanken.

Sie hielten durch ihre Unterstützung den Markt aufrecht. In einigen Bundesländern wurde die niedrige Bundesförderung durch eigene Landesprogramme aufge bessert, zum Teil sogar durch Programme der Stromversorger.

Von herausragender Bedeutung war ein kommunales Fördermodell, das als „Aachener Modell“ bekannt wurde. Etwa 40 Gemeinden gewährten eine „kostendeckende Vergütung“ für Strom aus Photovoltaik. Betreiber von Solaranlagen erhielten eine betriebswirtschaftlich voll kostendeckende Vergütung für einen vertraglich garantierten Zeitraum von 20 Jahren. Das vom Solarenergie-Förderverein Deutschland e.V. entwickelte Konzept erwies sich als richtungsweisend für die weitere Entwicklung der Photovoltaik. Es bildete ein Kernelement des späteren Erneuerbare-Energien-Gesetzes. Darüber hinaus trugen Gemeinschaftsanlagen (Bürgersolaranlagen) sowie die Aktivitäten von Verbänden dazu bei, die schwierige Lage der deutschen Anlagenhersteller zu entschärfen.



Wolf von Fabek, Mitbegründer und Geschäftsführer des Solarenergie-Förderverein Deutschland e.V.

„Die Interessengegensätze sind in der Photovoltaik besonders stark. Die Stromwirtschaft fürchtet, dass ihr die Kunden weglauen, wenn bald jeder Hausbesitzer seine eigene billige PV-Anlage betreiben kann.“

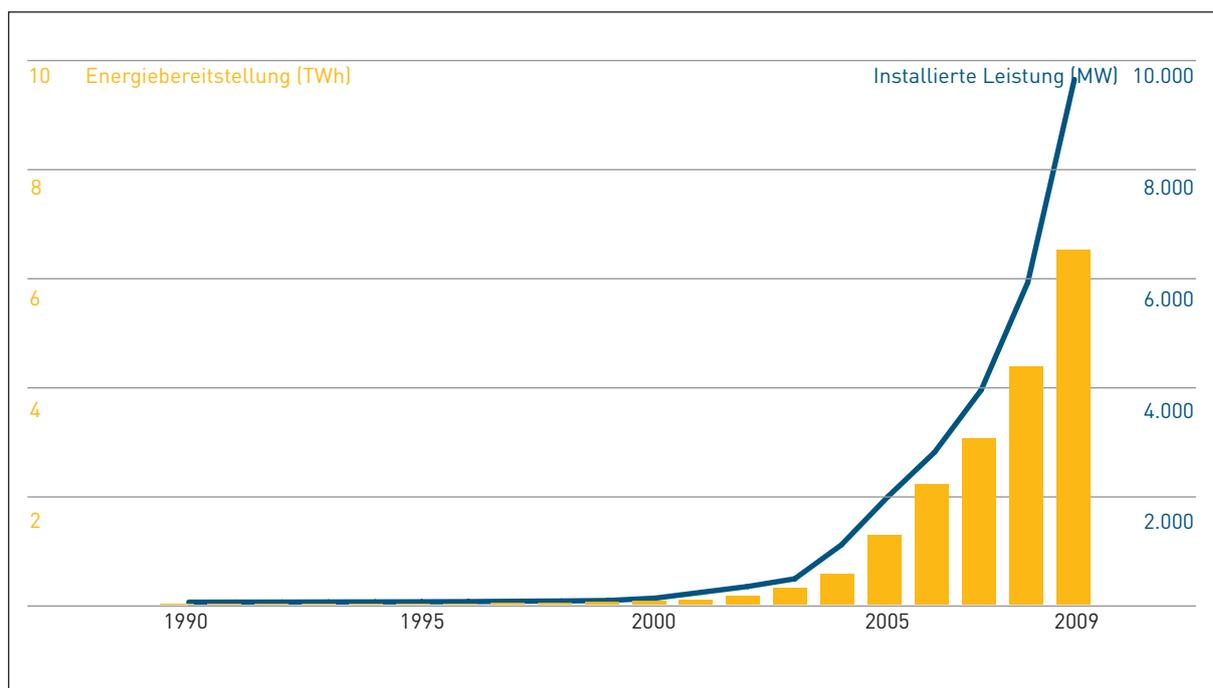
Die positiven und gut dokumentierten Erfahrungen aus dem 1000-Dächer-Programm sorgten dafür, dass die Banken weiterhin Kredite an Investoren vergaben. Auch die Erwartung, dass im sonnenreichen Ausland Märkte für die neue Photovoltaik-Technologie entstehen würden, hielt die Entwicklung am Laufen. Und schließlich trug auch das reichlich vorhandene Risikokapital der so genannten „New Economy“⁷ dazu bei, dass sich einige Hersteller- und Betreiberunternehmen in dieser Phase neu gründeten - trotz ungünstiger nationaler Förderbedingungen. So wurde ein Zeitraum von ca. vier Jahren überbrückt, bevor nach dem Regierungswechsel 1998 ein vielfach gefordertes Markteinführungsprogramm verabschiedet wurde.

100.000 Dächer und das EEG – der Durchbruch (1999-2003)

Die Maßnahmen der 1998 angetretenen Bundesregierung sorgten für einen deutlichen Aufschwung in der Entwicklung der Photovoltaik. Von zentraler Bedeutung war das im Jahr 1999 gestartete 100.000-Dächer-Programm, welches auf ein japanisches Vorbild zurückging. Es war das weltweit größte Kreditprogramm für Photovoltaik. Zusammen mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) aus dem Jahr 2000 boten sich verlässliche und langfristige Rahmenbedingungen für die Photovoltaik und die Solarstromerzeugung wurde wirtschaftlich interessant. Entsprechend stieg die installierte Photovoltaikleistung zwischen 1998 und 2001 um den Faktor Acht auf 186 Megawatt.

⁷ New Economy (engl.: neue Ökonomie) bezeichnete eine neue Wirtschaftsform, die durch das Aufkommen von Computern und neuen Kommunikationsmedien im Zuge der digitalen Revolution entstehen sollte. Sie ist Ende der 1990er Jahre entstanden und in weiten Bereichen schon nach kurzer Zeit gescheitert.

Entwicklung der Photovoltaik in Deutschland von 1990 bis 2009



Quelle: BMU Stand 8/2010

Auch die Bestrebungen der Europäischen Union zur Marktliberalisierung und zur Förderung der Erneuerbaren Energien wirkten sich günstig auf die Photovoltaik-Entwicklung aus. Im Jahr 2001 verabschiedete die EU die „Richtlinie zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitäts-Binnenmarkt“. Sie sicherte das deutsche Erneuerbare-Energien-Gesetz und seinen Vergütungsmodus europarechtlich ab.

Im Jahr 2002 wechselte die Ressortzuständigkeit für Erneuerbare Energien vom Bundeswirtschafts- in das Bundesumweltministerium, wo die Motivation groß war, die neuen Technologien durch angemessene Fördermaßnahmen voranzubringen. Die steigende Nachfrage bewirkte den Aufbau einer industriellen Massenfertigung mit technologischen Fortschritten und einer deutlichen Reduktion der Herstellungskosten. Die Zahl der Beschäftigten in der Solarbranche stieg von 2.500 im Jahr 1999 auf ca. 6.500 im Jahr 2003. Die jährliche Produktionsleistung für Photovoltaik-Module in deutschen Unternehmen erhöhte sich im selben Zeitraum von 6 auf knapp 100 Megawatt.

Angesichts der Effekte für Arbeitsmarkt und Wirtschaft verfolgte die Förderpolitik neben umwelt- und klimapolitischen Zielen zunehmend auch industriepolitische Zwecke. Die wachsende Verbreitung der Photovoltaik führte aber auch dazu, dass die Preise angesichts des begrenzten Angebots an Anlagen stiegen. Außerdem traten erste Konflikte mit dem Denkmalschutz auf.

Dynamische Entwicklung (2004-2010)

Nach dem Ende des 100.000-Dächer-Programms löste die Neufassung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes im Jahr 2004 einen regelrechten Entwicklungsboom aus. Ein Vorschaltgesetz verbesserte die Vergütung von Solarstrom bereits vor Inkrafttreten der EEG-Neufassung deutlich. Die höhere Vergütung sollte die Installation von Photovoltaikanlagen weiterhin primär auf Bauwerke lenken. Dennoch wuchs das Interesse, Anlagen auf Freiflächen zu realisieren, da sich damit hohe Stückzahlen realisieren ließen. Um die Kostenvorteile zu kompensieren, sah das Gesetz für Freiflächenanlagen eine geringere Vergütung vor.

Die Produktionskapazität für Solarmodule in Deutschland stieg zwischen 2003 und 2009 von rund 100 auf 2.065 Megawatt. Gleichzeitig wuchs der Branchenumsatz von 500 Millionen auf rund 9 Milliarden Euro. Damit vervielfachte sich auch die Zahl der in der Photovoltaikbranche Beschäftigten von etwa 6.500 im Jahr 2003 auf 63.000 Ende 2009. Rund 40 Prozent der Arbeitsplätze entfällt auf das Handwerk, das die Anlagen installiert. Der Produktionsschwerpunkt deutscher Unternehmen liegt im Osten Deutschlands. Ein Grund dafür sind die Fördermittel, die den ostdeutschen Bundesländern über EU-Strukturfonds zugänglich sind. Schwerpunkte der Solarindustrie haben sich in Thüringen (um Erfurt), in Sachsen-Anhalt (Bitterfeld), in Brandenburg (Frankfurt/Oder) und in Berlin herausgebildet.

Der Erfolg hatte aber auch eine Kehrseite: Angesichts der anstehenden zweiten EEG-Novellierung zogen die wachsenden Vergütungszahlungen im Jahr 2008 eine intensive Diskussion um ihre Angemessenheit nach sich. Die hohe Nachfrage nach Solaranlagen hatte dazu geführt, dass die Modulpreise nicht im gleichen Maße sanken wie die Produktionskosten. Gleichzeitig machten Solarunternehmen hohe Gewinne. Die Neufassung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes, die 2009 in Kraft trat, legte daher eine höhere Degression der Vergütungssätze fest. Sie betrug statt jährlich 5 Prozent nun zwischen 8 und 10 Prozent. Allerdings fielen die Anlagenpreise im Jahr 2009 weiter um rund 30 Prozent und die Zahl der installierten Solarstromanlagen wuchs deutlich stärker als erwartet. Deshalb wurden die Vergütungssätze im Jahr 2010 zweimal zusätzlich abgesenkt: zum 1. Juli 2010 zusätzlich um 8 bis 13 Prozent und zum 1. Oktober 2010 um zusätzlich 3 Prozent. Darüber hinaus wurde ein Ausbaukorridor zwischen 2.500 und 3.500 Megawatt festgelegt. Liegt der Anlagenzubau darüber, erhöht sich die Degression in den kommenden Jahren; liegt er darunter, reduziert sie sich.

Letztlich illustriert die Diskussion um die Solarstromförderung und die veränderten Vergütungssätze die hervorragende Entwicklung, die die Photovoltaik innerhalb weniger Jahre durchlaufen hat. Für typische Hausdachanlagen bis 30 Kilowatt Leistung fällt die Einspeisevergütung ab Oktober 2010 mit rund 33 Cent/kWh über 40 Prozent niedriger aus als im Jahr 2004.



Säuberung fertiger Solarmodule.

Ausblick

Die Kosten für Photovoltaikanlagen werden künftig weiter sinken. Vermutlich wird Solarstrom in Deutschland bereits in drei Jahren die so genannte Netzparität erreichen, das heißt die Preisgleichheit mit dem Haushaltsstrom. Damit wird es genauso viel kosten, Strom aus neuen Photovoltaikanlagen selbst zu erzeugen, wie Strom vom Versorger zu kaufen. Von diesem Punkt an gewinnen Investitionen in die Photovoltaik eine neue Qualität: Selbst erzeugter Strom ist nun günstiger als vom Stromlieferanten.



Dr. Hubert Aulich, Mitglied des Vorstandes der PV Crystalox Solar PLC. Er begann seine berufliche Laufbahn 1974 in der früheren Solarsparte von Siemens.

„Wir brauchen einen intensiveren Dialog zwischen der Solarindustrie, Architekten, Ingenieuren, Bauherren und Städteplanern, damit die Gebäudehülle mit der Sonne zum Stromproduzenten wird.“

Biogas

Die Stromerzeugung aus Biomasse ist inzwischen die drittgrößte Sparte, die nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz gefördert wird. Während bei der Stromerzeugung aus fester (Holz) und flüssiger Biomasse (Pflanzenöle) schon lange bekannte Stromwandlungstechnologien (Dampfkraftwerke bzw. Dieselmotoren) zur Anwendung kommen, hat das Erneuerbare-Energien-Gesetz im Bereich der Biogaserzeugung und -verstromung umfassende Innovationen ausgelöst. Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf diesen Innovationsprozess.

Im Vergleich zur schillernden Welt der Solarzellen hat die Biogaserzeugung und -verstromung eher ein bodenständiges Image. Die Anlagenkomponenten wie Behälter und Rührwerke stammen aus der Landmaschinenteknik oder der Klärgaserzeugung und wurden von den Pionieren auf die Biogaserzeugung im kleinen Maßstab übertragen. Für die Verstromung konnte man auf Gasmotoren zurückgreifen, so dass auch hierfür keine völlig neuen Technologien entwickelt werden mussten. Im Gegensatz dazu war der Vergärungsprozess eine große Unbekannte. Die zentrale Herausforderung bestand darin, die technischen Anlagenkomponenten aufeinander abzustimmen und den Vergärungsprozess optimal zu steuern, um eine hohe Gas- und Stromausbeute zu erzielen. Im Detail erwies sich diese Aufgabe als durchaus anspruchsvoll.

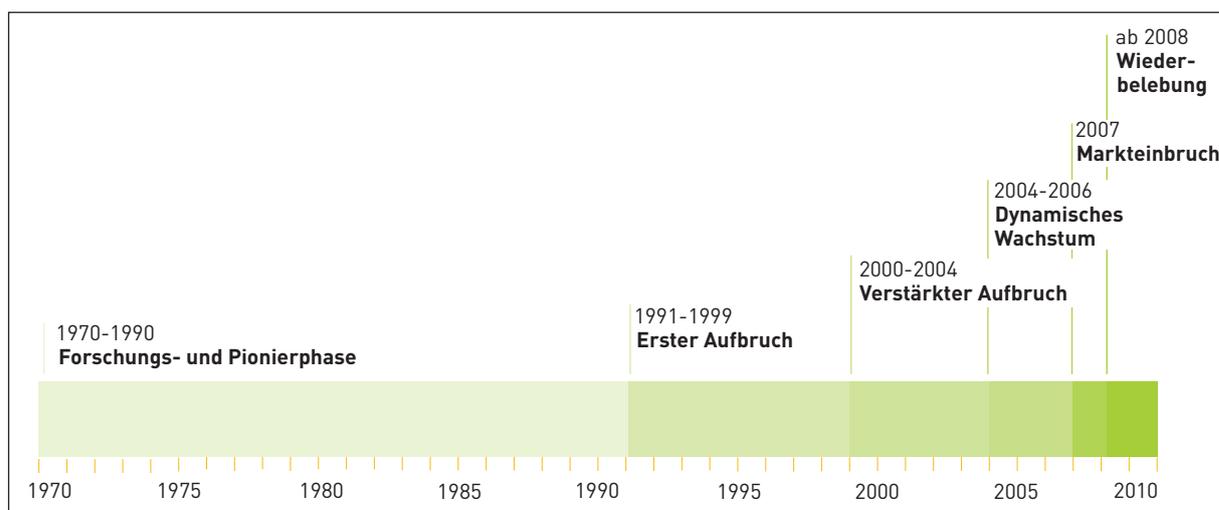
Der Ursprung der Biogasnutzung

Die Wurzeln der Biogasnutzung liegen in der Verwertung von Klärgasen: Prof. Dr.-Ing. Karl Imhoff entwickelte in den 1920er Jahren ein System mit geschlossenen und beheizbaren Faulbehältern für Klärschlamm. Diese fingen das Klärgas auf und ermöglichten dessen Nutzung zum Beispiel in Straßenlaternen. Die Kommunen konnten damit Kosten einsparen, weil sie weniger Stadtgas benötigten. Das Konzept blieb jedoch auf Einzelanwendungen beschränkt.

In der von Brennstoffknappheit gekennzeichneten Nachkriegszeit wurde die Landwirtschaft als Lieferant für brennbares Biogas entdeckt. 1948 wurde die erste landwirtschaftliche Biogasanlage im Odenwald errichtet. In den 1950er Jahren hatte die Biogaserzeugung einen ersten kleinen Aufschwung, allerdings auf sehr niedrigem Niveau: Die Zahl der landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Deutschland (BRD und DDR) lag zu der Zeit schätzungsweise zwischen 50 und 70.

Etwa ab 1950 verbesserte sich die Versorgung mit Kohle und Öl. Erdöl war konkurrenzlos billig, weshalb sich keine Nachfrage nach Biogas als Energieträger entwickelte. Viele der landwirtschaftlichen Biogasanlagen wurden wieder stillgelegt. Erst die Ölpreiskrisen in den 1970er Jahren belebten das Interesse an Biogas als Energiequelle. Zunächst beschränkte sich das allerdings hauptsächlich auf die Klärschlammvergärung. Die landwirtschaftliche Biogasproduktion rückte erst in den 1990er Jahren in den Vordergrund, was seither den Innovationsprozess maßgeblich vorantrieb.

Entwicklung der Biogasnutzung



Forschungs- und Pionierphase (1970-1990)

Die ersten Landwirte, die in der Bundesrepublik Biogasanlagen errichteten, wollten durch die energetische Nutzung hofeigener Reststoffe Energiekosten sparen. Regionen in Bayern und Baden-Württemberg, in denen kleine und mittlere Viehhaltungsbetriebe vorherrschten, bildeten den Schwerpunkt der erwachenden Biogasszene. Auf den Höfen kamen technisch einfache Kleinanlagen zum Einsatz, die von den Landwirten in Eigenbau oder mit Hilfe örtlicher Landtechniker erstellt wurden. Vielfach ging man dabei nach dem Prinzip Versuch und Irrtum vor. Es ging also auch vieles schief. Das Substrat verfaulte statt zu vergären, Rührwerke vermochten es nicht zu homogenisieren oder der Gasmotor erlitt Korrosionsschäden durch den hohen Schwefelgehalt des Biogases. Trotz dieser Rückschläge lernte man in kleinen Schritten aus den Erfahrungen. Der Informationsaustausch unter den Anlagenbetreibern lief vorwiegend über persönliche Kontakte unter den Landwirten.

Für die Forschung war Biogas in dieser Phase allenfalls ein Randthema. Für eine energetische Nutzung wurden zu geringe Potenziale gesehen. Bis Ende der 1970er Jahre maßen Potenzialstudien der Energiegewinnung aus Biogas angesichts der begrenzten Güllemengen keine große Bedeutung zu. Das Bundesforschungsministerium förderte nur einige Pilotprojekte. Den Schwerpunkt für die alternative Energieerzeugung sah man in anderen Sparten. Außerdem galt die Biogaserzeugung im Vergleich zu anderen Technologien als simpel und bereits weitgehend bekannt. Die Forscher sahen angesichts dieser Einschätzungen nur wenig Profilierungsmöglichkeiten und daher wenig Anlass, sich dem Thema zu widmen.

Trotzdem befassten sich einige landwirtschaftliche Forschungsanstalten und universitäre Einrichtungen mit dem Fermentationsprozess. Dies geschah zunächst aus den Motiven Reststoffverwertung und Düngeraufbereitung. Die Vergärung sollte die bei der Tierproduktion anfallende Gülle zu einem besseren Wirtschaftsdünger umwandeln und die negativen Umweltwirkungen moderner Massentierhaltung verringern, vor allem die Nitrateinträge in das Grundwasser. Biogas, das bei der Güllevergärung entstand, war eher ein Nebenprodukt.

Das wirtschaftliche Interesse an der Biogaserzeugung war zu dieser Zeit noch gering und damit auch das Forschungsinteresse und die Fördermittel. In dieser Zeit förderte das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) kleine Demonstrationsanlagen und hielt „das zarte Pflänzchen Biogas“ am Leben.

Protagonisten wie Peter Weiland (Bundesanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig, FAL), Hans Oechsner (Landesanstalt für Landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen, Universität Hohenheim) sowie Heinz Schulz (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, LfL) in Freising-Weißenstephan stellten den Kern des landwirtschaftlichen Forschungsnetzwerks dar. Dabei bildete Heinz Schulz, später Mitbegründer des Fachverbandes Biogas e.V., eine wichtige Schnittstelle zwischen Forschung und landwirtschaftlicher Praxis.



Prof. Dr. Peter Weiland, Leiter des Instituts für Technologie und Biosystemtechnik am Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI); vormals Bundesanstalt für Landwirtschaft (FAL).

„Nach dem 2. Ölpreisschock 1979 baute die FAL im Rahmen umfangreicher Förderung durch das Bundesforschungsministerium eine für damalige Verhältnisse große Biogasanlage (100 Kubikmeter), die erstmals komplett mit entsprechender Messtechnik ausgestattet war. Ziel war es, mehr Einblick in den Prozess zu bekommen, Störungen frühzeitig zu erkennen und natürlich auch die ganze Fermentertechnik zu optimieren.“

Im Unterschied zur Bundesrepublik setzte die ehemalige DDR in den 1980er Jahren auf die Biogas-erzeugung in Großanlagen. Im Zusammenhang mit Anlagen der industriellen Tierproduktion entstanden fünf große Pilotanlagen zur Güllefermentation. Die Motivation lag auch hier in der durch die Massentierhaltung bedingten Gülleproblematik und nicht in der Nutzung von Biogas als Energiequelle. Ziel war es Geruchsbelastungen zu reduzieren und die Gülle ohne Nährstoffverluste als Wirtschaftsdünger verwertbar zu machen. Die Initiative ging von einer Forschergruppe am Institut für Düngungsforschung der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften in Potsdam aus. Sie erprobte im Rahmen des staatlich finanzierten Untersuchungsprogramms verschiedene Verfahren und Systeme, um Konzepte für die Güllebehandlung bei verschiedenen Formen der Massentierhaltung zu entwickeln. In die Begleitforschung waren auch das Institut für Energetik in Leipzig sowie das damalige Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft in Potsdam-Bornim⁸ eingebunden.



Prof. Dr. Bernd Linke, Leiter der Abteilung Bioverfahrenstechnik am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB).

„Wir haben uns in den 1980er Jahren mit der Gülleaufbereitung in industriellen Tierproduktionsanlagen befasst. Dabei konnten wir auf das Know-how aus der Klärgasgewinnung aufsatteln. Die energetische Nutzung des Biogases stand noch nicht im Vordergrund.“

Im Westen wie im Osten war die Biogas-Technologie noch mit erheblichen Problemen verbunden. Insbesondere die verfahrenstechnische Steuerung des Gärprozesses erwies sich als heikel. Immer wieder kam es zu Rückschlägen: Der Gärprozess kippte um, Anlagen mussten aufwändig beräumt und der Gärprozess neu gestartet werden. Die mangelnde Beherrschung des Gärprozesses bedeutete für die Anwender ein hohes Kostenrisiko. Pioniergeist und idealistisches Engagement waren gefragt, um sich weiter mit der Güllevergärung zu befassen.

Erster Aufbruch durch das StrEG (1991-1999)

Nach neueren Erkenntnissen wies Biogas doch ein ausreichendes Potenzial für die Stromerzeugung auf. Das Stromeinspeisungsgesetz sah hierfür auch eine Einspeisevergütung vor. Allerdings war die Aufrüstung der Biogasanlagen mit Gasmotoren noch kostspielig. Um die hohen Stromerzeugungskos-

⁸ Heute Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim (ATB).

ten abzudecken, reichten die Vergütungssätze im Stromeinspeisungsgesetz 1991 noch nicht aus. Mittel aus dem Marktanreizprogramm konnten die bestehenden Wirtschaftlichkeitslücken jedoch verkleinern, wodurch sich erstmals eine wirtschaftliche Perspektive für Biogasproduzenten eröffnete.

Die etwas höheren Vergütungssätze des novellierten Stromeinspeisungsgesetzes 1994 sorgten für eine gewisse Dynamisierung. Ein erster Aufbruch war zu verzeichnen. Neben der Mindestvergütung unterstützten weiterhin Investitionsbeihilfen und günstige Kredite aus dem Marktanreizprogramm den Bau vorwiegend kleiner Biogasanlagen auf Bauernhöfen, die mit Gülle und anderen hofeigenen organischen Reststoffen beschickt wurden.

Mit der Vergütungsregelung für Strom aus Biogas war die Biogasausbeute ein zentraler Faktor für die Wirtschaftlichkeit geworden. Schon früh war klar, dass die Güllevergärung allein keine ausreichend hohen Erträge liefern würde. Die Biogasausbeute ließ sich durch die Mitvergärung (Kofermentation) fester organischer Biomasse oder organischer Abfälle steigern. Das allerdings stellte wiederum höhere Anforderungen an die verfahrenstechnische Steuerung. Trotz anfänglicher Skepsis nahm die Zahl der Kofermentationsanlagen ab Mitte der 1990er Jahre zu. Der Kreis der Akteure erweiterte sich um die Abfallwirtschaft, für die die Vergärung der Reststoffe eine willkommene Verwertungsmöglichkeit war. Nach wie vor geschah die Fortentwicklung der Biogas-Technologien vielfach durch „learning by doing“. Mittels Evaluationen half die landwirtschaftliche Biogasforschung Rückschlüsse für eine optimierte Prozesssteuerung zu ziehen. Für die Praxis war die Gründung des „Fachverband Biogas e.V.“ im Jahr 1992 ein Meilenstein. Er bot eine wichtige Plattform für den fachlichen Erfahrungsaustausch unter Anwendern.

Mitte der 1990er Jahre griff schließlich auch das Bundesforschungsministerium die Themen Biogaserzeugung und Güllefermentation auf. Mit dem Forschungsprogramm „Umweltverträgliche Gülleaufbereitung und -verwertung“ verfolgte es das Ziel, die klimaschädlichen Methanemissionen der Gülleproduktion und -lagerung in Ostdeutschland zu reduzieren. Die im Rahmen des Programms realisierten Demonstrationsprojekte stellten erfolgreich unter Beweis, dass die Biogaserzeugung in größerem Maßstab funktionierte. Erstmals entstanden Anlagen im Leistungsbereich zwischen 300 und 500 Kilowatt. Diese neuen Größenordnungen beflügelten den sich etablierenden Biogasmarkt.



Helmut Döhler, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Teamleiter Biogas.

„Waren bis zu dem Zeitpunkt in der Landwirtschaft nur sehr kleine Anlagen im Bereich von 10 bis 15 kW, maximal 30 kW in der Anwendung, konnte mit dem BMBF-Projekt ein Leistungsbereich von 300 bis 500 kW erschlossen werden. Das war ein entscheidender Schritt für den Biogassektor.“

Das Interesse der Landwirtschaft an der Biogaserzeugung und -verstromung nahm zu. In dieser Phase gründeten Einzelpersonen, die sich das nötige Know-how angeeignet hatten, Unternehmen für die Planung und den Bau von Biogasanlagen der kleinen und mittleren Leistungsklasse. Landtechnikhersteller mit Erfahrungen aus dem Silo-, Behälter- und Rührwerksbau lieferten die Anlagenkomponenten und die Biogasanlagenplaner fügten Verstromungsaggregate sowie eine passende Steuerungstechnologie hinzu.

Das Geheimnis erfolgreicher Anlagenplaner bestand darin, diese Komponenten unter engen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für den konkreten betrieblichen Anwendungsfall zu optimieren. Wurden Hofbiogasanlagen erfolgreich realisiert, verbreitete sich dies über „Mundpropaganda“, was die Nachfrage befeuerte.



Gerrit Holz, Vorstand Technik der BIOGAS NORD AG, Bielefeld.

„Zulieferer waren damals Firmen wie Flygt und UTS Umwelttechnik GmbH (Rührwerke), Eisele GmbH (Pumpen, Beschickung), sowie Firmen wie Wolf oder Sundermann, die im Bereich Betonbehälterbau etabliert waren. Die Hersteller passten die Komponenten an die spezifischen Erfordernisse der Biogaserzeugung an und entwickelten die Komponenten sukzessive zu eigenen Anlagenlinien weiter.“

Mit der Gründung der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) als Projektträger gewann die Biomasse in der Förderpolitik des Bundeslandwirtschaftsministeriums an Gewicht. Das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe richtete sich ab 1995 mehr und mehr auf die energetische Nutzung aus. Einkommensmöglichkeiten durch die Stromerzeugung aus Biogas bildeten ein immer wichtigeres Standbein der ländlichen Entwicklung. Angesichts der wirtschaftlichen Potenziale und mangels einkommenssichernder Alternativen stieg die Bereitschaft der Landwirte, aus Energiepflanzen Biogas und Strom zu gewinnen.



Dr.-Ing. Andreas Schütte, seit 1993 Geschäftsführer der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR).

„Das Stromeinspeisungsgesetz war der Haupttreiber für die Entwicklungen im landwirtschaftlichen Bereich. Obwohl die Vergütungssätze zunächst nicht kostendeckend waren, gab es eine Perspektive für diese Verwertung, und das war wichtig.“

Verstärkter Aufbruch durch das EEG (2000-2004)

Die mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz im Jahr 2000 eingeführte kostendeckende Vergütung verbesserte die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Zuvor war das hohe Investitionsrisiko beim Biogasanlagenbau eine große Hemmschwelle, zumal das verfügbare Kapital in der Landwirtschaft beschränkt war. Die mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz langfristig kalkulierbare Vergütung verminderte das Investitionsrisiko beträchtlich. Zusätzlich erhöhte eine grundlegende Umstrukturierung der EU-Förderbedingungen die Bereitschaft der Landwirte, über alternative Einkommensmöglichkeiten nachzudenken. Durch die Umstellung auf eine flächenbezogene Förderung befürchteten viele Landwirte Einkommensverluste. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz erleichterte ihnen die Entscheidung, einen Teil des Betriebseinkommens zukünftig durch Biogaserzeugung und -verstromung zu erwirtschaften.

Ab dem Jahr 1999 stieg die Anlagenzahl deutlich an. Der Trend ging zu deutlich höheren Anlagenleistungen. Die durchschnittliche Anlagenleistung verdoppelte sich von etwa 60 Kilowatt elektrischer Leistung (kW_{el}) Ende 1999 auf rund 120 kW_{el} im Jahr 2004. Die für die Wirtschaftlichkeit dieser Anlagen notwendige Gasausbeute konnte nur erreicht werden, wenn andere organische Stoffe mitvergoren wurden. Die Potenziale an organischen Reststoffen waren jedoch begrenzt, so dass die Zubaukurve ab 2002 leicht abflachte. Der weitere Ausbau hing davon ab, pflanzliche Anbaubiomasse als Gärsubstrat verfügbar zu machen. Folglich setzte sich der Landwirtschaftssektor dafür ein, verstärkt Biomasse für die Biogaserzeugung anzubauen. Schließlich versprach der Energiepflanzenanbau angesichts des Preisverfalls in der Nahrungs- und Futtermittelproduktion ein wichtiges Standbein der landwirtschaftlichen Einkommenssicherung zu werden. In dieser Hinsicht waren die Ziele zur Sicherung der ländlichen Entwicklung und die Ziele der Förderung Erneuerbarer Energien deckungsgleich.

Die Branche der Anlagenbauer professionalisierte und konsolidierte sich in dieser Phase und brachte neben individuellen, standort- und betriebsspezifischen Lösungen erste „schlüsselfertige Anlagen“ auf den Markt.

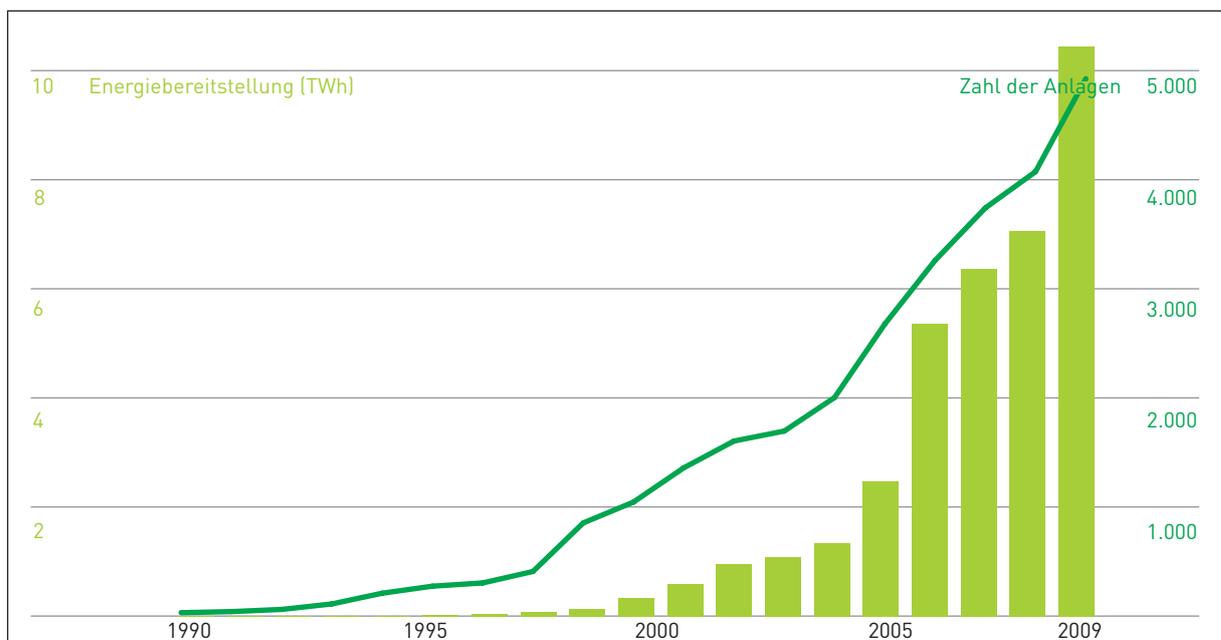


Josef Pellmeyer, Landwirt, Biogasanlagen-Betreiber, stellv. Vorsitzender des Fachverbands Biogas e.V.; Gesellschafter der Biogas-Vereinigung Ostbayern GmbH.
„Die Biogas-Verstromung hat in den vergangenen Jahren durch das Stromeinspeisungsgesetz deutlich an Bedeutung gewonnen. Gute und sichere rechtliche Rahmenbedingungen sind das A und O für die Entwicklung und den Ausbau neuer Technologien. Durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz und natürlich das Marktanreizprogramm des Bundesumweltministeriums ist die Biogasanlage zu einem bedeutenden Betriebszweig nicht nur in der Landwirtschaft aufgestiegen.“

Dynamisches Wachstum (2004-2006)

Im Jahr 2004 waren bundesweit rund 2.000 Biogasanlagen in Betrieb. Weitere Zuwächse schienen möglich und wünschenswert. Unter Federführung des Bundesumweltministeriums wurde die Einspeisevergütung im Erneuerbare-Energien-Gesetz 2004 durch ein Bonussystem erweitert. Zusätzlich zu einer Grundvergütung waren bei Erfüllung der entsprechenden Voraussetzungen ein Kraft-Wärme-Kopplungs-Bonus, ein Bonus für nachwachsende Rohstoffe (NawaRo) sowie ein Technologie-Bonus vorgesehen. Da das Bonussystem die Grundvergütung erhöhte, verbesserte sich die wirtschaftliche Attraktivität der Stromerzeugung aus Biogas beträchtlich. Während die Agrarpreise für Futter- und Nahrungsmittel auf Talfahrt waren, machte vor allem der NawaRo-Bonus den Anbau von Energiepflanzen lukrativ. Insbesondere die Nachfrage nach Energiemais als Gärsubstrat wuchs. Die Landwirte profitierten als Betreiber so genannter „NawaRo-Anlagen“ oder als Zulieferer von Gärsubstraten für Anlagen Dritter.

Biogasetwicklung in Deutschland

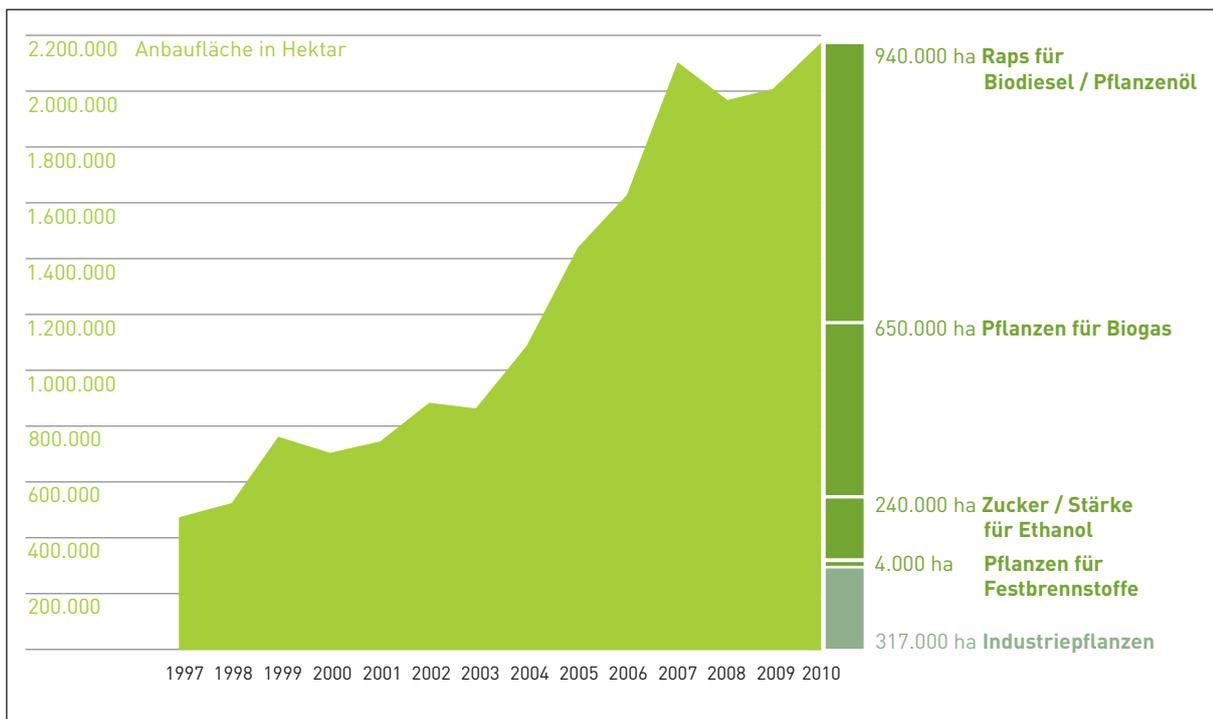


Quellen: BMU, Elektrizitätswirtschaft, DBFZ; Stand: 8/2010

Die Biogasszene differenzierte sich: Zum einen gab es weiterhin den Typus der in den landwirtschaftlichen Betrieb integrierten Hofbiogasanlagen. Zum anderen gewannen so genannte industrielle Biogasanlagen an Bedeutung, die vom landwirtschaftlichen Betrieb losgelöst waren. Sie waren als Investorenprojekte konzipiert und auf eine Nutzung im großen Maßstab ausgelegt. Das Erstarken dieses Segments erweiterte den Kreis der Biogas-Akteure um Betreibergesellschaften, die sich aus unterschiedlichen Investoren zusammensetzten, teilweise auch unter Beteiligung von Energieversorgungsunternehmen. Für die Realisierung von Großanlagen, so genannten Biogasparcs, war die Deckung des Substratbedarfs ein kritischer Faktor. Die Großanlagen waren nur dann wirtschaftlich zu betreiben, wenn die Betreiber die notwendigen Substratmengen durch günstige Liefervereinbarungen mit Landwirten in der näheren Umgebung sicherstellen konnten.

Einige Landwirte profitierten von dieser neuen Absatzmöglichkeit. Die Biogasproduktion im industriellen Stil hatte aber auch unerwünschte Auswirkungen: Der expandierende Energiepflanzenanbau erzeugte Druck auf landwirtschaftliche Produktionsflächen, ließ die Pachtpreise steigen und verteuerte die Betriebskosten der Landwirtschaft. Umwelt- und Naturschutzverbände und die ansässige Bevölkerung beurteilten die vorwiegend auf Mais basierende Biogaserzeugung zunehmend kritisch. Die massive Entwicklung des Energiepflanzenanbaus kam mit dem Schutz der Biodiversität und Ressourcen in Konflikt.

Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland



Quelle: FNR

Mit der Biogasproduktion in Großanlagen wurde es schwieriger, effiziente Verwertungsmöglichkeiten für die anfallenden Strom- und Wärmemengen vor Ort zu finden. Daher wuchs das Interesse, das Gas nicht direkt zu verstromen, sondern in das Erdgasnetz einzuspeisen. Der Zugang zum Gasnetz eröffnet den Betreibern ein größeres Spektrum an Verwertungsmöglichkeiten und damit verbesserte Vermarktungsmöglichkeiten. Einen ersten Erfolg auf dem Weg in Richtung Einspeisung von Biogas in das Gasnetz bedeutete die Novelle des Energiewirtschaftsgesetzes 2005. Da jedoch die Kosten für die notwendige Gasaufbereitung hoch und nicht gedeckt waren, konnte der Markt noch nicht erschlossen werden.

Markteinbruch durch Substratpreisentwicklung (2007-2008)

Bedingt durch die Preisentwicklung der Gärsubstrate verzeichnete die Biogasbranche ab Mitte 2007 einen deutlichen Knick im Anlagenzubau. Mit Preissteigerungen auf dem Nahrungsmittelmarkt hatten sich auch die Substratpreise erheblich verteuert. Der Betrieb von Anlagen, die hohe Anteile nachwachsender Rohstoffe verwendeten, wurde vielerorts unrentabel. Zudem stand die Neufassung des EEG 2009 bevor. Die Investoren stellten deshalb Neuinvestitionen zurück, solange die Beratungen über die Förderbedingungen nicht abgeschlossen waren.

Die öffentliche Berichterstattung über die Bioenergie nahm zunehmend kritische Züge an. Insbesondere die Konkurrenz zwischen Biokraftstoffen und Nahrungsmittelproduktion („Tank oder Teller“) bestimmte die Diskussion. Die Biogasproduktion wurde aber auch im Hinblick auf ihren Beitrag zum Klimaschutz kritisch hinterfragt. Umwelt- und Naturschützer drängten auf eine Rücknahme des NawaRo-Bonus und eine verstärkte Verknüpfung der Vergütungszahlungen mit Nachhaltigkeitskriterien. Anreize für eine vermehrte Reststoffverwertung sollten die natürlichen Ressourcen entlasten.

Die Beratungen über eine Korrektur der bisherigen Förderregelungen verliefen kontrovers. Schließlich konnte der Landwirtschaftssektor aber seine Interessen wahren. Das Bonusmodell wurde so korrigiert, dass das Modell „Hofbiogasanlage“ mit kleinen bis mittleren Leistungen gestützt und die Reststoffverwertung von Gülle angereizt wurde, obwohl dort nur geringe Möglichkeiten zur gleichzeitigen Wärmenutzung bestehen. In Konkurrenz zum Modell der kleinen Hofbiogasanlage stand das Konzept einer stärker zentralisierten Biogasverstromung in Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), auch in Verbindung mit der Biogaseinspeisung ins Erdgasnetz. Unter Effizienzgesichtspunkten bietet dieses Konzept wesentliche Vorteile, denn die anfallende Wärme wird sinnvoll verwendet.

Wiederbelebung und Ausblick (ab 2008)

Im Juni 2008 beschloss der Bundestag das Erneuerbare-Energien-Gesetz 2009. Der Beschluss stand in direktem Zusammenhang mit dem „Integrierten Energie- und Klimaschutzprogramm“ (IEKP) der Bundesregierung. Noch im zweiten Halbjahr 2008 sorgte die Gesetzesnovellierung für eine Wiederbelebung des Marktes, da sie auch künftig Investitionssicherheit bedeutete.

Die Anpassung der Vergütungen im Erneuerbare-Energien-Gesetz 2009 berücksichtigte das Interesse des Landwirtschaftssektors an der Stabilisierung der landwirtschaftlichen Biogaserzeugung: Bonuszahlungen für kleine Anlagen bis 500 kW_{el} förderten den Typus der Hofbiogasanlage. Der Güllebonus stellte einen Anreiz für die vermehrte Nutzung des Güllepotenzials in den landwirtschaftlichen Betrieben dar. Die Besserstellung der Reststoffverwertung zielte insgesamt auf eine Abschwächung der Nachfrage nach NawaRo-Substraten und die damit verbundenen Flächen- und Nahrungsmittelkonkurrenzen.

Einen weiteren Impuls brachte die Gasnetzzugangsverordnung, die 2008 novelliert wurde und die wirtschaftlichen Bedingungen für die Biogaseinspeisung erheblich verbesserte. Auch das im Integrierten Energie- und Klimaschutzprogramm formulierte Ziel der Bundesregierung, bis 2030 zehn Prozent des Erdgases durch Biomethan zu ersetzen, wurde als positives Signal gewertet.



Anlage zur Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz – Druckwasserwäsche und Übergabestation

Die Biogaseinspeisung findet auch in den Reihen der Gasnetzbetreiber und Energieversorgungsunternehmen Unterstützung. Für sie bedeutet es einen Imagegewinn. Ihr Interesse liegt in der direkten Vermarktung des Gases an die Haushalte. Gasnetzbetreiber und deren Verbandsvertreter fordern daher, dass die Förderung der Biogaseinspeisung nicht an die Nutzung einer bestimmten Energiewandlungstechnologie gebunden sein sollte. Demgegenüber vertritt das Bundesumweltministerium die Auffassung, das eingespeiste Biogas müsse vor allem in Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen genutzt werden, da sich hier eine deutliche Effizienzsteigerung und eine verbesserte Wärmenutzung realisieren lassen. So ist die technisch mögliche Nutzung von Biogas zu reinen Heizzwecken nach dem Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz 2009 auf die Pflichterfüllung bislang nicht anrechnungs- oder förderfähig. Die Bundesregierung prüft aber, ob dies unter dem Aspekt der „Technologieoffenheit“ geändert werden sollte.

Der Innovationsverlauf der Biogaserzeugung und -verstromung zeigt, dass vor allem die kostendeckende Vergütung des EEG den Innovationsprozess beflügelt hat. Die Erzeugung und Nutzung von Biogas ist heute viel effizienter als noch vor einigen Jahren. Neue, an das jeweilige Substrat angepasste Gärverfahren haben die Methanausbeute gesteigert. Höhere Wirkungsgrade von Otto- und Zündstrahlmotoren sorgen für eine bessere Stromausbeute. Die Schadstoffemissionen sind durch technische Verbesserungen gesunken und der Einsatz von Zündöl für die Stützfeuerung in Zündstrahlmotoren konnte erheblich verringert werden. Nach wie vor steht die Branche jedoch vor großen Herausforderungen. Eine besteht darin, weitere Kostensenkungs- und Wärmenutzungspotenziale zu erschließen. Darüber hinaus gilt es, negative Effekte des Energiepflanzenanbaus auf die Umwelt zu reduzieren und Lösungen für die zunehmenden Flächenkonkurrenzen zu finden. Nur dann wird die Akzeptanz für eine Förderung im Rahmen des EEG dauerhaft gewahrt.



Moderne Biogasanlage

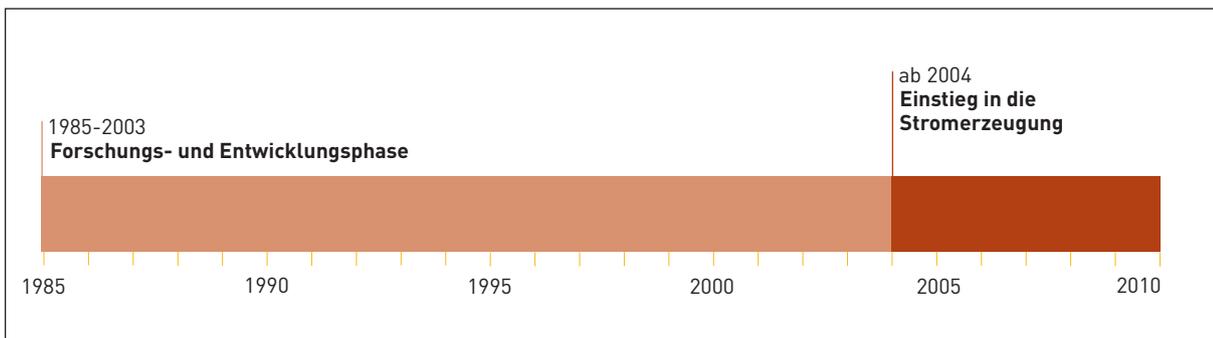
Geothermie

Weltweit wird die Erdwärme (Geothermie) schon lange zur Stromerzeugung eingesetzt. Die Nutzung erfolgt meist an Orten, wo relativ nah an der Erdoberfläche sehr hohe Temperaturen herrschen. Dies ist in Deutschland nicht der Fall. Während die geothermische Wärme aufgrund des niedrigeren Temperaturbedarfs auch hierzulande schon seit langem eingesetzt wird, hat die geothermische Stromerzeugung erst im Jahr 2004 mit einem kleinen Kraftwerk in Neustadt-Glewe (Mecklenburg-Vorpommern) begonnen. Die Stromerzeugung aus Erdwärme ist mithin die jüngste Form der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien.

Zur Stromerzeugung aus Erdwärme sind Temperaturen von mindestens 100 Grad Celsius erforderlich. Dieses Temperaturniveau findet sich in Deutschland erst in großen Tiefen im Bereich von 3.000 bis 4.000 Metern. Gebiete mit wasserführenden Schichten im Untergrund und hohen Temperaturen finden sich im norddeutschen Becken, dem süddeutschen Molassebecken und dem Oberrheingraben.

Bisher sind in der Geothermienutzung für die Stromerzeugung zwei Entwicklungsphasen erkennbar:

Entwicklung der geothermischen Stromerzeugung



Forschungs- und Entwicklungsphase (1985-2003)

Die DDR sammelte bereits in den 1960er und 1970er Jahren umfangreiche Erfahrungen mit der Nutzung geothermischer Wärme. Bei der Suche nach Erdöl- und Erdgasvorkommen stieß man dort auf Thermalwasser. Das Interesse an diesen Funden wuchs Ende der 1970er Jahre. Damals wurde deutlich, dass die Braunkohlevorräte der DDR begrenzt waren. Angesichts der Ölpreiskrisen sollte auch die Abhängigkeit von Öl und anderen importierten Energieträgern verringert werden. Die Regierung der DDR ließ daher die Thermalwasserpotenziale für die Wärmenutzung flächendeckend erkunden und legte ein Programm zum Aufbau einer geothermischen Wärmeversorgung in ausgewählten Städten auf.



Dr. Peter Seibt, Geschäftsführer der Geothermie Neubrandenburg GmbH
„Die Nutzung der Geothermie vermeidet negative Umweltauswirkungen fossiler Brennstoffe. Geothermie hat den Vorteil, dass sie jederzeit verfügbar und damit grundlastfähig ist.“

Nach der Wiedervereinigung im Jahr 1990 wurden diese Pläne jedoch weitestgehend aufgegeben und viele Bohrungen versiegelt. Unter dem Einfluss westdeutscher Energieversorger wurden die Kommunen in den neuen Bundesländern innerhalb weniger Jahre an das Erdgasnetz angeschlossen. War das

neue Gasleitungsnetz erst installiert, bestand auch an Standorten mit günstigen thermalen Voraussetzungen auf längere Sicht kein Anreiz mehr, alternative Wärmekonzepte zu verfolgen.

Im Westen Deutschlands begann man Mitte der 1980er Jahre die Verbindung von geothermischer Strom- und Wärmeerzeugung zu erforschen. Da zu dieser Zeit nur wenige Erdwärme-Anlagen in Betrieb waren, bestanden noch große Wissensdefizite in allen technischen Bereichen. Dennoch waren die Forschungsmittel für Geothermie im Vergleich zu den Aufwendungen für Windenergie oder Photovoltaik gering. Ihre Motivation zogen die Forscher aus den in der DDR festgestellten hohen Potenzialen der Erdwärme für die Wärmeversorgung. Auch die ersten Potenzialstudien nach der Wiedervereinigung waren vielversprechend. Viele Wissenschaftler waren von den Zukunftsaussichten geothermischer Strom- und Wärmeerzeugung überzeugt. Ihr Engagement führte zur Gründung der Geothermischen Vereinigung e.V. im Jahr 1991.

Als wesentlicher Hemmschuh für die Geothermie erwiesen sich die hohen Kosten bei gleichzeitig hohem Fündigkeitsrisiko. Die Erdwärmennutzung erfordert in Deutschland Bohrungen bis mehrere Tausend Meter Tiefe. Jede Bohrung kostet zwischen vier und acht Millionen Euro. Zugleich besteht das Risiko, in der Tiefe nicht auf ausreichende Thermalwasservorkommen zu treffen. Bis in die 1990er Jahre war zudem das politische Interesse an der Nutzung der Tiefenwärme gering, weshalb die geothermische Stromerzeugung nicht in das Stromeinspeisungsgesetz aufgenommen wurde. So fehlte es auch von dieser Seite an Schubkraft. Die frühe Phase der Förderung für Erneuerbare Energien in den 1980er und 1990er Jahren war somit durch eine eher stiefmütterliche Behandlung der Geothermie gekennzeichnet. Ende der 1990er Jahre wollte die Bundesregierung die Förderung sogar ganz einstellen, weil sie in dieser Technologie kaum Potenziale für die Stromerzeugung sah. Diese Perspektive änderte sich mit dem Regierungswechsel im Jahr 1998, der die Forschungsaufwendungen des Bundes deutlich ansteigen ließ.



Bohrturm, Sauerlach

Die Forschungsaktivitäten konzentrierten sich auf die Entwicklung und Erprobung der gekoppelten geothermischen Strom- und Wärmeerzeugung. Im Mittelpunkt der staatlich geförderten Forschung stand das so genannte „Hot-Dry-Rock“-Verfahren, heute als „petrothermales Verfahren“ oder unter dem Oberbegriff „Enhanced Geothermal System“ bekannt. Hierbei wird über Bohrungen Wasser in den trockenen Untergrund gepresst, um künstliche Risse zu erzeugen. Wenn dies gelingt, kann Wasser in einen Kreislauf injiziert und erhitzt wieder an die Oberfläche befördert werden. Dies bietet perspektivisch die Möglichkeit, die Geothermie auch jenseits der Gebiete mit hydrothermalen Vor-

kommen zur Stromerzeugung zu nutzen. Bisher basieren alle in Deutschland installierten Anlagen zur geothermischen Stromerzeugung auf Heißwasser führenden Schichten (Aquifere). Dabei wird das in der Tiefe vorhandene Thermalwasser an die Oberfläche gepumpt und nach der Wärmeentnahme wieder verpresst.

Einstieg in die Stromerzeugung (ab 2004)

Erstmals legte das Erneuerbare-Energien-Gesetz 2000 eine Vergütung für Strom aus Geothermie fest. Im Jahr 2003 stellte eine Studie des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag die Potenziale der Geothermie heraus und bestätigte damit ihre Förderwürdigkeit. Eine mit der Wärmenutzung gekoppelte Stromerzeugung erschien in energiewirtschaftlich relevanter Größenordnung möglich. Im EEG waren allerdings nur sehr niedrige Vergütungssätze festgelegt. Angesichts der hohen Investitionskosten war die Vergütung viel zu gering, um eine Entwicklung in Gang zu setzen. Erst im Erneuerbare-Energien-Gesetz 2004 wurden die Sätze deutlich angehoben. Damit wurde der Grundstein für die Entwicklung gelegt.



Werner Bußmann, 1991 bis 2006 im Vorstand der Geothermischen Vereinigung – Bundesverband Geothermie e.V.

„In der Erdwärme steckt ein gewaltiges Potenzial. Eine Studie des Bundestags hat ergeben, dass in Tiefen von drei bis sieben Kilometern so viel Energie gespeichert ist, dass wir den Strombedarf der Bundesrepublik 600 Mal damit decken könnten, rund um die Uhr.“

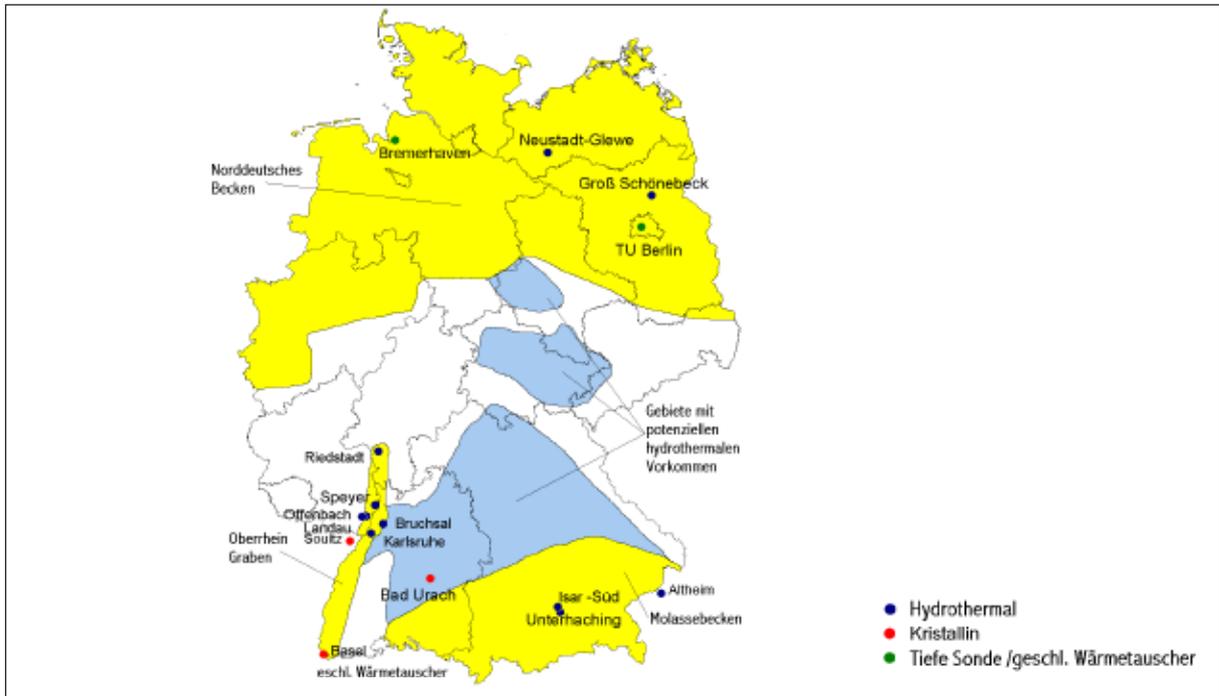


Bohrtechniker für geothermische Bohrungen

Ab 2004 wurden die ersten Projekte zur geothermischen Stromerzeugung umgesetzt. Aufgrund des hohen Bohrrisikos und der hohen Investitionskosten für geothermische Tiefenbohrungen blieb die Zahl der realisierten Projekte bis heute jedoch gering. Im Jahr 2010 waren in Deutschland erst vier geother-

mische Kraftwerke in Betrieb, die Strom produzieren: Neustadt-Glewe (Mecklenburg-Vorpommern), Landau (Rheinland-Pfalz), Unterhaching (Bayern) und Bruchsal (Baden-Württemberg). Daher liegen weiterhin nur wenige praktische Erfahrungen zur Stromerzeugung aus Tiefengeothermie vor.

Aktuelle Tiefengeothermieprojekte in Deutschland



Quelle: Leipziger Institut für Energie GmbH (IE Leipzig)

Technische und wirtschaftliche Herausforderungen

Wegen der in Deutschland relativ niedrigen Temperaturen kann zur Stromerzeugung nicht auf den bekannten Wasserdampfprozess zurückgegriffen werden. Der Wirkungsgrad wäre für eine wirtschaftliche Energiewandlung zu gering. Vielmehr kommen für die Energieumwandlung neue Verfahren wie der so genannte „Organic Rankine Cycle-Prozess“ (ORC-Prozess) zur Anwendung. Dieser ist im Ablauf mit dem Wasserdampfprozess vergleichbar. Statt Wasser werden jedoch organische (zum Beispiel Ammoniak) oder synthetische Arbeitsmedien (zum Beispiel Silikonöl) verwendet. Diese Medien verdampfen bereits bei Temperaturen ab ca. 90 Grad Celsius, das heißt sie nutzen die Tiefenwärme besser aus. Beim so genannten „Kalina-Prozess“ wird aus einem Ammoniak-Wasser-Gemisch Dampf erzeugt. Beide Technologien stehen am Anfang der Entwicklung und müssen sich in der Praxis noch bewähren.

Neben den technischen Herausforderungen ist die Wirtschaftlichkeit der Anlagen nach wie vor ein zentrales Problem. In allen bisher realisierten Kraftwerken wurde die Stromerzeugung aus wirtschaftlichen Gründen mit einer Wärmenutzung kombiniert. Voraussetzung dafür ist die Nähe zu Verbrauchern, vorzugsweise Siedlungen oder gewerbliche Abnehmer mit ganzjährig hohem Wärmebedarf. Die Kombination der beiden Standortfaktoren, gute geothermische Bedingungen und eine günstige Lage zu Wärmeabnehmern, ist allerdings nur an wenigen Standorten gegeben. Zudem erfordert es wiederum hohe Investitionen, die Wärme nutzbar zu machen, etwa durch ein Verteilnetz.

Im Erneuerbare-Energien-Gesetz 2009 wurden die Vergütungssätze für geothermischen Strom nochmals deutlich angehoben. Sie betragen nun mindestens 16 Cent und maximal 27 Cent pro Kilowattstunde. Außer über das EEG werden Geothermieanlagen zur Stromerzeugung seit 2008 auch durch das

Marktanreizprogramm des Bundesumweltministeriums gefördert. Dazu haben das Bundesumweltministerium, die KfW Bankengruppe und die Munich Re ein Kreditprogramm gestartet, in dem 60 Millionen Euro für die Finanzierung von geothermalen Tiefenbohrungen zur Verfügung stehen. Dieser Sicherungsfonds für Fündigkeitsrisiken kann bei Nichterfolg bis zu 80 Prozent der Bohrkosten übernehmen und mindert die finanziellen Risiken einer geothermischen Bohrung. Zudem werden ungeplante Mehrkosten bei den Bohrungen sowie die Errichtung von Wärmenetzen mit jeweils bis zu 1,5 Millionen Euro gefördert.

Ein umfassendes geothermisches Informationssystem soll außerdem Verbesserungen bei der Projektierung geothermischer Anlagen und eine Minderung des Fündigkeitsrisikos erzielen. Die ersten Informationen dazu lassen sich seit 2008 im Internet abrufen.

Rechtliche Rahmenbedingungen

Die rechtliche Ausgangslage für das Aufsuchen und Gewinnen von Erdwärme stellt sich im Vergleich zu den anderen erneuerbaren Energieträgern als kompliziert dar. Erdwärme gehört der Allgemeinheit, ihre Nutzung unterliegt dem Bergrecht. Bis zum Beginn der Erdwärmegewinnung müssen im Regelfall allein vier Arten von bergrechtlichen Zulassungen eingeholt werden: die Aufsuchungserlaubnis, der Aufsuchungsbetriebsplan, die Gewinnungsbewilligung und der Gewinnungsbetriebsplan. Der Aufwand für die Genehmigungen ist also vergleichsweise hoch, zumal sie immer nur für zwei Jahre ausgesprochen werden.

Ausblick

Die geothermale Energiegewinnung steht in Konkurrenz zu anderen unterirdischen Nutzungen. Neben dem Rohstoffabbau gehört die alternative Nutzung des Untergrundes als Speicher, zum Beispiel für Druckluft oder Gas, dazu. Neu ist das Konzept der CO₂-Abscheidung aus Kohlekraftwerken (CCS) und dessen unterirdische Verpressung. Auch diese noch weitgehend unerforschte Technologie steht in Konkurrenz zur Erschließung geothermischer Potenziale. Wenn das Kohlendioxid in unterirdischen Hohlräumen oder leeren Ölfeldern gespeichert wird, können daraus Druckveränderungen im Untergrund resultieren, die die Möglichkeiten für Geothermie-Bohrungen einengen. Angesichts der für die heutigen Techniken begrenzten Zahl geeigneter Geothermiestandorte in Deutschland kann dies rasch zu einem stark beschränkenden Faktor für den weiteren Ausbau werden.

Ob es künftig zu Akzeptanzproblemen durch das Auftreten mikroseismischer Effekte (Erdbeben) kommen wird, ist noch nicht absehbar. Mikro-Erdbeben können beim Aufbrechen des Untergrundes während der Errichtung der Anlagen ausgelöst werden. Um Ängsten in der Bevölkerung vorzubeugen, erweist es sich als überaus wichtig, im Vorfeld der Projekte rechtzeitig auf mögliche Beben hinzuweisen und über die Ursachen aufzuklären.

Der Innovationsprozess der Stromerzeugung aus Tiefengeothermie steht noch am Anfang. Für die Zukunft ist jedoch mit einem deutlichen Wachstum zu rechnen. In Deutschland befinden sich derzeit etwa 150 Projekte in einem Bearbeitungsstand zwischen Voruntersuchung und tatsächlichem Bau. Die Kraftwerksstandorte zur geothermischen Stromerzeugung konzentrieren sich bislang auf den süddeutschen Raum (süddeutsches Molassebecken und Oberrheingraben). Aber auch im Norddeutschen Becken sind erste Standorte in der Entwicklung.

Perspektiven

Klima- und energiepolitische Zielsetzungen

Im Jahr 2005 sprach sich die Europäische Union dafür aus, die globale Erwärmung auf höchstens zwei Grad Celsius über dem vorindustriellen Wert zu begrenzen. Dafür muss der Ausstoß an Treibhausgasen weltweit drastisch sinken. Um das Zwei-Grad-Ziel einhalten zu können, haben sich die Regierungschefs der EU im Vorfeld der Kopenhagenkonferenz vom Dezember 2009 darauf geeinigt, das Ziel einer Treibhausgasemissionsreduktion von 80 bis 95 Prozent bis 2050 für die Gruppe aller Industrieländer zu unterstützen. Die Bundesregierung hat das nationale Ziel bestätigt, die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2020 um 40 Prozent gegenüber 1990 zu reduzieren, und auch die Notwendigkeit einer weiteren Reduktion der Treibhausgase um mindestens 80 Prozent bis 2050 anerkannt. Eine zentrale Stellschraube ist dabei die Energieversorgung. Hier soll sich der Anteil der Erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch europaweit bis 2020 auf 20 Prozent verdreifachen. Für Deutschland bedeutet das eine Steigerung auf 18 Prozent Erneuerbare Energien am Endenergieverbrauch, Ende 2009 lag der Wert bei 10,4 Prozent.

Eine wichtige Grundlage für die Umsetzung der europäischen Klimaschutzziele auf nationaler Ebene ist in Deutschland das im Jahr 2007 in Meseberg beschlossene „Integrierte Energie- und Klimaprogramm“. Darin verfolgt die Bundesregierung vor allem die Strategien „Steigerung der Energieeffizienz“, „Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplungstechnologie“ und „Ausbau Erneuerbarer Energien“.

Im Stromsektor sind mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz die Weichen richtig gestellt. Das Gesetz hat die bisherige rasante Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern ermöglicht und einen stabilen Rahmen für eine innovationsstarke und dynamisch wachsende Branche geschaffen. Dieser Kurs soll fortgesetzt werden: Im EEG ist das Ziel festgeschrieben, mindestens 30 Prozent unserer Stromversorgung im Jahr 2020 aus Erneuerbaren Energien zu bestreiten. Im Jahr 2009 waren es rund 16 Prozent. Gemäß dem im August 2010 vorgelegten Nationalen Aktionsplan rechnet die Bundesregierung sogar mit einem Anteil von 38,6 Prozent im Strombereich und 19,6 Prozent Erneuerbare Energien am Endenergieverbrauch. Die Erneuerbare-Energien-Verbände erwarten bis 2020 sogar ein noch stärkeres Wachstum: Ihrer Branchenprognose von Anfang 2009 zufolge wird der Anteil des erneuerbar erzeugten Stroms 2020 schon bei 47 Prozent liegen.

Herausforderungen im Stromnetz und Kraftwerkspark

Schon heute beweisen einzelne Kommunen und Regionen, dass rechnerisch eine Versorgung überwiegend oder ausschließlich auf Basis Erneuerbarer Energien in der Praxis funktioniert. Um dies in Zukunft flächendeckend zu gewährleisten, sind allerdings erhebliche Umstellungen und Umstrukturierungen im bisherigen Stromversorgungssystem erforderlich, zusätzlich ist auch die Frage nach der technischen Versorgungssicherheit und Leistungsabsicherung bei fehlendem Wind oder Solareinstrahlung zu beantworten.

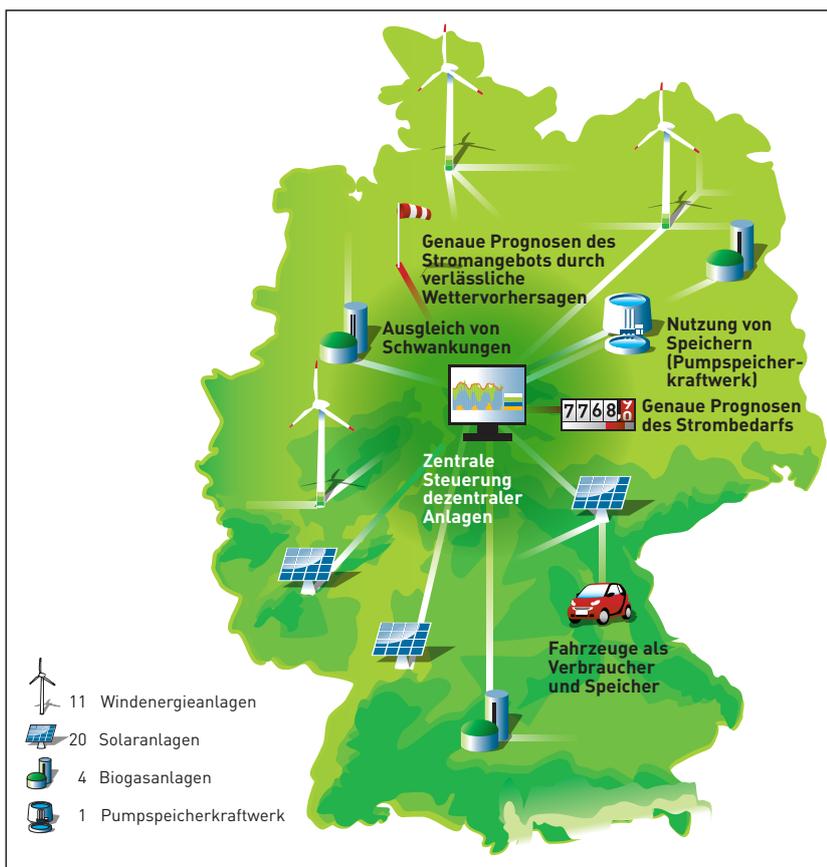
Einen großen Teil der regenerativen Stromgewinnung liefern die fluktuierenden Energiequellen Wind- und Sonnenenergie. Hier liegen die größten kurz- bis mittelfristig erschließbaren Potenziale. Die schwankende Stromspeisung stößt beim weiteren Ausbau jedoch zunehmend auf die Grenzen des bestehenden Versorgungssystems. Dieses ist auf große Grundlastkraftwerke (Kernkraft und Braunkohle) ausgerichtet, deren Stromproduktion sich nur eingeschränkt regeln lässt. Droht eine Überlastung des Stromnetzes, weil keine konventionellen Kraftwerke mehr abgeschaltet werden können, werden Erneuerbare Energien abgeschaltet oder Stromüberschüsse in die Nachbarländer „geschoben“. Weil dies künftig häufiger der Fall sein wird, wird die Investitionssicherheit (nicht nur) bei Erneuerbaren

Energien beeinträchtigt. Mit der beschlossenen Verlängerung der Kernkraftwerk-Laufzeiten bis etwa zum Jahr 2040 geht auch dieser Konfliktbereich in eine Verlängerung.

Die Integration hoher Anteile fluktuierender Erneuerbarer Energien erfordert Speichertechnologien, beziehungsweise eine optimale Regelbarkeit des konventionellen Kraftwerksparks und der Stromnachfrage. Die Stromerzeugung wird sich künftig nicht mehr einseitig am Strombedarf ausrichten, sondern die Stromnachfrage sich stärker am momentanen Stromangebot orientieren (Demand-Side-Management). Das gezielte Ab- und Zuschalten von elektrischen Verbrauchern verbessert die Auslastung des Stromnetzes und vermeidet Lastspitzen, vor allem zu Zeiten mit geringem Aufkommen an Sonnen- und Windstrom.

Technisch und wirtschaftlich wenig regelbare Grundlastkraftwerke müssen sukzessiv von flexibel steuerbaren Kraftwerken abgelöst werden. Mittel- bis langfristig werden ausschließlich schnell und gut regelbare konventionelle Kraftwerke benötigt, um die Stromproduktion aus erneuerbaren Energiequellen jederzeit passend zu ergänzen. Das können Gas- und zum Teil noch Steinkohlekraftwerke am besten. Moderne Steuerungstechnologie sorgt dafür, dass konventionelle Kraftwerke im Verbund mit Erneuerbare-Energien-Anlagen bedarfsgerecht Strom liefern. Die flächendeckende flexible Steuerung der Stromerzeugungs- und der Nachfrageseite ist eine große technische Herausforderung.

Das regenerative Kombikraftwerk



Quelle: AEE

Eine weitere Bedingung für das fortgesetzte Wachstum der Erneuerbaren Energien ist die Anpassung der Netzinfrastruktur. Das Stromnetz muss über die nationalen Grenzen hinaus auf einen hohen Anteil Erneuerbarer Energien ausgerichtet werden. Es gilt die deutschen und europäischen Stromnetze auszubauen, zu verstärken und stärker miteinander zu koppeln. Im europäischen Netzverbund können die regional fluktuierenden Strommengen aus Erneuerbaren Energien großräumig ausgeglichen werden. Das Infrastrukturplanungsbeschleunigungsgesetz und das Energieleitungsausbaugesetz haben erste Grundlagen geschaffen, den Ausbau des Stromnetzes zu erleichtern. Auch die Regulierung des

Netzzugangs wird wichtiger. Wesentliche Instrumente sind die Trennung von Stromnetz und Stromerzeugung („Unbundling“) und die Gasnetzzugangsverordnung. Darüber hinaus sind eine deutlich verbesserte Energieeffizienz und damit ein geringerer Energieverbrauch die Voraussetzung, um schnell hohe Anteile Erneuerbarer Energien zu erreichen.

Literatur

- Bruns, Elke/ Ohlhorst, Dörte/ Wenzel, Bernd/ Köppel, Johann (Technische Universität Berlin): Erneuerbare Energien in Deutschland - eine Biographie des Innovationsgeschehens. Universitätsverlag TU Berlin, Dezember 2009
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung. Stand: August 2010
- Bundesrepublik Deutschland: Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie gemäß der Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen. Berlin, August 2010
- Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (BEE) / Agentur für Erneuerbare Energien e.V. (AEE): Stromversorgung 2020. Wege in eine moderne Energiewirtschaft. Berlin, Januar 2009
- Deutsches BiomasseForschungszentrum gGmbH: Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. Zwischenbericht. Leipzig, März 2010
- DEWI GmbH: Status der Windenergienutzung in Deutschland. Stand 31.12.2009
- Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR): Anbau nachwachsender Rohstoffe 2010
- Umweltbundesamt (2010): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2008 und erste Schätzung 2009. Stand: März 2010

Fotonachweis

- S. 5 Agentur für Erneuerbare Energien
- S. 6 Agentur für Erneuerbare Energien
- S. 8 www.hermannscheer.de
- S. 9 Agentur für Erneuerbare Energien
- S. 9 Privat (Daniels)
- S. 10 Privat (Dürschmidt)
- S. 11 Bundesverband Erneuerbare Energie
- S. 12 Deutscher Bundestag
- S. 12 www.trittin.de
- S. 12 privat (Lackmann)
- S. 15 Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg
- S. 16 Privat (Nitsch)
- S. 19 Agentur für Erneuerbare Energien / Hans-Rudolf-Schulz
- S. 20 Energiedienst
- S. 21 Jan Oelker
- S. 22 Energiedienst
- S. 23 Enercon
- S. 23 Privat (Ahmels)
- S. 24 Dörner / Uni Stuttgart
- S. 24 Enercon
- S. 24 Privat (Ahmels)
- S. 25 Privat (Molly)
- S. 26 Bundesverband WindEnergie
- S. 28 Agentur für Erneuerbare Energien
- S. 30 Agentur für Erneuerbare Energien
- S. 30 www.offshore-stiftung.de
- S. 31 BMU/Udo Paschedag
- S. 34 PV Crystalox Solar plc
- S. 34 Privat (Eisenbeiß)
- S. 35 Agentur für Erneuerbare Energien / Andreas Gebert
- S. 37 Privat (von Fabeck)
- S. 39 BMU/Christoph Busse/transit
- S. 40 Privat (Aulich)
- S. 43 Privat (Weiland)
- S. 43 Privat (Linke)
- S. 44 Privat (Döhler)
- S. 45 Privat (Holz)
- S. 45 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
- S. 46 Fachverband Biogas
- S. 49 ÖKOBiT GmbH
- S. 50 Agentur für Erneuerbare Energien
- S. 51 Geothermie Neubrandenburg GmbH
- S. 52 Agentur für Erneuerbare Energien / Andreas Gebert
- S. 53 Privat (Bußmann)
- S. 53 Agentur für Erneuerbare Energien

In der Reihe RENEWS Spezial sind bisher erschienen: http://www.unendlich-viel-energie.de/de/service/mediathek/renewsspezial.html	Nr.	Erscheinungsdatum
Kosten und Potenziale von Photovoltaik und solarthermischen Kraftwerken	40	Aug 10
Kommunale Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien	39	Aug 10
Biokraftstoffe	38	Aug 10
Innovationsentwicklung der Erneuerbaren Energien	37	Juli 10
Daten und Fakten Biokraftstoffe 2009	36	Juli 10
Grundlastkraftwerke und Erneuerbare Energien – ein Systemkonflikt?	35	Juni 10
Anbau von Energiepflanzen	34	Juni 10
Erneuerbare Energien und Elektromobilität	33	Juni 10
Wirtschaftsfaktor Erneuerbare Energien in Deutschland	32	Juni 10
Akzeptanz der Erneuerbaren Energien in der deutschen Bevölkerung	31	Mai 10
Erneuerbare Elektromobilität	30	Apr 10
Strom speichern	29	Apr 10
Kosten und Nutzen des Ausbaus Erneuerbarer Energien	28	Mrz 10
10 Jahre Erneuerbare-Energien-Gesetz - 20 Jahre Stromeinspeisungsgesetz	27	Mrz 10
Ein Jahr Erneuerbare-Energien- Wärmegesetz	24	Jan 10
Erneuerbare Energien in der Fläche	23	Jan 10
Reststoffe für Bioenergie nutzen	22	Jan 10
Regionale Wertschöpfung durch die Nutzung Erneuerbarer Energien	21	Dez 09
Biogas – Daten und Fakten 2009 –Energiebereitstellung	20	Nov 09
Wärme speichern	18	Nov 09
Zertifizierung von Bioenergieträgern	15	Nov 09
Erneuerbare Mobilität	12	Apr 09
Erneuerbare-Energien-Gesetz vs. Emissionshandel?	11	Mrz 09
Stromversorgung 2020 – Wege in eine moderne Energiewirtschaft	10	Jan 09
Deutscher Mittelstand für Erneuerbare Energien	9	Nov 08
Stromlücke oder Luxusproblem	8	Nov 08
Kombikraftwerk	7	Okt 07

**Agentur für Erneuerbare
Energien e. V.**

Reinhardtstr. 18
10117 Berlin

Tel.: 030-200535-3

Fax: 030-200535-51

kontakt@unendlich-viel-energie.de

ISSN 2190-3581

www.unendlich-viel-energie.de

