



## Die Helmholtz-Allianz ENERGY-TRANS

Die Energiewende in Deutschland und die mit ihr verbundenen Anforderungen an die Transformation des nationalen und europäischen Energiesystems stehen im Mittelpunkt der Forschung der Helmholtz-Allianz ENERGY-TRANS. Die neuartige Perspektive von ENERGY-TRANS besteht darin, das Energiesystem vor allem von der gesellschaftlichen Bedarfs- und Nutzerseite her zu betrachten und die vielfältigen Schnittstellen zwischen technischen und sozialen Faktoren, die den Umbauprozess hin zu neuen Infrastrukturen bestimmen, zu analysieren. Die Ergebnisse sollen handlungsorientiertes Wissen für eine effiziente und sozialverträgliche Ausgestaltung des künftigen Energiesystems bereitstellen. Weitere Informationen unter [www.energy-trans.de](http://www.energy-trans.de)

# Governance von Innovationen im Energiesektor:

## Zwischen Anpassung und Erneuerung

### Herausforderungen und Rahmenbedingungen

■ Gerhard Fuchs/Sandra Wassermann

## Zusammenfassung

Der Energiesektor gehört traditionell nicht zu den technologisch innovativsten Branchen. Nur ein verhältnismäßig bescheidener Anteil des Umsatzes wird von den einschlägigen Unternehmen für Forschung und Entwicklung ausgegeben. Eine kleine Zahl mächtiger, eng miteinander verknüpfter Akteure (Energieversorger, Hersteller von Kraftwerken bzw. Kraftwerkskomponenten) treibt Innovationstätigkeiten in erster Linie dann voran, wenn die Rahmenbedingungen und Anreize von Seiten des Staates oder des Regulators als mittelfristig kalkulierbar eingeschätzt werden.

Die Diskussionen um den Klimawandel (zusammen mit der Liberalisierung der Energiemärkte) und der Ausstieg aus der Kernenergie setzen den Energiesektor unter einen erheblichen Innovationsdruck. Die Verbrennung fossiler Rohstoffe (Öl, Gas, Kohle) zur Stromerzeugung gilt als eine der Hauptursachen für die menschlich verursachte Klimaveränderung. Das Paper untersucht die Governance von Innovationen im Energiesektor und vergleicht die Entwicklung von Photovoltaik in Deutschland und Japan und von CCS in Norwegen und Deutschland. Der Beitrag fragt danach, welche (unterschiedlichen) Akteure und Strategien für die Entwicklung der Innovationen verantwortlich waren und wie sich die spezifischen Umsetzungsstrategien in Abhängigkeit von jeweils nationalspezifischen Machtkonstellationen gestalten.

## Abstract

The energy sector traditionally is not one of the technologically most innovative sectors. Only a relatively small proportion of turnover is used by the incumbent actors for the purposes of research and development. A small number of powerful closely linked actors (energy providers, manufacturers etc.) are advancing innovation activities when they consider that frame conditions and incentives are stable and calculable. The most important actor in this regard is still the state or regulatory authorities on a national level.

Discussions about climate change, the liberalization of energy markets, and the disputed fate of nuclear energy are putting significant pressures on the energy sector to look for innovative solutions. The paper looks at the governance of two new technologies in three countries: photovoltaics (PV) in Japan and Germany, CCS (Carbon Capture and Storage) in Norway and Germany. For the four cases it will be analyzed which actors are participating in the respective governance structure, the role of public actors, the representation of interests, the instruments used. The four cases are different with respect to these characteristics and each case shows a distinctive profile which is not linked to characteristics of the technology, but rather the specifics of the coalition of actors favoring the respective technology. The cases are also different with respect to the success of technology development. CCS in Germany is a failure, but successful in Norway. PV in Germany for some years was a success story. Japan supported PV more continuously and incrementally.

## 1. Einleitung

Die Entwicklung und Diffusion neuer Technologien zur Gewinnung CO<sub>2</sub>-armer Elektrizität stellt eine der zentralen Herausforderungen für die Umgestaltung des Energiesystems und die Realisierung der Energiewende dar. Im vorliegenden Beitrag wollen wir näher analysieren, in welcher Form bestehende oder entstehende Governance Formen die Verbreitung von technologischen Innovationen unterstützen oder behindern. Der Energiesektor gehört traditionell nicht zu den technologisch innovativsten Branchen. Nur ein verhältnismäßig bescheidener Anteil des Umsatzes wird von den einschlägigen Unternehmen für Forschung und Entwicklung ausgegeben. Eine kleine Zahl mächtiger, eng miteinander verknüpfter Akteure (Energieversorger, Hersteller von Kraftwerken bzw. Kraftwerkskomponenten) treibt Innovationstätigkeiten in erster Linie dann voran, wenn die Rahmenbedingungen und Anreize von Seiten des Staates oder des Regulators als mittelfristig kalkulierbar eingeschätzt werden.

Die Diskussionen um den Klimawandel (zusammen mit der Liberalisierung der Energiemärkte) und der Ausstieg aus der Kernenergie setzen den Energiesektor nun unter einen erheblichen Innovationsdruck. Die Verbrennung fossiler Rohstoffe (Öl, Gas, Kohle) zur Stromerzeugung gilt als eine der Hauptursachen für die menschlich verursachte Klimaveränderung. Alternativen sollen entwickelt werden. Ebenso wie etablierte Technologien sind auch die etablierten Governance-Strukturen unter Druck geraten. Einerseits sehen wir einen Bereich mit starker Pfadabhängigkeit und etablierten Akteuren, die zunächst primär auf regulative Vorgaben warten, um existierende Technologien (z.B. Kohlekraftwerke) umweltverträglicher weiter zu entwickeln. Als Beispiel hierfür werden wir die Diskussion um die so genannte Carbon Capture and Storage (CCS)-Technologie vorstellen. Eine Herausforderung für die etablierten Governance-Strukturen des Energiesektors kam und kommt von Seiten der Erneuerbaren Energien. Die traditionelle Form der Elektrizitätsgewinnung fußt auf zentralisierten Strukturen mit Großkraftwerken, die nur von wenigen potenten Unternehmen gebaut und betrieben werden können. Erneuerbare Energien sind im Gegensatz dazu nicht nur mit dem Anspruch angetreten, klimaschädliche Formen der Energiegewinnung abzulösen, sondern auch eine dezentralisierte Form der Energiegewinnung zu forcieren, an der sowohl auf Produzenten- wie Konsumentenseite neue Akteure beteiligt sind. Eine gänzlich andere Form der Governance ist zumindest theoretisch möglich. Dies soll am Beispiel der Photovoltaik-Technologien und Anwendungen aufgezeigt werden. Trotz der Tatsache,

dass der Umgang mit den negativen Effekten des Klimawandels ein im Prinzip globales oder zumindest internationales Anliegen sein sollte, ist Energiepolitik nach wie vor ein stark von nationalen Prioritäten geprägtes Politikfeld mit national geprägten Governance Strukturen. D.h. Maßnahmen gegen den Klimawandel sind zunächst eher auf einer nationalen oder sogar regionalen Ebene zu erwarten und besitzen dort eine höhere Erfolgsaussicht als globale Initiativen (Ostrom 2009). Die Hauptthese unseres Beitrages lautet, dass sich weitergehende Veränderungen (auch technischer Natur) aber nur dann durchsetzen lassen werden, wenn es Veränderungen in der Struktur der Governance von Innovationen gibt.

## 2. Sozialwissenschaftliche Innovationsforschung

Technische Innovationen haben einen wesentlichen Einfluss auf den Umgang mit Umweltproblemen. Die Veränderungen des Weltklimas und insbesondere die Veränderungen in der Ozonschicht sind auch das Ergebnis der Anwendung bestimmter Techniken: Verbrennung von Kohle in Kraftwerken zur Generierung von Elektrizität, Auspuffgase aus Automotoren, Gase aus Sprühdosen die die Ozonschicht durchlöchern und vieles mehr. Unstrittig ist aber auch, dass die Entwicklung und der Einsatz von Technik, von anderen Techniken, eine wichtige Voraussetzung für einen produktiven Umgang mit der drohenden Klimakatastrophe darstellen. Bestehende Techniken können verbessert und weniger klimaschädlich gemacht werden, oder es können ganz neue Techniken entwickelt werden, die von Beginn an klimafreundlich sind. In beiden Fällen geht es nicht nur darum, neue Ideen zu generieren, sondern diese Ideen umzusetzen und neue Routinen der Anwendung zu entwickeln, so dass die Innovationen hoffentlich auch zu den erwünschten Ergebnissen führen.

### 2.1. Inkrementelle vs. Radikale Innovationen

In der sozialwissenschaftlichen Diskussion hat sich ein Verständnis von Innovationen etabliert, das den Schwerpunkt auf eine gelungene Veränderung von Handeln legt. Die Veränderung kann schrittweise, oftmals kaum sichtbar erfolgen (z.B. Verringerung von Emissionen durch den Einbau neuer Filter) oder mit tiefgreifenden Umbrüchen verbunden sein (z.B. Ende der Nutzung von Kernkraft). Zum besseren Verständnis dieser Zusammenhänge hat sich eine Unterscheidung zwischen inkrementellen und radikalen Innovationen eingebürgert (Freeman/Perez 1988). Inkrementelle Innovationen entstehen etwa im Rahmen alltäglicher Operationen in Organisationen. Radikale Innovationen hingegen können die Struktur ganzer

Märkte und Industrien verändern und werden in der Regel von nicht-etablierten Akteuren vorangetrieben. Bei der Unterscheidung ist wichtig festzuhalten, dass die Frage, ob eine Innovation radikal oder inkrementell ist, nicht alleine von den Charakteristika von Techniken abhängt, sondern von deren Einbettung in ein soziales Umfeld – wie und in welcher Tiefe wird es verändert, d.h. wie wandeln sich auch Institutionen, Routinen etc..

Die soziale Dynamik, in die technische Entwicklungen eingebettet sind, versuchen wir mit dem Konzept "Governance" zu erfassen. Governance steht für alle Formen und Mechanismen der Koordinierung zwischen mehr oder weniger autonomen Akteuren, deren Handlungen interdependent sind, sich also wechselseitig beeinträchtigen und/oder unterstützen können (Benz et al. 2007, 9).

## **2.2. Sektorale Besonderheiten: Energiegewinnung, CCS und Photovoltaik**

Der Einfluss des Staates oder der Politik auf das Innovationsgeschehen ist grundsätzlich von Bedeutung, aber variiert von Sektor zu Sektor bzw. von Politikfeld zu Politikfeld. Das politische Ziel, CO<sub>2</sub>-Emissionen zu verringern, hat ohne Zweifel innovatives Handeln ermöglicht und kanalisiert. Governance-Strukturen legen fest, was möglich ist, welche Lösungen forciert und welche Lösungen blockiert werden. Der Begriff Governance macht deutlich, dass Politik und/oder der Staat zwar eine zentrale Rolle einnehmen (können), aber dass Organisationen, zivilgesellschaftliche Akteure etc. ebenso beteiligt sind. Da von vielen Akteuren die Governance, im betrachteten Fall das Gesamtsystem der Stromgewinnung, als ein Nullsummenspiel begriffen wird, ist die Analyse der Entstehung und Förderung von Innovationen auch eine Analyse der Auseinandersetzung mächtiger, einflussreicher Akteure um den Fortbestand, die Änderung bzw. Lernfähigkeit der existierenden Governance.

Es existieren unterschiedliche Optionen im Umgang mit den negativen Auswirkungen des Klimawandels. Eine Möglichkeit wäre, etablierte technische Verfahren der Energiegewinnung zu verbessern („exploitation“ und „inkrementelle Innovationen“), um diese klimaverträglicher zu machen (z.B. CCS bei Kohlekraftwerken). Eine andere Option besteht darin, gänzlich neue technische Verfahren der Energiegewinnung zu forcieren („search“ und „radikale Innovationen“), die von vornherein keine oder nur geringe CO<sub>2</sub>-Emissionen aufweisen (z.B. Photovoltaik). Hält man sich die besonderen Strukturen des Energiemarktes vor Augen, dann handelt es sich bei CCS um eine großtechnische Lösung, die in Kraftwerken imple-

mentiert werden wird, wenn es entsprechende regulatorische Vorgaben zur Begrenzung von Schadstoffemissionen gibt. Der Staat unterstützt hierbei F&E-Anstrengungen und übernimmt Risikoabsicherung. Bei der Photovoltaik hingegen muss erst ein Markt für entsprechende Anwendungen geschaffen werden. D.h. die Technik ist im Anfangsstadium der Entwicklung noch relativ teuer und erst im Zuge einer Massenproduktion können Skaleneffekte wirken, Preise reduzieren sich und schnelle technische Fortschritte können erzielt werden. Das Problem liegt demnach darin, zunächst einen Rahmen zu schaffen, der es ermöglicht, dass PV-Module in großer Anzahl entwickelt und verkauft werden können. Das ist nicht zuletzt eine industriepolitische Aufgabe und setzt eine positive Einstellung zu einer aktiven Rolle des Staates bei der Marktentwicklung voraus.

Die moderne Innovationsforschung hat herausgearbeitet, dass Innovationen – radikale wie inkrementelle – das Ergebnis eines interaktiven Prozesses sind, in dem unterschiedliche Akteure auf der Mikroebene, Prozesse der Marktentwicklung sowie Innovationsdiffusion und Institutionen unterschiedlicher Art involviert sind. Da die Effizienz einer Governance-Struktur, die man auf der Makro-Ebene beobachten kann, von dem sozialen Handeln einzelner Akteure abhängt und den Institutionen die ihre Interaktionen prägen, entstehen Koordinationsprobleme. Die Art und Weise, wie mit diesen Koordinationsproblemen in einem bestimmten Sektor und bei einem bestimmten Problem umgegangen wird, lässt sich dann mit dem Konzept „Governance“ auf den Begriff bringen. Die Entwicklung der Governance-Struktur (der zu bewältigenden Koordinationsprobleme) ist abhängig von technischen Spezifika (z.B. Kohlekraftwerke, wenige finanziell gut ausgestattete Akteure, weit vorangeschrittenes explizites Wissen, enge Koppelung an staatliche Unterstützung und Kopplung), Kräfteverhältnissen (z.B. Struktur des Feldes, mächtige existierende Akteure), Struktur und Ressourcen der nichtmarktlichen Akteure, Rolle der Kunden bzw. der Öffentlichkeit (Kohlekraft, Solar, allgemeine Energieeffizienzerwägungen). Governance-Strukturen werden dann am effektivsten sein, wenn sich die Teile aus denen sie sich zusammensetzt, gegenseitig bestärken, aufeinander abgestimmt sind, institutionelle Komplementaritäten entstehen. Diese Aspekte sollen im Folgenden nun am Beispiel der Förderung der CCS-Technologie in Deutschland und Norwegen sowie an der Förderung der Photovoltaik in Deutschland und Japan nachgezeichnet werden.



### 3. Die Förderung von CCS in Deutschland und Norwegen

Am Beispiel von CCS lässt sich zeigen, wie Governance von inkrementellen Innovationen im Energiesektor ausgestaltet ist und wie unterschiedliche Akteure und Strukturen im selben Sektor zu einer unterschiedlichen Performanz beitragen. So sehen wir eine blockierte Entwicklung in Deutschland auf der einen Seite und eine von einem breiten Konsens getragene Situation in Norwegen andererseits, mit den entsprechenden unterschiedlichen Erfolgen bei der Entwicklung und Umsetzung der CCS-Technologie.

Mit mehr als 1600 GW installierter Stromgewinnungskapazität (2010) stoßen die existierenden kohlebetriebenen Kraftwerke nach Angaben der International Energy Agency (IEA) 8,5 Gigatonnen von CO<sub>2</sub> aus. Das sind ungefähr ein Viertel der jährlichen anthropogen verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Trotz der Bedenken hinsichtlich der Auswirkungen auf den Klimawandel werden mehr neue Kohlekraftwerke gebaut als jemals zuvor. Über die letzten fünf Jahre (bis 2011) hinweg wurden rekordverdächtige 350 GW neu an Kapazität aufgebaut. Die Energieszenarien der IEA gehen davon aus, dass bis zum Jahre 2035 noch einmal 1000 GW dazu gebaut werden. Das stellt eine erhebliche Bedrohung für das globale Klima dar. Für die IEA stellt die CCS Technologie die einzige Möglichkeit dar, das weitere Wachstum der Kohlekraftwerksflotte weniger klimaschädlich zu gestalten. Die IEA fordert daher, dass alle neu gebauten Kraftwerke mit CCS ausgestattet werden müssen und dass auch bereits bestehende Anlagen mit dieser Technik nachgerüstet werden. CCS steht für Carbon Dioxide Capture and Storage. Die „Technologie“ umfasst eine Abfolge verschiedener, mehr oder weniger stark technisch geprägter Prozessschritte. Am Anfang stehen chemische Verfahren (präziser formuliert konkurrieren hier verschiedene, momentan in Pilotanlagen getestete und weiterzuentwickelnde Technologien) zur Abscheidung von während des Verbrennungsprozesses in Gas- oder Kohlekraftwerken entweichenden CO<sub>2</sub>. Das zweite Glied in der technologischen Kette ist der Transport des abgeschiedenen und eingefangenen CO<sub>2</sub> zu den Standorten der abschließenden Lagerung. Für einen kommerziellen Einsatz bieten sich Pipelines an. In kleinerem Umfang kann das CO<sub>2</sub> auch in Tanklastwagen transportiert werden. Das dritte Glied in der Technologiekette ist die Speicherung oder Endlagerung des CO<sub>2</sub>. Je nach geologischen Voraussetzungen sehen sich verschiedene Länder mit sehr unterschiedlichen Bedingungen konfrontiert. Manche Länder verfügen über keine Speicherpotenziale, manche Länder verfügen über mögliche Standorte an Land – entweder in bestimmten

porösen Gesteinsschichten oder in ausgeförderten, d.h. entleerten früheren Erdgasfeldern. Andere Länder wiederum verfügen über sogenannte off shore Speicherpotenziale, z.B. in entleerten Gasfeldern unter dem Meeresboden.

#### 3.1. CCS in Norwegen

Norwegen stellt im Hinblick auf die Modalitäten der Stromerzeugung einen Sonderfall dar. Traditionell wird überwiegend auf Wasserkraft zur Stromgewinnung gesetzt. Auf der anderen Seite ist Norwegen der fünfgrößte Ölexporteur und der drittgrößte Gasexporteur der Welt. Die norwegische Wirtschaft bestreitet mit ihren Öl- und Gasvorkommen fast 50% des gesamten norwegischen Exports.

Treibende Akteure bei der Entwicklung von CCS in Norwegen waren zunächst nicht die Akteure aus dem System der heimischen Stromerzeugung, sondern Norwegens größter Ölkonzern Statoil sowie die Forschungseinrichtung SINTEF und die Technische Universität von Trondheim NTNU. Bereits in den 1980er Jahren wurde von ihnen die Idee der Abscheidung und Speicherung von CO<sub>2</sub> entwickelt. Zur selben Zeit saß Norwegens Ministerpräsidentin Gro Harlem Brundtland der World Commission on Environment and Development der Vereinten Nationen vor. Unter ihrer Führung wurde ein umfassender Bericht zur Nachhaltigen Entwicklung verfasst. In der Folge führte Brundtland 1991 in Norwegen für verschiedene fossile Brennstoffe und Sektoren eine CO<sub>2</sub>-Steuer ein. Diese Steuer war dann in den 1990er Jahren mit ausschlaggebend dafür, die Pläne der Abscheidung und Injektion von CO<sub>2</sub> in Öl- und Gasfelder zunächst als Forschungsaktivitäten und zunehmend auch als kommerzielle Projekte durchzuführen. Die Öl- und Gasindustrie hatte insbesondere Interesse an einem der CCS Technologie verwandten Bereich: Mit sogenannten EOR (Enhanced Oil Recovery) oder EGR (Enhanced Gas Recovery)-Verfahren wird in off shore Öl- und Gasfeldern CO<sub>2</sub> zur verbesserten Öl- und Gasausbeute eingeleitet. Schnell vergrößerte sich das Akteursnetzwerk um weitere Forschungspartner. Zunächst kam Norwegens größter Anlagenbauer, Kvaerner hinzu. Im Laufe intensiver Forschungsprojekte schlossen sich weitere Akteure an, insbesondere internationale Ölkonzerne. Treibende Kraft in Norwegen blieb die Öl- und Gasindustrie, die ihre F&E-Aktivitäten sowie Partnerschaften mit wissenschaftlichen Einrichtungen mit dem Ziel vorantrieb, CO<sub>2</sub> in die fast leer geförderten Öl- und Gasfeldern zu injizieren und zu speichern. Die Aktivitäten starteten 1992 zunächst theoretisch: in Computermodellen wurde das Verhalten von CO<sub>2</sub> während und nach der Injektion in die vorgesehenen Speicherstätten simuliert. Dies geschah im Rahmen eines EU-For-

schungsprojektes, in dem die norwegischen Akteure Statoil und SINTEF mit europäischen Partnern kooperierten, um die Speicherkapazitäten der Nordsee zu explorieren. Ab 1996 startete Statoil dann mit der ersten kommerziellen Nutzung im Gasfeld Sleipner West in der Nordsee.

Der Anlagenbauer Kvaerner begann parallel 1992 mit F&E-Programmen zur Abscheidung. Dabei konzentrierte man sich auf das sogenannte Post Combustion Verfahren. Ab 1997 erhielten Forschungsaktivitäten zu CCS auch öffentliche Forschungsgelder aus dem KLIMATEK Programm der norwegischen Regierung. Nachdem Kvaerner mit der ersten Pilotanlage eines CO<sub>2</sub>-Abscheiders erfolgreich gestartet war, investierte Norwegens zweiter großer Technologierhersteller, Aker, in F&E zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung.

Norwegens Innovationsaktivitäten im Bereich CCS unterscheiden sich im Vergleich zu Deutschland, aber auch dem überwiegenden Rest der anderen, bei CCS-Innovationen aktiven Länder signifikant. Hierfür sind auch die geologischen Voraussetzungen verantwortlich: Norwegen verfügt aufgrund seiner immensen – teilweise entleerten – Erdgasfelder über die größten CO<sub>2</sub>-Speicherpotenziale Europas. Die Standorte befinden sich unter dem Meeresgrund und werden seit Jahrzehnten industriell ausgebeutet. Früher als in allen anderen Ländern war es Norwegen bzw. den norwegischen Akteuren möglich, Forschungsaktivitäten im Bereich der Speicherung voranzutreiben. Treibende Kraft war hier zunächst die Öl- und Gasindustrie, die sich zum Einen vom dritten technologischen Glied der CCS-Kette erhoffte, die hohen, durch die CO<sub>2</sub>-Steuer anfallenden Kosten zu sparen und sich darüber hinaus auch durch EGR bzw. EOR Technologien zukünftige hohe Gewinne durch die verbesserten Ressourcenausbeutungsverfahren versprach. Die Speicheroptionen Norwegens hatten aber inzwischen auch die großen globalen Kraftwerkskonzerne, wie z.B. Alstom angelockt, um in Norwegen Pilotprojekte zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung durchzuführen. Gemeinsam mit noch weiteren internationalen Forschungspartnern wurde 1999 das High Oxygen Verfahren patentiert.

Von gesellschaftlicher Bedeutung und von Interesse für die norwegische Elektrizitätsversorgung wurde CCS im Folgenden aufgrund des zunehmenden Strombedarfs, der wegen Umweltschutzbedenken nicht mehr durch den Zubau neuer Wasserkraftwerke gedeckt werden sollte. Nachdem der norwegische Energieversorger Naturkraft zwei Konzessionen für den Bau von Gaskraftwerken erhalten hatte, brach eine umweltpolitische Debatte los, da Gaskraftwerke (wenn auch nicht im selben Ausmaß wie Kohlekraftwerke) CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachen. Einflussreiche

Umweltorganisationen brachten in diesem Zusammenhang die CCS Technologie als mögliche Option ins Spiel, einerseits um der gestiegenen Stromnachfrage gerecht zu werden und gleichzeitig dem inzwischen politischen (auch durch das Kyoto Protokoll auf internationaler Ebene verankerten) Ziel des Klimaschutzes gerecht zu werden. Da die privaten F&E-Aktivitäten, die norwegische Politik sowie die geologischen Speicherpotenziale immer größere, nun auch von der EU(ko-finanzierte Forschungsverbände aktiv werden ließen, verbuchte CCS einen immensen Legitimationsschub in der breiten Bevölkerung, aber auch unter den meisten NGOs. Die ursprünglich aus etablierten Akteuren und Aktivitäten bestehende Governance-Struktur bei der Entwicklung und Verbreitung von CCS in Norwegen, erweiterte sich somit um neue Akteure aus der Zivilgesellschaft. Die etablierte Koalition, die auf gut ausgebaute Policy-Netzwerke bauen konnte und von der mit CCS in Verbindung stehenden Großtechnik geprägt war, stand somit in Norwegen nicht vor der Situation, sich „Herausforderern“ gegenüber zu sehen, die das etablierte System „von unten“ verändern wollten, sondern vielmehr schlossen sich jene neuen Akteure, denen es v.a. um den Klimaschutz ging, als Unterstützer der etablierten Koalition an. Im gesellschaftlichen Diskurs wurde CCS nicht in Frage gestellt. So verwandelte sich z.B. die ursprüngliche Debatte um den Bau oder Nicht-Bau zweier Gaskraftwerke in die Frage, ob die Gaskraftwerke mit oder ohne CCS-Technologie gebaut werden sollten (van Alphen et al. 2009, 47). Seit 2001 ist die norwegische Politik von der Leitlinie geprägt, keine weiteren Konzessionen ohne CCS zu erteilen. Aus dieser Vorgabe heraus wurde dann auch rasch die politische Verpflichtung klar, sich umfassend bei der Entwicklung und Verbreitung der CCS Technologie zu engagieren. Das KLIMATEK Forschungsprogramm wurde deutlich aufgestockt. Eine Vielzahl von Forschungsprojekten wurde in den letzten Jahren finanziert, davon viele auch als Projektverbände mit europäischen Forschungspartnern, und entsprechend von der EU kofinanziert. Die F&E-Aktivitäten fanden sowohl im Bereich Abscheidungsverfahren als auch im Bereich der Speicherung statt. Wobei letztere, insbesondere auch aufgrund der thematischen Verknüpfung zu Forschungen im Bereich EGR und EOR, zunächst im Zentrum standen. Sukzessive wurden dann aber auch die F&E-Aktivitäten zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung ausgedehnt. Im Zentrum stand dabei ein internationales Forschungsprogramm CCP, das von einem internationalen Firmenkonsortium durchgeführt wurde und das vom norwegischen Forschungsministerium, dem amerikanischen Energieministerium sowie der EU Kommission öffentliche Fördergelder erhielt.

Die zunehmenden F&E-Erfolge waren begleitet von der zweiten kommerziellen Anwendung durch Statoil. Die Entwicklung des „Snohvit“ Projektes basierte zum einen auf den Erfahrungen mit der CO<sub>2</sub>-Einleitung im Gasfeld Sleipner West und war zum anderen motiviert durch die nach wie vor hohe CO<sub>2</sub>-Steuer, die Öl- und Gaskonzerne empfindlich trifft. Das Snohvit Projekt umfasst den Transport von dem im (off shore) Snohvit Gasfeld geförderten Erdgas zu einer sich an Land befindenden Erdgasraffinerie. Dort wird das CO<sub>2</sub> abgeschieden und anschließend in Pipelines zurück zum Gasfeld transportiert wo es dann off shore in einer geologischen Formation unterhalb des Gasfeldes eingeschlossen und dauerhaft gelagert wird.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass CCS in Norwegen von einer breiten Koalition von etablierten Akteuren aus Staat, Forschung, Industrie und NGOs vorangetrieben wurde, die auf eine vorhandene Unterstützung in der Bevölkerung bauen konnten. Die Entwicklung der Technologie hat zu keinem disruptiven Wandel geführt, sondern war daran orientiert, vorhandene Stärken inkrementell weiter zu entwickeln.

### 3.2. CCS in Deutschland

Eine Betrachtung der Governance von Innovationen im Bereich CCS in Deutschland zeigt eine sich von der Situation Norwegens signifikant unterscheidende Ausgangssituation. Geprägt ist die Situation in Deutschland zum einen von der möglichen Rolle die CCS für Kohlekraftwerke spielen kann. Zum anderen von den geologischen Bedingungen. Als Speicherpotenziale werden in Deutschland v.a. ausgeförderte on shore Erdgasfelder und salzwasserführende, poröse Gesteinsschichten (saline Aquifere) in der Norddeutschen Tiefebene diskutiert.

Anders als in Norwegen, sind in Deutschland die Energiewirtschaft, konkret die Betreiber von Kohlekraftwerken, und die Hersteller von Kohlekraftwerkskomponenten treibende Kraft bei der Entwicklung der CCS-Technologie. Nach wie vor spielt Kohle für die Stromerzeugung in Deutschland eine bedeutende Rolle: Der Anteil der Braunkohle liegt bei 24 %, der Anteil der Steinkohle bei 18 % (UBA 2011). Die eingesetzte Braunkohle stammt zu fast 100% aus inländischen Quellen und ist der einzige wettbewerbsfähige heimische Energierohstoff von Relevanz. Nach einer Phase der Stagnation dominieren Kohlekraftwerke in den letzten Jahren wieder den Markt, d.h. laufende und geplante Bauprojekte sind vorrangig Kohlekraftwerke (Pahle 2010). Dabei gelten Kohlekraftwerke trotz zunehmend verbesserter Wirkungsgrade nach wie vor als die größten Verursacher von CO<sub>2</sub>-Emissionen. Aus diesem Grund hat Deutschland von allen EU-Mitgliedsstaaten den

höchsten CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Für CO<sub>2</sub>-Emissionen existieren momentan keine anlagenbezogenen Grenzwerte, sondern für CO<sub>2</sub>-Emissionen müssen Kohlekraftwerksbetreiber im Rahmen des Emissionshandels Zertifikate vorweisen. In ihrer Rolle als Kunden von Kraftwerkstechnologien haben die deutschen Energieversorger ein prinzipielles Interesse an technologischen Innovationen, einerseits für verbesserte herkömmliche Technologien, die sich z.B. in verbesserten Wirkungsgraden zeigen, andererseits auch an der CCS-Technologie, die CO<sub>2</sub>-Emissionen auf ein sehr niedriges Niveau senken würde. Da sich Deutschland zu einer ehrgeizigen Klimapolitik verpflichtet hat (40 %- CO<sub>2</sub> Reduktionsziel der Bundesregierung), besteht auch bei den politischen Akteuren ein großes Interesse, die CO<sub>2</sub>-Emissionen von Kohlekraftwerken zu senken.

Die große Bedeutung, die Kohle für die deutsche Stromerzeugung besitzt, spiegelt sich darin wider, dass Deutschland als weltweit führend bei der Entwicklung von Kohlekraftwerkstechnologien gilt (Weimer-Jehle et al. 2010). Innovationsaktivitäten im Bereich Kohlekraftwerke und CCS werden in Deutschland von einer überschaubaren Anzahl, vorrangig großer Akteure vorangetrieben. Dies sind einerseits Multinationale Unternehmen wie Siemens, Alstom und Hitachi Power Europe, die als bedeutende Kraftwerksbauer technisch hochentwickelte Komponenten wie Turbinen, Kessel und Generatoren fertigen, sowohl für deutsche Nachfrager als auch für den Weltmarkt. Innovationen finden vorrangig in Clustern von Forschungsnetzwerken zwischen Forschungseinrichtungen, wie z.B. dem Forschungszentrum Jülich, großen Universitätsinstituten, den F&E-Abteilungen der Kraftwerkshersteller sowie auch den F&E-Abteilungen der Kunden, i.d.R. der vier großen Energiekonzerne RWE, E.ON, Vattenfall und EnBW statt (Rogge/Hoffmann 2009, 7). In engen Kooperationsnetzwerken ist der Entwicklungsfortschritt verschiedener Abscheidungstechnologien (sowohl Oxyfuel Verfahren, Pre Combustion als auch Post Combustion) in Deutschland bereits weit fortgeschritten. Deutsche Patente und Technologien kommen auch bei ausländischen Forschungsprojekten sowie kommerziellen Erprobungsanlagen – etwa in Norwegen – zum Einsatz.

Zentrale Akteure der Governance von Innovationen bei CCS sind daher in Deutschland zum einen die Kraftwerkshersteller, als Unterstützter tritt auch die heimische Braunkohleindustrie auf, und natürlich die großen Energieversorgungskonzerne, die zum einen die Mehrzahl der in Deutschland laufenden Kohlekraftwerke betreiben und die zum anderen den zunehmend drohenden Zertifikathandel und die daraus für sie entstehenden hohen Kosten fürchten



(Rogge/Hoffmann 2009). Darüber hinaus sehen diese sich einem anstehenden Investitions- und Modernisierungsbedarf im bestehenden Kraftwerkspark ausgesetzt (bis 2030 muss mehr als die Hälfte der Kraftwerke ersetzt werden); d.h. schon bald müssen erhebliche Investitionen getätigt werden. Auf der anderen Seite erwarten die Kraftwerkshersteller Exportchancen für CCS-Technologien nach China, Indien und andere aufstrebende Schwellenländer. Deren wirtschaftliche Entwicklung ist zu weiten Teilen von der Nutzung der dort verfügbaren Ressource Kohle abhängig und ihre Nachfrage nach Energie wird hauptsächlich durch den Bau und die Inbetriebnahme neuer Kohlekraftwerke befriedigt (IEA 2006, 2). In China werden jährlich etwa 100 neue Kohlekraftwerke in Betrieb genommen.

Aufgrund der geschilderten industriepolitischen Bedeutung für die Kraftwerkshersteller wurden in Deutschland zunächst Forschungsaktivitäten im Bereich der CO<sub>2</sub>-Abscheidung von Seiten der Politik unterstützt und vorangetrieben. Hierbei war das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) federführend: im Rahmen der COORETEC-Initiative zur Förderung von Forschung und Entwicklung zukunftsfähiger Kraftwerke mit fossilen Brennstoffen wurden Forschungsprojekte und Pilotanlagen zur Abscheidung von CO<sub>2</sub> finanziert. Am Standort Schwarze Pumpe in Brandenburg, einem großen und traditionellen Braunkohlebergbaugebiet, befindet sich die weltweit erste Versuchsanlage für ein CO<sub>2</sub>-armes Braunkohlenkraftwerk nach dem Oxyfuel-Verfahren. Die Pilotanlage war 2008 vom Energiekonzern Vattenfall in Betrieb genommen worden und dient der Erforschung und Weiterentwicklung des Oxyfuel-Prozesses, um die Technologie zur Marktreife zu führen. Parallel entwickelte Vattenfall ein 300 MW-Demonstrationskraftwerk, das am Standort Jämschwalde (ebenfalls Brandenburg) in Betrieb gehen sollte. Das Demonstrationsprojekt war im Oktober 2009 im Rahmen des Auswahlverfahrens zur Förderung durch die EU-Kommission als „sehr gut“ bewertet worden und war somit für Fördermittel der EU in Höhe von 180 Millionen Euro zugelassen worden. Die brandenburgische Landesregierung begrüßte Vattenfalls Aktivitäten und die CCS-Technologie explizit, da sie sich durch die Entwicklung dieser Technologie wirtschaftliche Perspektiven für Brandenburg erhoffte.

Anders als in Norwegen kommen die treibenden Kräfte und Unterstützerkoalitionen für CCS aus dem Kraftwerks- und Bergbausektor. Hier lassen sich die inkrementellen Innovationsprozesse anhand der traditionellen Akteure und Netzwerke nachzeichnen. Nun überschreitet allerdings die CCS-Technologie aufgrund ihres mehrstufigen Charakters, klassische Sektorengrenzen und es zeigt sich, dass die

Abscheide-Technologie nicht losgelöst von der Speichertechnologie diskutiert werden kann, wie dies dann von der Politik auch als regulative Vorgabe formuliert wurde. Mit der Richtlinie 2009/31 zur geologischen Speicherung von CO<sub>2</sub> vom 25. Juni 2009 forderte die EU-Kommission die Mitgliedsländer auf, innerhalb von zwei Jahren einen rechtlichen Rahmen für die Erkundung und den Betrieb potenzieller CO<sub>2</sub>-Speicher zu schaffen. Darüber hinaus sei ein Nachweis über geeignete Speicherstätten für das in den Demonstrationsanlagen abgeschiedene CO<sub>2</sub> zu erbringen, sonst könnten Forschungsgelder, die die EU eigentlich für den Bau und Betrieb von bis zu zwölf kommerziellen Demonstrationsprojekten zur Verfügung stellt, nicht abgerufen werden. In Deutschland wäre davon neben Vattenfall und der geplanten Demonstrationsanlage in Jämschwalde auch der Energiekonzern RWE, der in Hürth bei Köln (Nordrhein-Westfalen) die Errichtung eines 450 M Demonstrationskraftwerkes mit Abtrennung und Speicherung von Kohlendioxid auf Basis der Kohlevergasungs-Kombikraftwerkstechnik (IGCC-Technologie) geplant hatte, betroffen gewesen.

Zwar gab es auch im Bereich Speicherung – z.B. im Rahmen des GEOTECHNOLOGIEN - Programms des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) – Forschungsanstrengungen und Erfolge, wie z.B. das seit April 2004 laufende, vom GeoForschungsZentrums Potsdam (GFZ) geleitete EU-Projekt CO<sub>2</sub>Sink. Hier wird seit Juni 2008 CO<sub>2</sub> in einen salinen Aquifer unter einem ehemaligen Untergundgasspeicher injiziert. Ziel des Projektes ist es, das Verhalten von CO<sub>2</sub> in großen Tiefen zu untersuchen und zu überwachen. Mit diesem Projekt wird in Ketzin (Brandenburg) wissenschaftliche Pionierarbeit geleistet, da es das erste Forschungsprojekt ist, das in Europa CO<sub>2</sub> geologisch auf dem Festland eingelagert.

Aber es stellte sich schnell heraus, dass die dritte Stufe der CCS-Technologie, die auf keine traditionelle Governance-Strukturen und Unterstützerkoalitionen zurückgreifen konnte, bei ihrer kommerziellen Erprobung auf Akzeptanzprobleme stieß, die den Innovationsprozess zum Stoppen bringen könnten. So gab und gibt es massive Widerstände gegen die Exploration geeigneter Lagerstätten. Verschiedene Bürgerinitiativen wurden gegründet, die auch große Unterstützung durch Umweltverbände, aber auch Verbände wie dem Bauernverband und dem Verband der Wasserwirtschaft erhielten (Schulz et al. 2010). Nach massiven Bürgerprotesten und einer letztlich ablehnenden Haltung verschiedener Landesregierungen, allen voran der Regierung von Schleswig-Holstein, scheiterte die Verabschiedung eines CCS-Gesetzes auf Bundesebene. Als Folge stoppte RWE den Bau des Demonstrationskraftwerkes in Hürth. Zuvor war



RWE bereits bei der Bewerbung um EU-Fördermittel für das Projekt gescheitert, da man aufgrund der Widerstände, denen man sich bei der Suche nach möglichen Lagerstätten, ausgesetzt sah, auch keine Speicherpotenziale nachweisen konnte. Die bislang in Deutschland einzige Genehmigung zur Exploration eines potenziellen kommerziellen CO<sub>2</sub>-Speichers, nämlich für zwei Standorte in Brandenburg, erfolgte durch das brandenburgische Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR) auf Grundlage bergrechtlicher Regelungen und Bewertungen. Das LBGR hatte bei der Genehmigung allerdings zunächst auf das noch ausstehende CCS-Gesetz des Bundes verwiesen. Nachdem dieses im Sommer 2009 (insbesondere am Widerstand Schleswig-Holsteins) im Bundesrat gescheitert war, verfügte das Land Brandenburg im Dezember 2009, dass eine „Übergangslösung“ bis zur Verabschiedung eines nationalen Gesetzes angemessen sei (LBGR 2009). Inzwischen wurde ein neuer Gesetzesvorschlag erarbeitet, der nach zähen Diskussionen im April 2011 zunächst vom Kabinett verabschiedet wurde. Aber von Seiten der Unterstützer wurde dem Entwurf bereits vorgeworfen, eher ein CCS-„Verhinderungsgesetz“ zu sein, da den Bundesländern zu viel Mitsprache eingeräumt wurde- und die Mehrzahl der Länder (mit Ausnahme Brandenburg) eine ablehnende Haltung gegenüber der Speicherung von CO<sub>2</sub> einnimmt. Am 23. September 2011 stimmte der Bundesrat daher erwartungsgemäß gegen das Gesetz. Aufgrund der im Gesetz vorgesehenen weitreichenden Ländermitsprache, sprachen sich Gegner der Technologie wie Niedersachsen für das Gesetz aus, kündigten aber gleichzeitig an, im eigenen Land keine CO<sub>2</sub>-Speicherung zuzulassen. Dies veranlasste Brandenburg, das als Braunkohleförderland eigentlich für die CCS-Technologie votiert, sich gegen das Gesetz auszusprechen, da man befürchtete, als einziges Bundesland die Speicherung durchsetzen zu müssen und dadurch die Proteste in der Bevölkerung zu erhöhen. Auch der Konzern Vattenfall hatte den nur bis 2016 befristeten Gesetzentwurf kritisiert, da er zu wenig Planungssicherheit für den Bau des Testkraftwerks Jämschwalde biete. In der Folge sagte Vattenfall die Realisierung des am Standort Jämschwalde geplanten CCS-Demonstrationsprojektes ab. So ist die Zukunft dieser Technologie in Deutschland momentan sehr unsicher.

Ähnlich wie in Norwegen sind es die etablierten industriellen Akteure, die sich mit der Forschung vernetzen und an einer Entwicklung der CCS-Technologie interessiert sind. Auch der Staat ist ähnlich wie Norwegen klimapolitisch stark engagiert und befürwortet aus diesem Grunde CCS. Hier enden aber die Gemeinsamkeiten. CCS in Deutschland kann nicht auf einen breiten sozialen Konsens bauen. Die Akti-

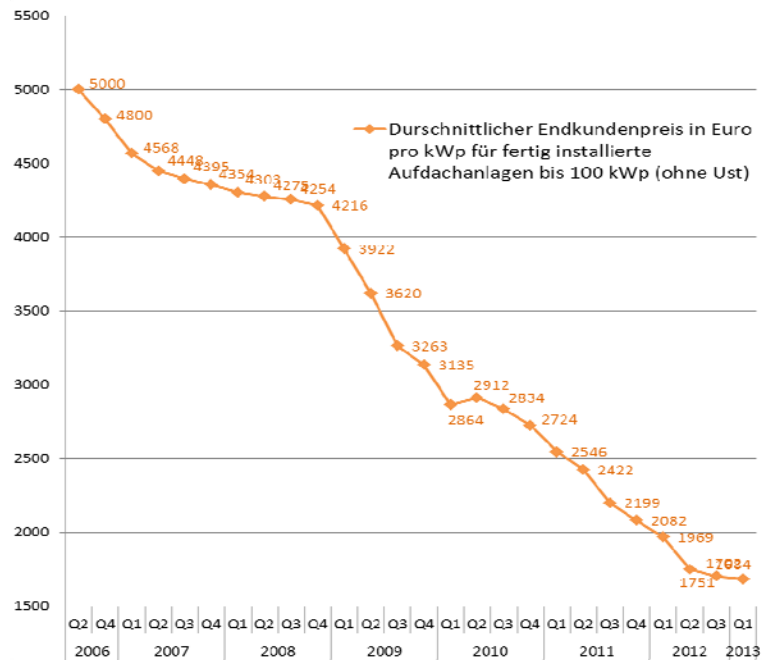
vitäten von Bürgerinitiativen, NGOs etc. haben dazu geführt, dass die Politik bislang keine belastbare Regulierung für den Einsatz von CCS durchsetzen konnte.

#### 4. Die Förderung von Photovoltaik in Deutschland und Japan

Im Gegensatz zu den inkrementellen Innovationen im Bereich klimafreundlicher Kohlekrafttechnologien, sind an der Entwicklung und Diffusion erneuerbarer Energien insbesondere in Deutschland eine Vielzahl neuer Akteure beteiligt, wie neue Hersteller, Stromhändler sowie Betreiber dezentraler Anlagen. Die klima- und umweltpolitischen Herausforderungen haben darüber hinaus zu einem Gefüge von politischen Eingriffen in den Energiemarkt geführt. Neue Steuerungsinstrumente wurden entwickelt und es sind veränderte Akteurskonstellationen zu beobachten, die zu neuen Governance-Strukturen geführt haben.

Die Bedeutung der Sonnenenergie für die Stromproduktion wird kontrovers diskutiert. Auf der einen Seite gibt es Befürworter, die davon ausgehen, dass der weltweite Strombedarf fast ausschließlich mit Sonnenenergie gedeckt werden könne. Die Gegner, die insbesondere aus dem Lager der etablierten Energieversorger und der sie unterstützenden Politik kommen, halten Solarenergie für zu teuer und zu unzuverlässlich. Trotzdem hat die Solarenergie in den letzten Jahren ein erstaunliches Wachstum erfahren. Bei der PV-Technologie werden Solarzellen genutzt um elektrischen Strom zu erzeugen. Inzwischen werden unterschiedliche Typen von Solarzellen entwickelt. Am weitesten verbreitet sind monokristalline oder polykristalline Siliziumzellen. Silizium wird als Material auch üblicherweise bei der Herstellung von Halbleitern in der Elektroindustrie verwendet. Monokristalline Siliziumzellen zeichnen sich durch besonders hohe Wirkungsgrade aus, sind aber auch teurer als polykristalline Zellen, die einen niedrigeren Wirkungsgrad aufweisen. Eine dritte, inzwischen ebenfalls weit verbreitete Technologie ist die sogenannte Dünnschichttechnologie, die aus Cadmium Tellurid (CdTe) oder Kupfer-Indium-Diselenid (CIS) besteht. Zunächst einmal geht es bei technologischen Entwicklungen im Bereich der PV um eine Verbesserung der Wirkungsgrade und um Kostensenkungen. Rein technologisch betrachtet, sind diese Innovationen daher zunächst als inkrementelle Innovationen zu verstehen. Die inkrementellen Innovationsschritte lassen sich z.B. anhand der Lernkurve zeigen, die sich in sinkenden Kosten und dadurch auch sinkenden Preisen ausdrückt.

**Abb. 1: PV-Preisindex**



Quelle: BSW Solar 2012:

Statistische Daten der deutschen Solarbranche

(Photovoltaik). Bundesverband

Solarwirtschaft e.V. (BSW-Solar)

Februar 2013

Entscheidend ist aber die Frage, ob der Einsatz und die Anwendung der Technologie einschneidende strukturelle Veränderungen und neue Routinen im Energiesektor nach sich zieht. Entsprechend unterschiedlich gestaltet sich daher auch die Governance-Struktur und die daran beteiligten Akteure und Akteurskonstellationen.

#### 4.1. Photovoltaik (PV) Entwicklung in Japan

Die Anfänge der PV-Forschung gehen in Japan bis in die 1960er Jahre zurück. Der Konzern Sharp war damals mit der Entwicklung von Solarzellen für die Weltraumforschung befasst. Mit der Ölkrise in den 1970er Jahren, die Japan aufgrund seiner Importabhängigkeit besonders schmerzlich traf, startete die japanische Regierung 1973 ein erstes öffentliches Programm, das „Sunshine Program“, um die Importabhängigkeit zu reduzieren. Ein kleiner Anteil, 6 Mio. US-Dollar, war darin auch zur Förderung der PV-Forschung für terrestrische Anwendungen vorgesehen. 1978 dehnte Japan dann seine Forschungsanstrengungen im Bereich PV aus.

Im Zentrum des japanischen Innovationssystems stehen große, integrierte Firmen, die inkrementelle Weiterentwicklungen von Produkten und Prozessen durchführen. Radikale Basiserfindungen stehen weniger im Vordergrund. Japans Innovationssystem ist besonders gut geeignet, tacit knowledge zu aktivieren, welches insbesondere für inkrementelle

Innovationen relevant ist. Diese grundsätzlichen Charakteristika Japans finden sich auch bei den wichtigen Akteuren der japanischen Innovationen im PV-Bereich wieder. Neben der zuvor genannten Firma Sharp waren auch die Konzerne Fuji, Sanyo, Kyocera und Hitachi im PV-Geschäft involviert.

Zweiter wichtiger Akteur der Governance von Innovationen in Japan ist der Staat. Er ist deutlich aktiver und lenkender als z.B. entsprechende Stellen in Deutschland: „Japan and Germany clearly display different social systems of innovation, and this is why these countries showed contrasting patterns of evolution during the last quarter of the twentieth century“ (Boyer 2003, 148). Vogel (2003) weist auf bedeutende Unterschiede zwischen der deutschen und der japanischen Innovationspolitik hin: „The German government merely facilitates private-sector coordination, whereas the Japanese government organizes and guides the private sector more directly. The German government has codified its economic model into law, whereas the Japanese model relies more on informal norms and standard practices.“ (Vogel 2003, 308).

Dass der japanische Staat mit unterschiedlichen Maßnahmen und Strategien aktiv ins Geschehen eingreift, zeigt sich sowohl für den Energiesektor als Ganzes als auch für den PV-Bereich im Speziellen. Nach dem zweiten Ölpreisschock 1979 gründete die Regierung 1980 die New Energy Development Organization (NEDO), mit dem Ziel insbesondere die Erdölabhängigkeit des Landes zu überwinden. NEDO ist dem Ministerium für internationalen Handel und Industrie (MITI) angegliedert, das auch für Energiefragen zuständig ist. Das MITI ist als zentraler Akteur

dafür verantwortlich, dass sich Japan in vielen Sektoren seit den 1960er Jahren zur Weltspitze vorgearbeitet hat. Es ist der wichtigste Akteur in der japanischen Industriepolitik und ihm steht eine Bandbreite an Steuerungsinstrumenten zur Verfügung. Besonders bedeutend sind die vom MITI initiierten engen Netzwerke und Absprachen zwischen Politik, Industrie und Wissenschaft. Öffentlich finanzierte Aktivitäten zur Initiierung und Unterstützung von F&E werden gemeinsam mit Industrie- und Wissenschaftsvertretern erarbeitet, was zur Folge hat, dass diese schnell wirksam sind, da sie auf weniger Widerstände bei den Adressaten stoßen oder mögliche Schwierigkeiten der Umsetzung bereits bei der Planung berücksichtigt werden.

Die Unterorganisation NEDO übernahm die Aufgaben des MITI für den PV-Bereich. Seit 1988 heißt die Organisation „New Energy and Industrial Technology Development Organization“ und betont damit noch stärker ihre Industrieverantwortung (Ristau 1998, 81). Mitglieder der NEDO kamen sowohl von der Regierungsseite wie aus der Industrie. So spielte u.a. auch der Energiekonzern Tokyo Electric Power Company eine wichtige Rolle bei der Ausgestaltung der Energiekonzepte und Strategien der Organisation. Typisch für Japan wurden informelle kooperative Netzwerke zwischen privaten und staatlichen Akteuren bewusst gefördert. In den 1980er Jahren übernahm NEDO für den PV Bereich zwei zentrale Aufgaben: zum einen wurden Forschungsprojekte zur Verbesserung des Wirkungsgrades von Solarzellen finanziert. Zum anderen trat NEDO als wichtigster Nachfrager für die industriell hergestellten Solarzellen in Erscheinung. Da in den 1980er Jahren weder ein heimischer noch ein Exportmarkt für PV-Anwendungen existierte, war die öffentlich generierte Nachfrage entscheidend für die japanische Industrie, sich eine weltweit führende Rolle in der PV-Technologie zu erarbeiten. Aber sukzessive etablierte sich auch ein Weltmarkt, den Japan rasch bedienen und entsprechend seine Marktanteile steigern konnte: „Besaßen die Japaner 1983 am weltweiten Absatz von Modulen einen Anteil von 23 Prozent, betrug dieser nach einer Erhebung der europäischen Solarvereinigung Eurosol zwei Jahre später schon 45 Prozent“ (Ristau 1998, 81).

Um technologische Entwicklungen in die gewünschte Richtung voranzutreiben organisiert das MITI konkurrierende Forscherteams, jeweils zusammengesetzt aus Firmen- und Wissenschaftsvertretern. Dabei werden sowohl konkurrierende Technologiestränge parallel verfolgt, als auch mehrere Teams an die Entwicklung einer Technologielinie angesetzt: „So arbeitete im Fall der PV-Forschung die Gruppe, der Kyocera angehörte, ebenso an polykristallinem

Silizium wie die Gruppe um Hitachi, während sich Sharp um die Verbesserung monokristallinen Siliziums kümmerte. (...) Neben der Gruppenbildung gehört die Konkurrenz zu den wichtigsten Prinzipien des japanischen Wirtschaftslebens. Die verschiedenen Gruppen arbeiten abgeschirmt voneinander an zum Teil ähnlichen Projekten, die unter bestimmten Prämissen stehen, die vom MITI formuliert worden sind, und die es zu erreichen gilt“ (Ristau 1998, 84).

Die Aktivitäten zur PV-Forschung und Diffusion waren in den 1980er Jahre noch hauptsächlich im Bereich der Verbraucherelektronik angesiedelt. Größere, insbesondere netzgekoppelte Anwendungen, wurden noch nicht in Angriff genommen. Es gab zwar im Bereich der Solarthermie bereits umfangreiche Pläne und Umsetzungen zum solarthermischen Heizen und Kühlen, ebenso wie visionäre Projekte für zukünftige solarthermische Kraftwerke formuliert wurden, doch ein großtechnischer Einsatz von PV zur Stromversorgung war in den 1980er Jahren noch nicht im Fokus.

In den 1990er Jahren kam dann der entscheidende Startschuss. Das aus den 1970er Jahren stammende Sunshine Program wurde 1993 durch ein „New Sunshine Program“ weiter geführt. MITI, NEDO und das Industrial Technology Advisory Committee waren dafür institutionell zuständig. Die Inhalte des New Sunshine Programs waren vielfältig. Erstmals war mit der F&E-Förderung auch explizit das politische Ziel benannt, die Erderwärmung zu stoppen. Es handelte sich dabei um ein in zwei Phasen unterteiltes Langzeitprojekt. Für die erste Phase, von 1993-2000 standen bei der F&E-Förderung die beiden Ziele der Kostenreduktion und der Wirkungsgradsteigerung im Vordergrund. Für die zweite Phase von 2001 bis 2010 sollte das Ziel einer noch weitreichenderen Kostensenkung – und damit die breite Anwendbarkeit für den Massenmarkt – verfolgt werden (Anderson et al. 2006, 26).

Die Stärke des japanischen Innovationssystems, die sich auch für den PV-Bereich zeigte, war nicht nur in der korporativen Forschungsförderung sondern auch in politischen Instrumenten zur Technologiediffusion (wie z.B. der Finanzierung von Demonstrationsanlagen und Marktanreizprogrammen) (Mowery/Rosenberg 1993, 60) begründet. Um der Industrie Anreize zu geben, ihre Produktionskapazitäten auszudehnen, legte das MITI bereits 1994 das sogenannte 70.000 Dächer Programm („Monitoring Program for Residential PV Systems“) auf (Shum/Watanabe 2009, 3536). Durchgeführt wird das Programm von der New Energy Foundation (NEF). Darin übernahm die Regierung 50% der Installationskosten privater Haushalte, aber auch Firmen konnten Subventionen für die Installation von PV-Anlagen

beantragen. Finanziert wurde das Programm durch eine Aufpreis auf die Stromtarife. Die Energieversorger wurden darüber hinaus dazu verpflichtet, überschüssigen PV-Strom zum Marktpreis zu übernehmen. 2003 erfolgte eine Anpassung des Programms, nun wurden nur noch 15 % der Kosten vom Staat übernommen. 1997 wurde das Neue Energien Gesetz („Law on Special Measures to Promote Use of New Energies“) verabschiedet. Es beinhaltete eine Mischung aus Subventionen und anderen Programmen um die Verbreitung von PV (und anderen erneuerbaren Energien) zu fördern. Darin waren auch explizite Zielvorgaben formuliert: Gegenüber einer Verbreitung von PV 1996 von 57 MW wurde für 2010 das Ziel von 5000 MW vorgegeben („Long-term Energy Supply/Demand Outlook“). Weitere Gesetze mit Zielvorgaben zur Verbreitung von PV folgten, ebenso wie eine Bandbreite an Projekten, die z.B. auch die öffentliche Nachfrage nach PV-Anlagen stärken sollten. Das Bildungsministerium legte ein Eco-School Project auf, das Infrastrukturministerium das Green Government Office Project und zwischen 1992 und 1998 wurde ein Field Test Project on Photovoltaic Power Generation for Public Facilities durchgeführt, das 1998 durch das Field Test Project on Photovoltaic Power Generation for Industrial and Other Applications abgelöst wurde (Anderson et al. 2006, 26).

Die Ausgaben auf staatlicher Seite in den 1990er Jahren zur Förderung von PV waren deutlich höher als in allen anderen Ländern. Das Staatsbudget 1997 sah Ausgaben von 150 Mio. Euro vor. Davon entfiel etwas weniger als die Hälfte auf F&E, der größere Anteil wurde für die Nachfrageförderung verwendet (Ristau 1998, 92). Seit 1997 wurden die Subventionen mit einem weiteren Programm weiter ausgedehnt: Mit dem „Program for the Development of the Infrastructure for the Introduction of Residential PV Systems“ stiegen die Subventionen zwischen 1997 und 2001 von 11,11 Mrd. Yen auf 23,5 Mrd. Yen an (Shum/Watanabe 2009, 3536).

Im April 2003 wurde ein weiterer wichtiger Schritt zur Unterstützung und Verbreitung der PV (gemeinsam mit anderen erneuerbaren Energietechnologien) vollzogen. Japan führte ein Quotenmodell – den Renewable Portfolio Standard (RPS) ein, mit dem das Ziel erreicht werden sollte, den Ausbau der erneuerbaren Energien bis zum Jahre 2010 auf 3,2 % des gesamten Energieverbrauchs voranzubringen. Der RPS verlangt von jedem Energieversorgungsunternehmen, ein jährliches Verkaufsziel von sechs verschiedenen erneuerbaren Energieträgern (inklusive PV) festzusetzen (Anderson et al. 2006, 26).

95% der PV-Anlagen in Japan sind mittlerweile netzgekoppelte Anwendungen. Die in Japan verbreitete

Technologie gleicht einem standardisierten Massenprodukt ohne nennenswerte kundenspezifische Anpassungen (Shum/Watanabe 2009, 3540). Der in Japan traditionell vorherrschende vertikal integrierte Innovationsprozess lässt sich auch für PV-Anlagen und sogar ihre letzte Anwendung, dem Auf- und Anbau durch Handwerker und Architekten finden. Shum und Watanabe greifen in ihrer Beschreibung der japanischen Governance von PV-Innovationen auf das Bild einer „geschlossenen“ Entwicklung zurück (Shum/Watanabe 2009, 3540). Mittlerweile integrieren auch einige große Baufirmen die PV-Installation und Netzintegration als Arbeitsschritte bei der Fertigstellung neuer Gebäude. Im Umfeld der PV haben somit Baufirmen und Handwerker neue Routinen im Umgang mit dieser Technologie entwickelt und leisten dabei einen Beitrag zu ihrer weiteren Verbreitung.

Die Entwicklung der PV in Japan entspricht dem vergleichbarer anderer Innovationsprozesse. Kooperation zwischen den Hauptakteuren aus Staat und Industrie mit dem Ziel weltmarktfähige Produkte zu erzeugen, die es der heimischen Industrie erlauben sollte, entsprechende Exporterfolge zu erzielen. Für die Umsetzung wurden die etablierten Kooperationsformen benutzt, um inkrementell und kontinuierlich die Innovation voranzutreiben. Trotz der technologischen und industriellen Vorreiterposition, die Japan über eine lange Zeit behaupten konnte, ist die Installation von PV-Anlagen in Japan wenig beeindruckend (vgl. Abb.2). Hier spielt eine Rolle, dass es trotz vieler staatlicher Maßnahmen nicht gelang, einen Markt für PV-Anlagen in Japan aufzubauen. Die etablierten Akteure, die die PV-Entwicklung vorantrieben, hatten eher die Exporterfolge im Auge als eine signifikante Änderung des Energiemixes, der sich auf die Kernenergie als Hauptbestandteil fokussierte. Bis Fukushima wurden zwar die PV-Ausbauziele erreicht, der Anteil erneuerbarer Energien am Energiemix ging aber zurück.

## 4.2. Beispiel Deutschland

Anders als in Japan lassen sich für den deutschen PV-Sektor radikale Innovationen und deutliche Brüche bzw. Veränderungen in der Governance feststellen. Während sich in den bisherigen Beispielen eine kontinuierliche staatliche Förderpolitik beobachten ließ, die auf der Kooperation der Hauptakteure aus Staat und Industrie beruhte, sind für den deutschen Fall bei der Governance von Innovationen im Bereich erneuerbarer Energietechnologien lange Zeit eher bescheidene staatliche Unterstützungsbemühungen und bis in die Gegenwart wechselnde Prioritäten feststellbar. Im Gegensatz zu Norwegen oder Japan oder der CCS-Entwicklung in Deutschland, waren daher für die



Aufrechterhaltung des Interesses an PV insbesondere nicht-konventionelle Akteure (z.B. so genannte soziale Bewegungen) verantwortlich.

Ausgelöst durch die Ölkrise wurden in Deutschland in den 1970er Jahren die ersten politischen Programme zur F&E-Förderung der Photovoltaik initiiert. Zu diesem Zeitpunkt lag die politische Zuständigkeit für die Photovoltaik zwar beim Forschungsministerium (BMFT), allerdings wurden eine Reihe von Forschungsarbeiten vom Entwicklungsministerium (BMZ) finanziert, da man die Zukunft terrestrischer photovoltaischer Anwendungen damals noch insbesondere in netzfernen Bereichen, d.h. in entlegenen Gebieten, insbesondere in Entwicklungsländern mit einer nur rudimentären Stromversorgung und fehlenden Stromnetzen sah.

Als die Ölpreise dann jedoch wieder sanken und mit Beginn der CDU/FDP-Koalition unter Helmut Kohl, wurden politische Programme zur Beförderung der Photovoltaik deutlich zurückgefahren. Trotzdem hatte die frühe Forschungsförderung in den 1980er Jahren bereits erste Früchte getragen: zum einen hatten es die beiden industriellen Hauptempfänger der öffentlichen PV-Förderung, AEG-Telefunken und Siemens-Solar, geschafft, internationale Konkurrenzfähigkeit zu erlangen (Ristau 1998, 46). Zum anderen konnte sich die deutsche PV-Forschung ebenfalls etablieren und gemeinsam mit Japan und den USA eine internationale Spitzenstellung einnehmen. Hierbei war ausschlaggebend gewesen, dass die Forschungsgelder sehr breit verteilt, in unterschiedliche Technologien und Verfahren flossen, und sowohl universitäre Institute als auch insbesondere angewandte Forschungszentren, wie etwa das 1982 gegründete Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg davon profitierten. Auf diese Weise wurden Forschungsprojekte zu einer Bandbreite unterschiedlicher (konkurrierender) Technologien finanziert, die nicht von vornherein bezüglich ihrer Zukunftsfähigkeit und ihres Marktpotenzials von politischer Seite aus bewertet worden waren. Interessanterweise wurden bereits zu diesem frühen Zeitpunkt auch komplementäre, angewandte Forschungsarbeiten, wie etwa Projekte, die das Ziel einer Weiterentwicklung und Verbesserung von Wechselrichtern hatten (zur Realisierung netzgekoppelter Photovoltaikanlagen), vorangetrieben (Jacobsson/Lauber 2006, 262 f.). Trotz den erfolgreichen Anfängen einer deutschen Solarindustrie und PV-Forschung, kann noch kein deutsches Erfolgsmodell für die 1980er Jahre konstatiert werden. Im Gegenteil, aufgrund der fehlenden inländischen Nachfrage, wurden zwar ‚erfolgreich‘ Photovoltaiktechnologien fast bis zur Marktreife entwickelt und produziert, trafen dann jedoch auf kein gesellschaftliches und politisches Interesse und es kam zu

keiner Anwendung der neuen Technik. Im Gegenteil: die Entwicklung der Technologie wurde durch etablierte Marktakteure des Energiesektors, nämlich die Energieversorgungsunternehmen bedroht, die mit besten Kontakten zu den Entscheidungsträgern und Verwaltungsebenen in den Ministerien ausgestattet waren. Hinzu kamen Kompetenzstreitigkeiten bzw. eine unglückliche Verteilung der Zuständigkeiten auf verschiedene Ministerien, die eine Innovationen befördernde Politik zu diesem Zeitpunkt eher behinderte. Traditionell wurden Markteinführungsprogramme vom Wirtschaftsministerium (BMWi), F&E vom Forschungsministerium (BMFT) finanziert (Ristau 1998, 44 ff.). Neuere, eine Cluster- und Netzwerkaktivitäten fördernde Innovationspolitik existierte in den 1980er Jahren noch nicht.

Dann jedoch bekam die nur sehr schwache, hauptsächlich aus PV-Forschern und den bis dahin nur wenigen Mitgliedern der 1975 gegründeten Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS) bestehende PV-Koalition überraschend Unterstützung: Externe Ereignisse führten dazu, dass der Bekanntheitsgrad von Photovoltaik sich rasch erhöhte und ihre Akzeptanz als mögliche alternative Energieresource schnell erhöhte. Der Reaktorunfall von Tschernobyl im Jahre 1986 veränderte die Einstellung zur Kernenergie massiv und bot damit die Möglichkeit, eine generelle gesellschaftliche Diskussion über die Zukunft des Energiesektors und Möglichkeiten einer Transformation anzustoßen. Innerhalb von zwei Jahren stieg die Ablehnung der Kernenergie in der deutschen Bevölkerung von 50% auf über 70% (Jahn 1992). Die PV-Wissenschaftler schafften es zu diesem Zeitpunkt, PV als Alternative zur Atomenergie, als ein wichtiges Element für die Transformation des Energiesektors und als saubere, daher umweltfreundliche Energiequelle zu lancieren. Damit trafen sie die unterschiedlichen Interessen der in den verschiedenen Umweltgruppen und Antiatomkraftbewegungen Engagierten. Im Vergleich zu anderen europäischen Ländern waren die Umweltbewegungen, die breite Ablehnung der Kernenergie nach dem Tschernobyl-Unfall und die Grüne Partei in Deutschland besonders stark. Aus diesem Grund fühlten sich politische Entscheidungsträger zu einem vergleichsweise frühen Zeitpunkt dazu verpflichtet, die Photovoltaik mit einem Markteinführungsprogramm zumindest symbolisch zu unterstützen. 1991 startete das 1000-Dächer-Programm. Finanziert von der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), bot es verbilligte Kredite für private Haushalte, die gleichzeitig Interesse zeigten, an einer groß angelegten Testphase für netzgekoppelte Photovoltaikanwendungen teilzunehmen. Als solches war das 1000-Dächer-Programm gleichzeitig ein Demonstrationsprojekt und ein Markteinführungspro-

gramm. Des Weiteren wurden parallel dazu bundesweite Schulungen für Handwerksbetriebe durchgeführt, die für die Installation der Anlagen verantwortlich waren (ISE 1996). Das Programm, mit dem erste netzgekoppelte Photovoltaikanlagen privater Haushalte realisiert wurden, erforderte eine zusätzliche Regelung über die Einspeisung und Vergütung des einzuspeisenden Stroms in die Netze der Energieversorgungsunternehmen. NGOs wie die DGS, der Solarenergie-Förderverein oder Eurosolar nutzten diese Situation, um Einfluss auf die Politik auszuüben. Sie entwickelten Einspeisungs- und Finanzierungsmodelle und bewarben sie. Die 1990er Jahre wurden im Folgenden insbesondere durch institutionelle Neuerungen auf globaler und EU-Ebene geprägt, die Einfluss auf die Governance von PV-Innovationen in Deutschland nahmen. Die von der EU geforderten Deregulierungen auf dem Strommarkt einerseits und eine zunehmende Wahrnehmung der Bedrohung durch einen Klimawandel andererseits, die etwa in dem 1997 unterzeichneten Kyoto-Protokoll ihren Ausdruck fand, führten zur weiteren Formierung und Organisierung von Befürwortern der PV und zu einer zunehmenden positiven Einschätzung der PV als Lösung des Klimaproblems und zu einer Verschärfung der Diskussion um neue, verbesserte politische Instrumente.

Der durch den Deregulierungsprozess angestoßene Umbau des Energiesektors brachte langfristig zwei für die Diffusion der PV-Technologien förderliche Konsequenzen mit sich. Zum einen sanken zunächst die Energiepreise, was dazu führte, dass das gemäß Marktprinzipien gestaltete Stromeinspeisungsgesetz immer wirkungsloser wurde. Die Vergütung sank, trotzdem war die Anschaffung einer PV-Anlage immer noch sehr kostenintensiv. Da das Auslaufen des 1000-Dächer-Programms bereits einen starken Rückgang der Nachfrage verursacht hatte und die sinkenden Strompreise nun PV gänzlich unrentabel machten, sah es ab Mitte der 1990er Jahre zunächst so aus, als hätten PV-Anwendungen in Deutschland keine Zukunft mehr. Der Markt brach weg, trotz der breiten Zustimmung in der Bevölkerung und noch schlimmer: die sich langsam entwickelnde Industrie drohte nun damit, ins Ausland abzuwandern und Deutschland den Rücken zu kehren. Ohne eine langfristige, umfassende politische Unterstützung gäbe es in Deutschland keine Nachfrage nach PV-Anlagen, so die Argumentation der Hersteller. Dies war das Signal für NGOs erneut initiativ tätig zu werden. Greenpeace gab bei der Ludwig-Bölkow-Stiftung eine Studie über die Errichtung einer Solarfabrik in Auftrag, die zu dem Ergebnis kam, dass eine Markteinführung von Solarstromanlagen am Standort Deutschland doch rentabel wäre (Welt online 1995). Durch Skaleneffekte und

einer entsprechenden Automatisierung im Produktionsprozess ließen sich die Preise von PV-Anlagen um 40% reduzieren. Dies ließe sich bereits mit einer kleinen Fabrik, die jährlich 2500 PV-Module produziert, realisieren. Diese Erkenntnisse nahm Greenpeace in der Folge zum Anlass, um Kaufinteressenten für diese (Cyrus genannten) Anlagen zu suchen. Greenpeace konnte auf diese Weise 4000 Kaufabsichtserklärungen einsammeln. Als Reaktion darauf schaltete Greenpeace eine Anzeige in der FAZ und im Handelsblatt um Anbieter zu suchen. Fünf Unternehmer meldeten sich, um entsprechende Produktionsstätten zu erreichen. Die große Leistung von Greenpeace bestand v.a. in der Sensibilisierung der Nachfrager für PV. Aber nun war auch klar, dass PV-Anlagen doch kostengünstiger als allgemein angenommen produziert werden könnten und insbesondere mittelständische Unternehmen begannen sich für PV zu interessieren, wie etwa die RAP Mikrosysteme GmbH aus Wernigerode oder die Freiburger Solarfabrik (Ristau 1998, 57).

Im Sommer 1997 entstand ein kleines Silicon Valley in Ostdeutschland mit kleinen, neu gegründeten Firmen. Daraufhin wurde mit BP Solar und ASE auch wieder die Großindustrie in Deutschland aktiv.

Die neuen kleinen und mittelständischen PV-Firmen hatten sich von Beginn an auf netzgekoppelte Anlagen konzentriert. Sie produzierten Module, Aufständerungen für Dächer und Wechselrichter. Auf diese Weise hatten die von der Umweltbewegung angestoßenen Aktivitäten dazu geführt, den Pfad für die Innovationen in der PV und die besondere Form ihrer Anwendung zu legen (Jacobsson/Lauber 2006, 266). Viele dieser kleinen Start-ups hatten ihren Ursprung in der PV-Forschung. Die enge Vernetzung von Wissenschaft, Umweltgruppen und kleinen, zu Beginn umwelt- und energiepolitisch hoch motivierten Firmengründern war im Fall der PV in besonderem Maße gegeben. Der zuvor bereits erwähnte institutionelle und infrastrukturelle Umbau auf dem Energiesektor hatte noch eine zweite Wirkung: tradierte Entwicklungspfade wurden aufgebrochen und verändert, sodass eine generelle Diskussion über die Zukunft der deutschen und europäischen Energieversorgung angestoßen werden konnte. Die Umweltgruppen und andere Aktivisten nutzen diese Situation, ebenso wie die Solarverbände, die sich Ende der 1990er Jahre gründeten und die junge PV-Industrie auf politischer Ebene vertraten. Als es dann im Jahre 1998 zur Gründung der Rot-Grünen Koalition kam, war das Window of Opportunity weit aufgestoßen: die PV-Unterstützer-Koalition ergriff ihre Chance. Nun musste nicht mehr nur von außen Lobbyarbeit gemacht werden, sondern es ergab sich die Möglichkeit eines direkteren Einflusses auf die Politik und einer

Institutionalisierung der Förderung Erneuerbarer Energien. Die von EU-Ebene angestoßene Umstrukturierung des Energiesektors trug dazu bei, den Institutionenwandel auch auf nationaler Ebene leichter in Angriff nehmen zu können. So trafen die Anstrengungen der PV-Lobby Ende der 1990er Jahre auf gleichzeitig stattfindende soziale Innovationen wie neue Managementkonzepte im Energiebereich, neue Nutzer-Routinen, neue Rollen und Identitäten der Elektrizitätskonsumenten, neue politische Probleme, Institutionen und veränderte Governance-Konzepte (Voß et al. 2003: 41). Dieser Prozess eines tiefgreifenden Wandels im Energiebereich lässt sich als ein ganz zentraler Faktor benennen, der die Diffusion der PV massiv beförderte. Die Rot-Grüne Koalition schuf zwei neue Politik-Instrumente zur Förderung der PV (und anderer erneuerbarer Energietechnologien). Als Nachfolgeprogramm für das längst ausgelaufene 1000-Dächer-Programm wurde ein 100.000-Dächer-Programm verabschiedet. Das 1999 aufgelegte, über die KfW finanzierte Programm, bot zinsvergünstigte Darlehen mit einer zehnjährigen Laufzeit, von denen zwei Jahre tilgungsfrei waren an. Lange hatte die PV-Industrie auf ein solches Signal gewartet.

Im Jahre 2000 wurde dann schließlich ein neues Einspeisegesetz (Erneuerbare-Energien-Gesetz, EEG) verabschiedet. Vor der Einführung des EEG sicherte sich die Bundesregierung eine breite Unterstützungs-Koalition, trotzdem versuchten einige der Energieversorgungsunternehmen, angeführt vom VDEW, das EEG zu verhindern bzw. wieder abzuschaffen. Doch wie es schien, hat sich der eingeschlagene Pfad verfestigt. Als im Jahre 2003 das 100.000-Dächer-Programm auslief, wurden im Gegenzug mit einer ersten Novelle des EEG die Vergütung von Solarstrom noch erhöht, und auch als im Jahre 2005 die Rot-Grüne Koalition von einer Großen Koalition abgelöst wurde, wurde keine neue Richtung eingeschlagen. Mittlerweile sprach sich auch die CDU für Photovoltaik und die politische Unterstützung der weiteren Verbreitung von Photovoltaik aus. Insbesondere ostdeutsche Regionen profitieren durch die Ansiedlung der Photovoltaikindustrie, die ihren Ursprung in ersten Produktionsstätten im Jahre 1997 hat. Seitdem verlagerte eine Vielzahl der PV-Firmen ihre Produktion nach Ostdeutschland, u.a. siedelten sich auch ausländische Firmen dort an.

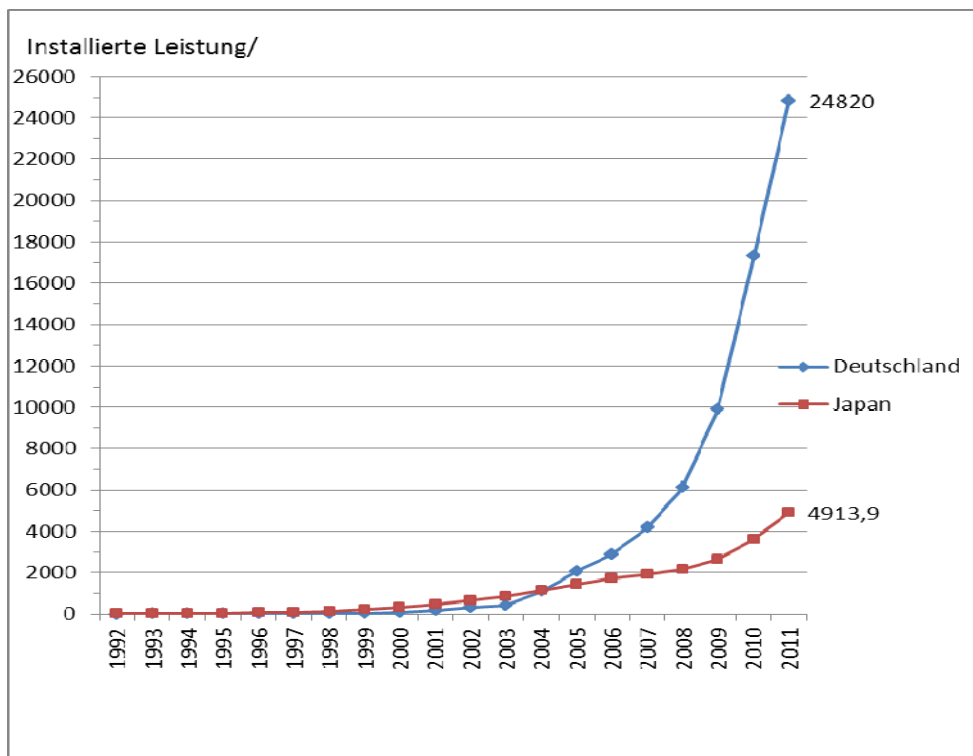
**Abb. 2: Kumulierte installierte PV-Leistung (MW)**

Land/Jahr	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Deutschland	3	5	6	8	11	18	23	32	76	186	296	439	1074	1980
Japan	19	24,3	31,2	43,4	59,6	91,3	133,4	208,6	330,2	452,8	636,8	859,6	1132	1421,9

Land/Jahr	2006	2007	2008	2009	2010
Deutschland	2931	4205	6160	9959	17370
Japan	1708,5	1918,9	2144,2	2627,2	3618,1

Quelle: IEA 2011: *Trends in Photovoltaic Applications Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2010*



Quelle: International Energy Agency 2012: Trends in Photovoltaic Applications Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2011

Mit dem Wechsel zu einer konservativ-liberalen Koalition änderten sich aber die Rahmenbedingungen für die deutsche Photovoltaikentwicklung. Das EEG wurde mehrfach verändert und verschlechterte signifikant die Rahmenbedingungen für die Entwicklung von Photovoltaikanlagen. Energieversorger und andere organisierten Interessen forcierten eine Diskussion, die die finanzielle Förderung der PV als zu kostspielig und die Einspeisung von Solarstrom in die großen Übertragungsnetze als zu voraussetzungsvoll darstellte. Im Gegenzug wurde die Laufzeit der Kernkraftwerke verlängert bis es nach dem Reaktorunfall in Fukushima wieder eine Kehrtwende gab und das Ende der Kernkraft proklamiert wurde, ohne dass sich deswegen die politischen Rahmenbedingungen für die PV verbesserten oder wieder kalkulierbar wurden. Der mittlerweile bei der PV eingetretene Preisverfall macht aber die Installation von Solarmodulen auch unabhängig von einer Förderung interessant. Zum Entsetzen der Bundesregierung wachsen die Installationen weiterhin beständig.

## 5. Fazit: Governance von Innovationen im Energiesektor

In unserem Beitrag wurde die Entwicklung von zwei technischen Innovationen in drei Ländern als wichtige Komponente der Klimagovernance betrachtet. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf der Einbettung der technologischen Entwicklungen in die spezifischen nationalen Kontexte, die mit dem Begriff „Governance“ analytisch greifbar gemacht wurde. Die analysierten Beispiele haben deutlich gemacht, dass Innovationen im Energiebereich unter unterschiedlichen Bedingungen stattfinden. Die Governance von Innovationen im Energiesektor ist von der Struktur von Koordinationsmechanismen abhängig, die zum Teil höchst kontingent und volatil sind. Die Beispiele haben auch verdeutlicht, dass trotz der Liberalisierung des Energiesektors die Abhängigkeit der Hauptakteure von regulativen Entscheidungen und existierenden Machtkonstellationen sehr groß ist.

Für den Fall Deutschland konnte gezeigt werden, dass die Entwicklung der Photovoltaik abhängig von der Etablierung einer Unterstützerkoalition war, die gegen den Widerstand der etablierten Akteure und Interessen, eine neue Form von Governance für diesen Sektor kreierte. Die Unterstützerkoalition erwei-



terte sich sukzessive, besteht mittlerweile aus einer breiten, interessenspolitisch diffusen Gruppe von Akteuren, der es aber punktuell gelingt, gemeinsame Interessen zu formulieren. Wir beobachten hier die Entwicklung einer Governance-Struktur quasi „von unten“ (basierend auf einer hohen Akzeptanz der Technologie in der Bevölkerung) deren dauerhafte Existenz aber von Entscheidungen „von oben“ abhängig ist. Die CCS-Technologie hingegen wird von den etablierten Netzwerken aus Energieversorgern, Wissenschaft, Kraftwerkskomponentenherstellern und Politik quasi von oben exekutiert und will eine neue technische Option auch gegen Widerstand von gesellschaftlichen Gruppen durchsetzen. Im Moment scheint diese Strategie jedoch nicht erfolgreich zu sein.

**Abb.3: Technologien, Akteure und Feldentwicklung**

<i>Staat</i>	<i>Technologie</i>	<i>Dominante Akteure für Strukturbildung</i>	<i>Feldentwicklung</i>
Norwegen	CCS	Erweitertes Akteursspektrum. Breite Koalition aus Politik, Industrie und zivilgesellschaftlichen Akteuren	Proaktive Erweiterung
Deutschland	CCS	Etablierte Akteursnetzwerke vs zivilgesellschaftliche Akteure	Stillstand
Japan	PV	Etablierte Akteursnetzwerke	Anpassung
Deutschland	PV	Zivilgesellschaftliche Akteure die neue Unterstützerkoalitionen aufbauen	Transformation

## Ausgewählte Literatur

- Alphen, van, Claas, Jochem van Ruijven, Sjur Kasa, Marko Hekkert, und Wim Turkenburg. 2009. *The performance of the Norwegian carbon dioxide, capture and storage innovation system*. *Energy Policy* 37: 43-55.
- Benz, Arthur, Susanne Lütz, Uwe Schimank und Georg Simonis (Hrsg.) 2007. *Handbuch Governance. Theoretische Grundlagen und empirische Anwendungsfelder*. Wiesbaden: VS Verlag.
- Bundesumweltamt. 2006. *Zertifikatenhandel für erneuerbare Energien statt Erneuerbare Energien-Gesetz? Hintergrundpapier zum Vorschlag des Verbands der Elektrizitätswirtschaft*, März 2006.
- Busch, Per Olof. 2005. *Institutionalisierter Politiktransfer mit Nebenwirkungen: Die Ausbreitung von Quoten und Einspeisevergütungen*. In *Die Diffusion umweltpolitischer Innovationen im internationalen System*, Hrsg. Kerstin Tews, und Martin Jänicke, 233-255. Wiesbaden: VS-Verlag.
- Freeman, Christopher, Carlota Perez. 1988. *Structural crises of adjustment, business cycles and investment behavior*. In *Technical change and economic theory*, Hrsg. Giovanni Dosi und Richard Nelson Freeman, 38-65. London: Pinter.
- Institut für Solare Energiesysteme (ISE). 1996. [http://www.fraunhofer.de/fhg/archiv/magazin/pflege.zv.fhg.de/german/publications/df/df1996/s46\\_ise.html](http://www.fraunhofer.de/fhg/archiv/magazin/pflege.zv.fhg.de/german/publications/df/df1996/s46_ise.html). Zugegriffen 14. 09.2007.
- International Energy Agency (IEA). 2010. *Carbon CAPTURE and STORAGE. Model Regulatory Framework*. Paris: OECD/IEA.
- Jacobsson, Staffan, und Volkmar Lauber. 2006. *The politics and policy of energy system transformation – explaining the German diffusion of renewable energy technology*. *Energy Policy* 34: 256-276.
- Jäger-Waldau, Arnulf. 2002. *Status of PV Research, Solar Cell Production and Market Implementation in Japan, USA and the European Union*. Ispra: Institute for Environment and Sustainability, Renewable Energy Unit.
- Jahn, Detlef. 1992. *Nuclear power, energy policy and new politics in Sweden and Germany*. *Environmental Politics* 1: 383-417.
- Kersbergen, Kers, Frans van Waarden. 2001. *Shifts in Governance*. Nijmegen: NIG
- Ostrom, Elinor. 2009. *A Polycentric Approach for Coping with Climate Change. Policy Research Working Paper WPS5095 of the World Bank*. <http://econ.worldbank.org>, zugegriffen: 28.08.2012.
- Pahle, Michael. 2010. *Germany's dash for coal: Exploring drivers and factors*. *Energy Policy* 38: 3431-3442.
- Ristau, Oliver. 1998. *Die solare Standortfrage. Der technologische Wettstreit zwischen den USA, Japan und Deutschland*. Bad Oeynhausen: Bröer- und-Witt-Solarthemen.
- Rogge, Karoline und Volker Hoffmann. 2009. *The impact of the EU ETS on the sectoral innovation system for power generation technologies – Findings for Germany*. Paper submitted to DIME Workshop on "Environmental Innovation, Industrial Dynamics and Entrepreneurship 10-12.05.2009, Utrecht.
- Schindler, Jörg. 2002. *Rede anlässlich einer Feier zu Ehren des 90. Geburtstages von Dr. Ludwig Bölkow*, 19. 07.2002, Flugwerft Schleißheim.
- Schulz, Marlen, Dirk Scheer, und Sandra Wassermann. 2010. *Neue Technik, alte Pfade? Zur Akzeptanz der CO2-Speicherung in Deutschland*. *GAIA* 19: 287-296.
- Schumacher, Katja und Ronald Sands. 2006. *Innovative energy technologies and climate policy in Germany*. *Energy Policy* 34: 3929-3941.
- SFV. 1996. *Die kostendeckende Vergütung (KV)*. [http://www.sfv.de/briefe/brief96\\_3/sob96302.htm](http://www.sfv.de/briefe/brief96_3/sob96302.htm). Zugegriffen 14.09.2007.
- Umweltbundesamt (UBA). 2011. *Strommix in Deutschland*. <http://www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/strommix-karte.pdf>. Zugegriffen 10.09.2011.
- Voß, Jan-Peter, Corinna Fischer, Katja Schumacher, Martin Pehnt, Barbara Praetorius, und Lambert Schneider. 2003. *Innovation. An integrated concept for the study of transformation in electricity systems*. TIPS Discussion Paper 3. Frankfurt a.M.: Sozialökologische Forschung.
- Welt Online. 1995. *Eine Lobby für die Sonnenenergie*. [http://www.welt.de/print-welt/article663558/Eine\\_Lobby\\_fuer\\_die\\_Sonnen\\_ergie.html](http://www.welt.de/print-welt/article663558/Eine_Lobby_fuer_die_Sonnen_ergie.html). Zugegriffen 11.07.2007.
- Wong, Shiu-Fai. 2005. *Obliging Institutions and Industry Evolution: A Comparative Study of the German and UK Wind Energy Industries*. *Industry and Innovation* 12: 117-145.

## Abkürzungsverzeichnis

- BMZ: Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung  
BMBF: Bundesministerium für Bildung und Forschung  
BMWi: Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie  
CCS: Carbon Capture Storage  
CdTe: Camium Tellurid  
CIS: Kupfer-Indium-Diselenid

CO<sub>2</sub>: Kohlenstoffdioxid  
COORETEC: CO<sub>2</sub>-Reduktions-Technologien  
(Initiative des BMWi zur Förderung von Forschung  
und Entwicklung zukunftsfähiger Kraftwerke mit  
fossilen Brennstoffen  
EGR: Enhanced Gas Recovery  
EEG: Erneuerbare-Energien-Gesetz  
EOR: Enhanced Oil Recovery  
F&E: Forschung und Entwicklung  
GFZ: GeoForschungsZentrums Potsdam  
GW: Gigawatt  
IGCC-Technologie: Gas-und-Dampf-Prozess mit  
vorgeschalteter Brennstoffvergasung  
KfW: Kreditanstalt für Wiederaufbau  
IEA: International Energy Agency  
ISE: (Fraunhofer) Institut für Solare Energiesysteme  
LBGR: brandenburgische Landesamt für Bergbau,  
Geologie und Rohstoffe  
Mio.: Millionen  
MITI: Ministerium für internationalen Handel und  
Industrie  
Mrd.: Milliarden  
MW: Megawatt  
NEDO: New Energy Development Organization  
NEF: New Energy Foundation  
NTNU: Technische Universität von Trondheim  
PV: Photovoltaik  
RPS: Renewable Portfolio Standard  
SINTEF: Stiftelsen for industriell og teknisk forskning  
(norwegische Forschungseinrichtung)  
UBA: Umweltbundesamt