

Timur Ergen

Große Hoffnungen und brüchige Koalitionen

Industrie, Politik und
die schwierige Durchsetzung
der Photovoltaik

Schriften aus dem Max-Planck-Institut
für Gesellschaftsforschung

campus

Große Hoffnungen und brüchige Koalitionen



Timur Ergen ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung in Köln.

Timur Ergen

Große Hoffnungen und brüchige Koalitionen

Industrie, Politik und die schwierige Durchsetzung
der Photovoltaik

Campus Verlag
Frankfurt/New York

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie.
Detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-593-50499-5 (Print)

ISBN 978-3-593-43274-8 (PDF)

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Copyright © 2015 Campus Verlag GmbH, Frankfurt am Main

Umschlaggestaltung: Campus Verlag GmbH, Frankfurt am Main

Umschlagmotiv: © Gebäude des Max-Planck-Instituts für Gesellschaftsforschung, Köln

Satz: Thomas Pott, Köln

Druck und Bindung: CPI buchbücher, Birkach

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Printed in Germany

Inhalt

Vorwort	9
---------------	---

Kapitel 1

Entwicklungsprobleme einer fünfzigjährigen Zukunftsindustrie	11
--	----

1.1 Die Standardgeschichte: Nischenaufbau und Pfadkreation	14
--	----

1.2 Spielarten des <i>policy feedback</i>	19
---	----

1.3 Das Argument in Kurzform	29
------------------------------------	----

1.4 Überblick der Kapitel	37
---------------------------------	----

Kapitel 2

Die Entstehung der solaren Zukunftshoffnung	41
---	----

2.1 Sonnenmotoren und das Kohleproblem	42
--	----

2.2 Solarunternehmer und das Problem gesellschaftlicher Mobilisierung	47
--	----

Kapitel 3

Die langen sechziger Jahre der Photovoltaik	57
3.1 Die Entdeckung der Photovoltaik	58
3.2 Die Suche nach einer Nische	63
3.3 Weltraumprogramme und die neue Entwicklungsstaatlichkeit	69

Kapitel 4

Neue Koalitionen um alte Interessen in der Energiekrise	81
4.1 Politisierung und kultureller Wandel: Soziale Bewegungen, Gesellschaftskritik und Umweltkrise	84
4.2 Politisierung und struktureller Wandel: Ölkrise, Energieunabhängigkeit und Handlungsunfähigkeit	100
4.3 Ein erneuter Anlauf: Photovoltaik und die Energiekrise	114
4.4 Hoffnung auf die Versöhnung von Ökologie und Ökonomie	145
4.5 Kollektives Handeln und das verfrühte Ende der solaren Transformation	153

Kapitel 5

Koordinierte Industrialisierung in den 1990er-Jahren	173
5.1 Klima-Katastrophe, Tschernobyl und die Wiederentdeckung der ökologischen Technologiepolitik	174
5.2 Technologische Fadenrisse und koordinierte Industrialisierung	187

Kapitel 6	
Die Wiederentdeckung des solaren New Deals	221
6.1 Erneute Hoffnungen in der Bundesrepublik	222
6.2 Investitionsrennen, sektorale Kohäsion und die Verfestigung der solaren Zukunftshoffnung	234
Kapitel 7	
Kollektivversagen nach der politischen Durchsetzung	257
7.1 Globale Kapazitätsrennen und Industrierückgang	258
7.2 Sektorale Fragmentierung und die Krise des deutschen Förderregimes	266
Kapitel 8	
Große Hoffnungen und brüchige Koalitionen	295
8.1 Kollektive Requisiten der Industriepolitik	296
8.2 Industrieordnungen, <i>policy feedback</i> und kontextuelle Generalisierung	312
Abbildungen	323
Tabellen	325
Literatur	327

Vorwort

Ursprünglich sollte diese Studie herausarbeiten, wie sich die Solarzelle um die Jahrtausendwende ausgerechnet in Deutschland durchsetzen konnte. Für außergewöhnlich viel radikale Innovation, grundlegende industrielle Transformation, politisch-ökonomische Durchlässigkeit und, das ist nun unstrittig, Sonnenschein ist die Bundesrepublik ja nicht unbedingt bekannt. Je mehr ich mich allerdings mit der Geschichte der Photovoltaik beschäftigte, desto mehr gelangte ich zu der Überzeugung, dass ihre sozialwissenschaftlich interessanten Aspekte nicht so sehr in ihrem plötzlichen Durchbruch, sondern vielmehr in den langfristigen Verlaufsmustern ihrer Entwicklung liegen. Geht man in ihr weit genug zurück, lassen sich aus der Geschichte der Photovoltaik viele allgemeine Lehren ziehen. Sie erlaubt Erkenntnisse zu den Chancen und Grenzen staatlicher Industrieregulierung, zur Möglichkeit kontrollierten technologischen Wandels, zur Dynamik industrieller Organisation und letztlich zur Fähigkeit demokratisch-kapitalistischer Gesellschaften, auf wichtige Probleme unserer Zeit konzertiert zu reagieren.

Selektive historische Betrachtungen mit konzeptuellen Überlegungen zu vermischen ist riskant. Dem historisch informierten Experten könnte mein Buch unvollständig, ja unausgewogen erscheinen, dem Sozialwissenschaftler hingegen übermäßig deskriptiv und wenig streng. Historisch finden sich in ihm zahlreiche beabsichtigte und wahrscheinlich noch zahlreichere unbeabsichtigte blinde Flecken. Konzeptuell schöpft meine Studie aus der detaillierten Untersuchung eines einzelnen Falls über die Zeit – einen kontrollierten Vergleich oder gar ein formales Modell findet man in ihr nicht. Ich hoffe, dass es anders kommt und sich diese Vorgehensweise als Stärke, nicht als Schwäche meines Buchs erweisen wird. Der Historiografie der modernen Sonnenenergienutzung kann meine Untersuchung systematische konzeptuelle Denkanstöße vorschlagen. Dem systematischen Wissen zur sozioökonomischen Organisation soll sie bestimmte Typen von Sequenzen vorführen, die in strengen sozialwissenschaftlichen Modellen nicht vorkommen sollten.

Das vorliegende Buch basiert auf einer gekürzten und überarbeiteten Fassung meiner Anfang 2014 an der Universität zu Köln eingereichten Dissertation. Sie ist im Rahmen meines Promotionsstudiums an der International Max Planck

Research School on the Social and Political Constitution of the Economy (IMPRS-SPCE) am Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung (MPIfG) in Köln entstanden. Ich kann mir kein intellektuell produktiveres und besser organisiertes Umfeld für eine Promotion vorstellen.

Ich danke zuallererst Jens Beckert, der meine Promotion auf die denkbar beste Weise betreut hat. Während sich meine Arbeit – auf für mich noch immer nicht ganz durchsichtigen Pfaden – von einer Kartellrechtsstudie zu einer Untersuchung der Photovoltaikindustrie entwickelt hat, hatte ich es seiner Unterstützung, seinen kritischen Anmerkungen und seinen Ideen zu verdanken, nicht ein Mal ernsthaft an dem Vorhaben gezweifelt zu haben. Wolfgang Streeck will ich insbesondere dafür danken, dass er mich – leider nur in Teilen erfolgreich – davor bewahrt hat, in der Faszination für meinen Einzelfall zu versinken. Bis in die Verteidigung meiner Dissertation hat er mir dabei geholfen, Transfers herzustellen und sie klar zu formulieren. Kathleen Thelen danke ich für eine äußerst lehrreiche Zeit am Massachusetts Institute for Technology. Wirklich Form angenommen hat meine Studie erst durch lehrreiche Gespräche, Kurse und Workshops in Cambridge. Sigrid Quack und Mark Ebers haben mir über die Jahre mehrmals großzügig bei der Gestaltung des Projekts und bei der Einordnung seiner Ergebnisse geholfen. Beim Verständnis der Entwicklung der Photovoltaik hatte ich die Unterstützung sehr großzügiger Interview- und Gesprächspartner.

Am MPIfG konnte ich über die letzten fünf Jahre mit großartigen Kolleginnen und Kollegen zusammenarbeiten. Besonders hervorheben will ich Elena Bogdanova, Arne Dressler, Lea Elsässer, Susanne Hilbring, Jürgen Lautwein, Ariane Leendertz, Ronen Mandelkern, Sascha Münnich, Inga Rademacher, Isabella Reichert, Christel Schommertz und André Vereta Nahoum sowie die Teilnehmerinnen und Teilnehmer an der Forschungsgruppe Soziologie der Märkte, des IMPRS-SPCE-Kolloquiums und der Max Planck Summer Conference on Economy and Society 2013 in Florenz. Ich kann nicht genug betonen, wie viel meine Arbeit vom Austausch mit meinem Jahrgang in der IMPRS profitiert hat. Während der gesamten Zeit, von den ersten gemeinsamen Seminaren über abendliche Krisensitzungen bis hinein in die Schreibphase, haben mir Sarah Berens, Barbara Fulda, Lukas Haffert, Sebastian Kohl, Daniel Mertens und Gregor Zons sehr geholfen. Dafür danke ich ihnen herzlich. Thomas Pott hat das Manuskript mit beeindruckender Präzision und Geduld durchgesehen und verbessert – die sicher verbliebenen Unzulänglichkeiten habe ich zu verantworten. Widmen will ich das Buch meinen Eltern und meiner Frau Diana. Vermutlich ohne es bemerkt zu haben, hatten sie einen wesentlichen Anteil daran, dass es entstanden ist.

Kapitel 1

Entwicklungsprobleme einer fünfzigjährigen Zukunftsindustrie

Die direkte Nutzbarmachung der Sonnenenergie gehört zu den ältesten Tagträumen moderner Industriegesellschaften. Je nach historischer Episode versprach sie die Unabhängigkeit von erschöpflichen Brennstoffen, die landwirtschaftliche Nutzbarmachung »des Südens«, die Verminderung von Rohstoffimporten, die Lossagung von der Atomkraft, die Ausbremsung des anthropogenen Klimawandels, Millionen neuer *Green-Collar*-Arbeitsplätze oder gleich die Demokratisierung und Dezentralisierung fortgeschrittener kapitalistischer Gesellschaftsordnungen. Nur wenige Technologien haben über mehr als ein Jahrhundert derart viele gesellschaftliche Gruppen für sich begeistern können und sind dennoch *nicht* gesellschaftliche Wirklichkeit geworden. Joachim Radkau (2008: 467) vermutet, das habe viel damit zu tun, dass »von der Solarenergie unendlich viel mehr geredet« wurde, »als effektiv für sie geschah«. Ganz falsch ist Radkaus Einschätzung nicht, vor allem mit Blick auf die Zeit vor den 1970er-Jahren. In Teilen erinnern die unnachgiebigen Beschwörungen der Potenziale der direkten Sonnenenergienutzung an eine beschwichtigende Erzählung, nach der kapitalistische Gesellschaften nicht untergehen, wenn der »letzte Zentner fossilen Brennstoffs verglüht ist« (Weber [1904/1905]1988: 203). Teilweise jedoch sind Radkaus Maßstäbe als Historiker der Kernenergie verzerrt. Für die Resilienz, Ausgabenfreudigkeit und Rückschlagsignoranz, die Regierungen weltweit in der politischen und energiewirtschaftlichen Durchsetzung der Kernenergienutzung zeigten, gibt es in der Geschichte der Technik äußerst wenige ebenbürtige Vergleichsfälle. Die Geschichte gescheiterter Versuche, der Sonnenenergienutzung zum Durchbruch zu verhelfen, ist beinahe so lang wie die des Diskurses über ihre Potenziale. Zwar waren die seit den 1970er-Jahren aufgelegten Programme zu ihrer Förderung mehr als bloße Symbolpolitik, geholfen hat das der Technik dennoch nicht.

Gerhard Mener (2001) klingt in seiner umfassenden Geschichte der Solarenergienutzung bis in die späten 1980er-Jahre etwas ratlos und macht vielfältige Übertragungsprobleme »vom Labor in den Markt« dafür verantwortlich, dass die Solarenergienutzung zu einer einhundertfünfzigjährigen Zukunftstechnologie wurde. Es ist hier nicht meine Absicht, die Geschichte der Sonnenenergie-

nutzung grundlegend umzuschreiben. Im Kern soll meine Studie Meners Diagnose fortschreiben, zuspitzen, sozioökonomisch spezifizieren und für die sozialwissenschaftliche Diskussion der Organisation von Industrien fruchtbar machen. Die alte Hoffnung auf die Sonnenenergienutzung zur breitflächigen Energieversorgung von Industriegesellschaften wurde erst in den 1990er-Jahren langsam Realität. In einer größtenteils hektischen internationalen Kaskade grüner Energie- und Industriepolitik brachen sich staatliche Fördermaßnahmen für den Einsatz der Technologien Bahn, wie sie ihre Unterstötzer seit Jahrzehnten herbeisehten. Durch einen bemerkenswerten Kippprozess entwickelten sich im 21. Jahrhundert um die zuvor zumeist belächelten Zukunftstechnologien ernst zu nehmende energiepolitische Programme sowie scharf umkämpfte Industrien.

In vielerlei Hinsicht markieren die 2000er-Jahre die Entkopplung der Solarenergie von ihren alten Unterstötzerkoalitionen. Wie so viele gesellschaftliche Bewegungen löste sich die Unterstötzung der Solarenergie von ihren glaubensbasierten und idealistischen Trägern und wurde »veralltäglich« und institutionalisiert. Schon zur Mitte des Jahrzehnts existierte so gut wie keine fortgeschrittene Gesellschaft mehr, die nicht auf irgendeine Weise die Förderung regenerativer Energietechnologien und assoziierter Industrien betrieb. Versatzstücke des noch in den 1990er-Jahren vornehmlich in progressiven und ökologischen Wahlprogrammen zu findenden Leitbilds einer Versöhnung von demokratischen, ökologischen und wirtschaftlichen Zielen im Einsatz für die neuen Umwelttechnologien gelangten auf verschlungenen Wegen in die Geschäftspläne multinationaler Konzerne, in die Regierungsprogramme konservativer Parteien und in die Pressemitteilungen von Energiekonzernen.

Weder die neuen Leitbilder noch die neuen Technologien um eine Art *grünen New Deal* sind Erfindungen der 1990er-Jahre. Ihre Entwicklung verdichtete sich stückweise, gewissermaßen in einem fortwährenden soziologischen Patchwork in der Auseinandersetzung mit modernen kapitalistischen Gesellschaften. Der wesentliche Gegenstand meiner Studie ist die historisch-soziologische Rekonstruktion genau dieses Prozesses in der Geschichte der Photovoltaik. Teils angefacht durch gesellschaftliche Krisen, teils als Auswuchs inkrementell entstandener Problemwahrnehmungen versprach die Solarenergie technische Ausflüchte aus Steuerungsproblemen, technischen Schutz vor Nebenfolgen und technischen Antrieb für die Entwicklung kapitalistischer Gesellschaften.

Meine Studie weicht in der Rekonstruktion dieses Prozesses in einem wichtigen Punkt vom Forschungsstand zur Geschichte der Photovoltaik ab. Angesichts ihrer langjährigen energiepolitischen Randständigkeit und der Geschwindigkeit, mit der Industrien für Photovoltaikkomponenten im Wechselspiel mit der Hochkonjunktur ökologischer Energiepolitik angewachsen sind, ist das ältere Bild der vornehmlich symbolischen Realität der Solarenergie einer neuen

Einordnung ihrer Entwicklungsgeschichte gewichen. Die Geschichte der Photovoltaik soll eine Geschichte soziotechnischer Pfadkreation und kontinuierlich anwachsender *advocacy coalitions* sein. Während einer fünfzigjährigen Nischeneexistenz, so die Idee, entwickelten interessierte Akteure politische, ökonomische, personelle und technische Schlagkraft, die sie in die Lage versetzte, die Photovoltaik mithilfe öffentlicher Förderprogramme allmählich in die Energieversorgung zu heben. Das brachte ihnen zusätzliche politische Unterstützung, zusätzliche Ressourcen und wiederum zusätzliche technische Entwicklungsmöglichkeiten ein (einflussreich: Jacobsson/Lauber 2005). Die Photovoltaik, so lässt sich die neue Nischenforschung treffend zuspitzen, wurde in einem langsamen – aber geradlinigen – Prozess geschützt entwickelt, in dessen Verlauf interessierte Akteure zunehmend Ressourcen sammelten, um sich gegen etablierte Technologien und etablierte politisch-ökonomische Koalitionen durchsetzen zu können.

Die neuere Forschungsliteratur zur Entwicklung regenerativer Energien, deren Narrativ ich im nächsten Abschnitt ausführlicher darstelle, überspielt einerseits die lange Geschichte aus Diskontinuitäten in der Durchsetzung der Technologie und andererseits die fortwährenden internen Organisationsprobleme, an denen die enorm heterogenen Unterstützungscoalitionen der Kommerzialisierung der Photovoltaik immer wieder scheiterten. Sicherlich, und insoweit ist die Beschreibung der Nischentheoretiker durchaus richtig, der Photovoltaik ergeht es seit den 1950er-Jahren wie allen neuen grünen Energietechnologien. Mit einem überraschenden Grad an Beharrlichkeit und von immer neuen Problemwahrnehmungen motiviert versuchen Aktivisten, Forschungsorganisationen, Regierungen und eine angesichts der energiewirtschaftlichen Bedeutungslosigkeit der Photovoltaik beeindruckende Zahl an Unternehmen seit dem Jahr 1954, die Technologie so weit zu stützen, dass sich ihre Versprechen erfüllen, was ihnen schließlich gelang. Und sicherlich arbeiteten sie dabei strukturell aus der Randständigkeit gegen den Widerstand etablierter soziotechnischer Pfadabhängigkeiten und politisch-ökonomischer Koalitionen. Die Durchsetzung der Photovoltaik, und genau hier liegt das vornehmliche systematische Interesse meiner Studie, scheiterte aber wiederholt *nicht* an technischen Rückschlägen, dem unzureichenden Willen zu ihrer Unterstützung, fehlenden Interessen an ihrer Durchsetzung, schwachen Unterstützungscoalitionen oder externen Hindernissen, sondern an den Problemen, die Akteure mit prinzipiell gleichgerichteten Interessen am Aufbau und der Stabilisierung der Industrie hatten. Mehr noch, zum Teil lässt sich sowohl für ihre Geschichte in den 1970er- und 1980er-Jahren als auch für ihre Entwicklung nach dem Jahr 2008 zeigen, dass die Entstehung handfester ökonomischer und politischer Interessen an der Entwicklung der Photovoltaikindustrie das Gesamtprojekt ihrer Stabilisierung schwächte, anstatt es zu stärken.

In chronologischer Abfolge untersuche ich vier Episoden der Entwicklung der Photovoltaikindustrie, ihr Schicksal in US-amerikanischen Weltraumprogrammen seit den 1950er-Jahren, ihre verstärkte Förderung und Rückführung in die Energieforschung im Krisenjahrzehnt der 1970er-Jahre in Deutschland und den USA, ihre konzertierte Industrialisierung, energiepolitische Wiederentdeckung und Aufnahme in internationale technologische Investitionsrennen seit Anfang der 1990er-Jahre in Deutschland, Japan und den USA und ihre eigentümliche Mehrfachkrise aus schwindender politischer Unterstützung, brancheninternen Grabenkämpfen und einer verfallenden Industrie in Deutschland seit dem Jahr 2008. Ziel der Untersuchung ist eine einfache empirische Kritik an der sozialwissenschaftlichen Forschung zur Entwicklung der Photovoltaikindustrie und, darauf aufbauend, eine einfache konzeptuelle Kritik sozioökonomischer Theorien industrieller Organisation. Seit den 1970er-Jahren zeigt sich, wie die Industrie und ihre Unterstützer sich bei jedem Industrialisierungsanlauf selbst blockieren, wie Koalitionen zur Durchsetzung der Technologie mit Förderanläufen zerfasern und wie sich der Sektor in ein kollektives Handlungsproblem nach dem nächsten verstrickt. Die Ausblendung eben dieser Typen industrieller Organisations- und kollektiver Handlungsprobleme über die Zeit bemängele ich in populären Theorien industrieller Organisation.

1.1 Die Standardgeschichte: Nischenaufbau und Pfadkreation

Mit Ausnahme von drei wirtschaftssoziologischen Arbeiten zur Marktformierung (siehe Dewald 2011; Fuchs et al. 2012; Möllering 2007) ist der Aufstieg der Photovoltaik aus ihrer langjährigen Randständigkeit in erster Linie in Politikwissenschaft und Betriebswirtschaft und in der sozialwissenschaftlichen Technikforschung untersucht worden (siehe Bruns/Ohlhorst/Wenzel 2009; Dagger 2009; Hirschl 2008; Jacobsson/Lauber 2005; Jacobsson/Sandén/Bångens 2006; Margolis 2002; Mautz/Byzio/Rosenbaum 2008; Mautz/Rosenbaum 2012; Suck 2008). Die Aussagen dieser Arbeiten lassen sich in einer Standardgeschichte technisch-industrieller Entwicklung von der Erfindung in die Nische zum selbsttragenden Wachstum zusammenfassen. Zwischen 1941, dem Jahr der erstmaligen Entwicklung der Siliziumphotovoltaikzelle im Umfeld von AT & Ts Bell Labs, und den späten 1990er-Jahren waren fünfzig Jahre privater, öffentlicher und zivilgesellschaftlicher Förderung notwendig, um die technischen und gesellschaftlichen Grundlagen für eine »selbsttragende Industriedynamik« zu schaffen.

Je nach Disziplin fassen Studien zur Entwicklung der Photovoltaik diese fünfzigjährige Förderperiode mit dem Konzept der *Nische* (Bruns/Ohlhorst/Wenzel 2009: 263–264; Dewald 2011: 247; Hirschl 2008: 19; Mautz 2007: 116; Mautz/Byzio/Rosenbaum 2008: 22–23; Wüstenhagen 2000), des *protected* oder *sheltered space* (Jacobsson/Lauber 2006: 271; Jacobsson/Sandén/Bångens 2006: 24) oder eines *nursing market* (Jacobsson/Lauber 2005: 124–126). Wurde die Photovoltaik bis in die 1970er-Jahre vor allem in US-amerikanischen Satellitenprogrammen entwickelt, führten die Ölkrisen zu einer grundsätzlichen Problematisierung der Energieversorgung entwickelter Industriegesellschaften und zu ernsthafteren Ansätzen öffentlich-privater Mischförderung der Photovoltaiknutzung auf der Erde, insbesondere, aber keinesfalls ausschließlich, in Deutschland, Japan und den USA. Kein Land förderte die Technik im Nachhall der Ölkrisen so ernsthaft wie die USA, in erster Linie unter den Regierungen Gerald Fords und Jimmy Carters. Nicht nur wandten die USA in den 1970er-Jahren enorme Mittel auf, um die Forschung an der Technik zu forcieren: Noch während der Ölkrisen initiierten sie koordinierte Industrialisierungsprogramme und schon gegen Ende des Jahrzehnts Markteinführungs- und größere Demonstrationsprogramme. Neben unterschiedlichen Einschätzungen zum bloß technologischen Realismus der amerikanischen Initiativen sind sich Arbeiten zur Entwicklung der Photovoltaik in einem einig: Die Regierungsübernahme Ronald Reagans 1981 setzte der frühen amerikanischen grünen Energietechnologiepolitik ein jähes Ende, bevor sie richtig begonnen hatte, und drängte die Branche zurück in die energiepolitische Bedeutungslosigkeit und die Grundlagenforschung (Jacobsson/Sandén/Bångens 2006: 11–12; Laird/Stefes 2009: 2621; Margolis 2002: 73–74). In technischer Hinsicht sind viele grundlegende Konzepte, die bis heute eine Rolle spielen, Ende der 1970er-Jahre entwickelt worden (wenn auch nicht immer verstanden). Auch wurde ein Großteil der bis heute wesentlichen Verbände und Forschungsstellen Ende der 1970er- und Anfang der 1980er-Jahre gegründet. Seit den frühen 1970er-Jahren hat sich eine beeindruckende Anzahl des internationalen *Who's who* technologieorientierter Unternehmen, von der Elektronik- über die Öl- und Chemie- bis zur Schwerindustrie, am großen Wurf mit der Photovoltaik versucht (Mener 2001: 417–479). Und nachdem zwischen den späten 1970er- und frühen 1990er-Jahren auch jede mögliche terrestrische Anwendungsform, von der netzgekoppelten Aufdachanlage bis zum netzfernen Photovoltaikkraftwerk, in öffentlich finanzierten und kollektiv evaluierten Demonstrations- und Pilotprogrammen getestet worden war, gab es Mitte der 1990er-Jahre kaum noch eine Unbekannte für den Einsatz der Photovoltaik in der Elektrizitätsversorgung auf der Erde. Mit der technischen Entwicklung ging eine Vernetzung und Verbreiterung einer sozialen Bewegungsbasis aus administrativen, industriellen, politischen, wissenschaftlichen

und zivilgesellschaftlichen Akteuren zur Förderung der Photovoltaik einher. Sowohl in den einzelnen Nationalstaaten als auch auf transnationaler Ebene waren bis Mitte der 1990er-Jahre alle relevanten Elitennetzwerke, Initiativen und Verbände gegründet und verwachsen.

Auch wenn hier konzeptuell regelmäßig viel durcheinandergeworfen wird, geht es bei der Beschreibung dieser Entwicklung als Nischenbildungsprozess einerseits um den Punkt, dass die öffentliche, private und zivilgesellschaftliche Technikförderung eine Art Schutzraum einer »Innovation vor den selegierenden Effekten des freien Marktes« schafft (Braun-Thürmann 2005: 46, nach Mautz/Byzio/Rosenbaum 2008: 22); andererseits darum, herauszuarbeiten, wie sozio-technische Pfadabhängigkeiten durch eine Art *institutionelles layering* ausgehebelt werden (Garud/Karnøe 2001; Streeck/Thelen 2005: 22–24). Damit verbunden geht man davon aus, dass Erfolgchancen verschiedener Technologien und mit ihnen befasster Industrien in diesen Nischenphasen distinkten Regeln folgen, die mit der Selektion nach bloßer ökonomischer oder technischer Effizienz wenig zu tun haben. Vielmehr geht es in Frühphasen technologisch-industrieller Entwicklung darum, Erwartungen in und Versprechen über die zukünftigen Potenziale einer Industrie in den verschiedensten Feldern zu fördern und, noch wichtiger, im Angesicht permanenter Ernüchterung lebendig zu halten (Mautz 2007: 117), die Kooperation relevanter Akteure sicherzustellen (Jacobsson/Sandén/Bångens 2006) und eine auf gewisse Weise *fehlschlagsignorante* soziale Bewegungsdynamik in Gesellschaft, Wissenschaft, Politik und Wirtschaft um den Aufbau einer Industrie loszutreten (Möllering 2007: 26; Mützel 2011; Radkau 1978: 204).

Diese Bewegungsdynamik verlagerte sich in den 1990er-Jahren in Deutschland größtenteils von der Zell- und Modulindustrie auf die regionale und die Anwenderebene. 1991 initiierte man ein erstes größeres Demonstrationsprogramm in Deutschland, das – anders als vorherige Programme (Dewald 2011: 170) – auf die technische, ökonomische und soziologische Evaluation kleiner netzgekoppelter Aufdachanlagen ausgelegt war. Auch wenn dieses sogenannte 1.000-Dächer-Programm keine bedeutenden Entwicklungen in der Zell- und Modulindustrie anregte (es wurden bis 1995 ungefähr 1.930 Anlagen gefördert), darf es nicht in seiner Wirkung unterschätzt werden, die lokal fragmentierte – und für die spätere Entwicklung der Photovoltaik in Deutschland zentrale (Dewald 2011; Dewald/Truffer 2012) – soziale Bewegung aus Aktivisten, Handwerkern, umwelttechnisch engagierten Installateuren (oft sogenannten Solarteuren) und Solarinitiativen bundespolitisch anzuerkennen und gewissermaßen praktisch aufzuwiegeln. Hauptsächlich aus diesen Bewegungen entwickelten sich zwischen 1995 und 1999 zahlreiche durch Kirchengemeinden, Stadtwerke, verschiedenste kommunale Träger und Energieversorger gestützte Initiativen für die Photovoltaikförderung (Dewald 2011: 204–242).

Nach dem Auslaufen des 1.000-Dächer-Programms entstand in Deutschland für vier Jahre keine weitere gesondert auf die Photovoltaik zugeschnittene öffentliche Förderung. Und noch 1995 warnte man im Deutschen Bundestag vor einem schwerwiegenden industriellen »Fadenriss« (ebd.: 160). Die zentralen Akteure der deutschen Solarindustrie wanderten in den frühen 1990er-Jahren in die USA ab, auch weil mittlerweile mehrere US-amerikanische Unternehmen, in die man sich einkaufen konnte, einen wesentlichen Technologievorsprung vor deutschen Unternehmen entwickelt hatten. Siemens übernahm den damaligen Weltmarktführer ARCO Solar. Telefunkens Solartochter, die nach der Übernahme Telefunkens dem Daimler-Konzern anhängig war, die Angewandte Solarenergie GmbH (ASE), erstand Mobil Solar, ein Tochterunternehmen des US-amerikanischen Ölkonzerns Mobil Oil. Zusätzlich lief die staatliche Forschungsförderung in den USA zu Beginn der 1990er-Jahre erneut ambitionierter an. Zwei Programme des National Renewable Energy Laboratory, das Photovoltaic Advanced Manufacturing Technology und das Thin-Film PV Partnership Program entwickelten sich in den frühen 1990er-Jahren zu zentralen Aktivitätsfeldern eines Großteils westlicher Photovoltaikabteilungen (Margolis 2002: 213–215). In Deutschland schloss die ASE ihre größte deutsche Produktionsstätte 1994. Die Wacker Chemie ließ seit 1995 ihre Arbeiten an der Entwicklung von Solarsilizium ruhen. Und bei Siemens war man nach einigen Jahren mit ARCO in der Summe ernüchert. Räuber deutet dieses Abebben der Industriedynamik dahin gehend, dass die »Haltung der Industrie [...] zwischen ›Verabschieden‹ [...] und ›Konsolidieren‹ auf niedrigem Niveau« geschwankt habe.¹ Auch wenn die Solartochter des Shell-Konzerns und die ASE 1998 mit Länder- und Bundesmitteln zwei neue Fabriken in Gelsenkirchen und Alzenau errichteten, tat sich industriell zu dieser Zeit in Deutschland nicht viel.

Das alles, so die übliche Erzählung, änderte sich 1998 mit der Regierungsübernahme durch die SPD und Bündnis 90/Die Grünen. Dieser bundespolitische Wendepunkt wird relativ einhellig als Grundlage dafür gesehen, dass sich die jahrzehntelang zusammengewachsene Unterstützungskoalition für eine aktive Ausbauförderung regenerativer Energien – und insbesondere der Photovoltaik – in einer *Pfaddynamik* zwischen ihrem Einfluss auf die Politik und dem industriellen Wachstum wiederfand (Bruns/Ohlhorst/Wenzel 2009: 370; Dewald 2011: 283; Fuchs et al. 2012: 16–17; Jacobsson/Lauber 2006: 272; Suck 2008: 194–196, 538). Im Januar 1999 wurde das damals weltweit größte Förderprogramm für Photovoltaikinstallationen, das 100.000-Dächer-Programm, erlassen, nun viel weniger zu Demonstrationszwecken als mit einer klaren tech-

1 Armin Räuber, 2005: Photovoltaik in Deutschland – Eine wechselvolle Geschichte. In: Sigrid Jannsen (Hg.), *30 Jahre DGS. Auf dem Weg in die Solare Zukunft*. München: DGS, 151–170

nologie- und industriepolitischen Zielsetzung, die Entwicklung der Fertigungs- und Installationsbranchen in Deutschland anzuschieben (Hirschl 2008: 140). Gleichzeitig bereiteten die in den Fraktionen der SPD und der Grünen seit den frühen 1990er-Jahren für die stärkere Förderung regenerativer Energien streitenden Akteure, Gruppen und Netzwerke eine Revision des Stromeinspeisungsgesetzes von 1991 (und 1998) vor. Auf Basis eines, wie auch immer man es betrachtet, Meisterstücks politisch-ökonomischer Koalitionsschmiede und institutionellen Unternehmertums verabschiedete man im Jahr 2000 das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) mit vom Strompreis entkoppelten, wesentlich aufgestockten und für verschiedene Technologien und Einsatzarten differenzierten Einspeisevergütungen, einem bundesweiten Wälzmechanismus und einem gesetzlich gesicherten Einspeisevorrang (Beschberger 2000; Hirschl 2008: 142–150; Suck 2008: 327–344).

Über die späteren Revisionsrunden des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (2004 und 2009) wurde beinahe so viel geforscht wie über dessen Initiierung, und im Rahmen der alten *cleavages* – konservative und wirtschaftsliberale politische Kräfte, Energieversorger und Industrieverbände versuchten, ihre Förderung zu bremsen; Progressive, Grüne, die Industrie selbst und Aktivisten verteidigten die Photovoltaikförderung – scheint die Entwicklung der Industrie seit 2001 selbstlaufend. Anders gesagt, nachdem die Industrie in ihrer Nische die Strukturen aufgebaut hatte, die ihr schließlich Einfluss auf die institutionelle Rahmensetzung ermöglichten, und das technische Erfahrungswissen sammeln konnte, das ihr die Aufrüstung im Angesicht des EEG erlaubte, verlief ihre Entwicklung *pfadbeständig*. Jacobsson und Lauber (2006: 272) etwa fassen den aus dem Nischenaufbau folgenden politisch-ökonomischen Prozess so zusammen: »[T]he advocacy coalition had gained enough strength to win battles over the shape of the regulatory framework – a second feed-back loop from diffusion to the process of policy making is here highly visible.« Und sie legen mit Bezug zur industriellen Dynamik junger Branchen nach, dass der »take-off« into a rapid growth phase may occur when investments have generated a large enough, and complete enough, system for it to be able to »change gear« and begin to develop in a self-sustaining way [...]. As it does so, a chain reaction of powerful positive feedback loops may materialize, setting in motion a process of cumulative causation« (ebd.: 260; Hervorh. entfernt). Etwas näher am Fall drückt es Wolfgang Palz aus, über Jahrzehnte zentrale Figur in internationalen Photovoltaiknetzwerken und einer der wichtigsten Streiter für ihre Förderung in Europa: »[O]nce a mass market is established, the engine of development is set in motion: commerce grows; sources of finance become available, eventually including the stock market; and human capacity increases« (Palz 2011: 22). Unter US-amerikanischen Beobachtern der Entwicklung der Photovoltaikindustrie spricht man von

einer anlaufenden *cascading natural deregulation* (Miller 2012; Southwest Energy Innovation Forum 2010: 9), mit der klassische Energieversorger inkrementell aus Elektrizitätsmärkten verdrängt werden, weil ihre Kosten mit der Knappheit fossiler Brennstoffe tendenziell steigen, während die der Herstellung und Installation von Photovoltaikanlagen, einmal in Bewegung gesetzt, über die nächsten Dekaden kontinuierlich sinken. Fasst man dies alles konzeptuell zusammen, ergibt sich ein einfaches Prozessmodell der Industrieentwicklung, die aus der geschützten Nische über das Erlangen kritischer Machtmasse in eine florierende Industriedynamik übergeht, und das sich jeweils abgewandelt außer in der Literatur zur Photovoltaikindustrie in Schumpeters (1912: 186–187) Gedanken zur Diffusion von Innovationen und in neueren Arbeiten zu Innovationssystemen und Innovationsbiografien findet (unter vielen: Carlsson/Stankiewicz 1991: 107–111; Kemp/Rip/Schott 2001; van Lente 1993).

1.2 Spielarten des *policy feedback*

Für den Fall der Photovoltaik ergeben sozialwissenschaftliche Nischenerzählungen in zwei Hinsichten Sinn. Erstens stellen sie ein Korrektiv zu technikdeterministischen Erklärungen der Entwicklung der Photovoltaik dar (siehe tendenziell: Perlin 1999). Schon in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts existierten durchaus ansehnliche Anlagen zur direkten Sonnenenergienutzung, deren technisches Potenzial Erfinder, Firmen sowie Investoren regelmäßig überzeugen konnte, sich kostenträchtig für die Durchsetzung der Technik zu engagieren. Und spätestens seit der zweiten Hälfte der 1960er-Jahre waren Forschung und Industrie auch ausreichend erfahren mit der kristallinen Siliziumphotovoltaik, um ihre Chancen auszuloten, jedenfalls insoweit, als dass es nicht primär technische Hürden waren, die sie davon abhielten, die Technologie für die Energieversorgung zu nutzen.

Zweitens zielen Nischenerzählungen auf eine zentrale dynamische Qualität industrieller Entwicklung. Phänomene wie die Durchsetzung einer neuen Technologie, die gesellschaftliche Verankerung einer neuen Industrie oder oft auch ganz allgemein die Reproduktion etablierter gesellschaftlicher Strukturen basieren in der Regel wesentlich auf Rückkopplungseffekten über die Zeit. Verteilt etwa eine neue Industrie erst einmal Einkommen, fließen ihr zusätzliche Unterstützungsleistungen und Ressourcen zu, was wiederum die in ihr verteilten Einkommen stabilisiert, wenn nicht erhöht usw. Die meistdiskutierten sozialwissenschaftlichen Arbeiten zu diesen Effekten sind materialistische Beschreibungen von Pfadabhängigkeiten und Prozessen des *policy feedback* einerseits und fami-

lienähnliche institutionalistische Sequenzbeschreibungen in der neueren Wirtschaftssoziologie und der neueren Politischen Ökonomie andererseits. Ich meine, dass sich anhand des Studiums der Entwicklung der Photovoltaikindustrie ein gemeinsamer voreiliger konzeptueller Schluss dieser Forschungslinien erörtern lässt. Sie übergehen, wie anspruchsvoll es kollektiv ist, politisch-ökonomische positive Rückkopplungsprozesse *über die Zeit* robust zu halten. Genauer ausgedrückt: Industrielle Entwicklungsprozesse beinhalten kollektive Regelungsprobleme, die dynamisch aufreißen, verschoben oder überwunden werden – und denen der bloße Zufluss an Ressourcen in einen Sektor keinesfalls gesetzmäßig entgegenwirkt. Ich gehe hier in drei Schritten vor, um dieses Argument zu verdeutlichen. Erstens rekapituliere ich kurz materialistische Theorien positiver Rückkopplungsprozesse in der Wirtschaft – konzeptuell klarer formulierte Spielarten der gerade angesprochenen Standardgeschichte. Zweitens zeige ich, dass komplexere Ansätze zum Verständnis politökonomischer Entwicklung weitgehend demselben Grundmodell folgen. Drittens bespreche ich darauf aufbauend Forschungsarbeiten, die die dynamischen Probleme industrieller Entwicklung problematisieren.

Auf einer sehr allgemeinen Ebene drücken Pfadabhängigkeitsmodelle und solche zum *policy feedback* eine Reihe einfacher Gedanken aus. Soziale Zusammenhänge zeichnen sich durch eine Form der Behäbigkeit oder »Stabilitätsneigung« (Beyer 2006: 12) aus, die vornehmlich auf strukturell-materielle Faktoren zurückgeht. Eingeschlagene Pfade gesellschaftlicher Organisation sanktionieren ihre eigene Reproduktion über die Zeit. In Pfadabhängigkeitsmodellen in der Technik- und Wirtschaftsgeschichte bestehen die Begünstigungen etablierter Organisationen, Technologien oder Industrien zumeist in verschiedenen Formen von systematischen Start- und Größenvorteilen. Paul David (1985: 335) spricht von *system scale economies*, die bedingen, dass einmal erfolgreiche Technologien über die Zeit zunehmend strukturell stabilisiert werden und praktische Unterstützung erfahren, dass technologische Pfade *quasi-irreversibel* werden. Arthur (1990) spricht allgemeiner von *increasing returns* in Industrien oder Technologiefeldern als wichtiger Randbedingung für Pfadabhängigkeiten. Neben Theorien externer Kosten war es genau diese Klasse komparativer – und gewissermaßen bloß technisch unverdienter – Vorteile etablierter Industrien gegenüber neuen, die die Politik seit den 1970er-Jahren immer wieder zur Legitimation heranzog, um in der Förderung unkonventioneller Energietechnologien guten Gewissens fast jedes gängige ordnungsökonomische Tabu mit immer neuen technologiepolitischen Initiativen zu übergehen.

In der Politikwissenschaft wird die erste formale Beschreibung von *policy feedback* zumeist Schattschneiders Untersuchungen der amerikanischen Zollpolitik der 1930er-Jahre zugeschrieben. Wie Schattschneider ([1934]1974: 288)

herausstellte, erzeugen, zerstören und verschieben *policies*, insbesondere solche, die wirtschaftliche Zusammenhänge berühren, Interessenzusammenhänge und Koalitionen. »New policies create a new politics«, fasste er seine Beobachtungen zusammen, »[b]y means of the protective system governments stimulate the growth of industries dependent on this legislation for their existence, and these industries form the fighting legions behind the policy« (ebd.). Derartige Prozessmodelle sind keine Eigenheit der politikwissenschaftlichen Forschung. Theorien des *policy feedback* sind Teil des Handlungswissens in Politikformulierungsprozessen. Langfristig orientierte *policies* sind zumeist darauf hin gestaltet, dass sie eine Art *momentum* entwickeln, dass sich ihre Ziele in der Implementation und darüber hinaus gesellschaftlich fortpflanzen und verselbstständigen, um zu einem späteren Zeitpunkt auf politische Auseinandersetzungen zurückzuwirken (zusammenfassend: Hacker 2002: 52–58; Pierson 2006).² Diese – erhofften oder tatsächlichen – Wirkungen können je nach Politikfeld, historischer Episode und institutionellem Umfeld in verschiedenen Mischformen gesellschaftlicher Prozesse bestehen. Bestimmte *policies* etwa versuchen, kulturellen Wandel anzustoßen, andere sollen Praktiken in der Bürokratie verändern, wieder andere die materielle Einträglichkeit eines bestimmten Verhaltens auf Dauer beeinflussen. Längerfristig orientierte *policies* zur Beeinflussung industrieller Entwicklung, etwa in der Industrie- oder Sektorpolitik, zielen überdurchschnittlich häufig auf Änderungen in der relativen wirtschaftlichen Einträglichkeit verschiedener Verhaltensweisen und darauf hin zu erwartende Verschiebungen in politischen Koalitionsgefügen – auf Prozesse, die Schattschneiders Idealtypus ähneln. In der Politik der Photovoltaikbranche wurden Hoffnungen auf selbsttragende Wirkungen von Förderprogrammen seit den 1970er-Jahren in der Aktivistenszene und in der Politik diskutiert. In großspurigen Spielarten dieser Hoffnungen prophezeite man das inkrementelle Aussterben aller mit fossilen Energieträgern verbundenen politisch-ökonomischen Interessen;³ in zurückhaltenderen Varianten hoffte man zumindest auf geringeren Widerstand von Branchen, die an der neuen Technologie verdienen könnten.⁴ Ob unter dem Banner des *policy feedback* oder der Pfadabhängigkeit, gemeinsam ist allen klassischen Modellen selbstverstärkender Prozesse, dass sie ohne Rückgriff auf habituelle, kulturelle oder traditionale Beharrungskräfte zu erklären versuchen, wie positive Rück-

2 Exzellente Diskussionen politischer Reflexionen von *policy feedback* finden sich immer wieder in der Literatur zum New Deal. Siehe etwa Rodgers (1998: Kap. 10) zu Hoffnungen auf eine erneuerte gesellschaftliche Ordnung und Swenson (1997) zu Hoffnungen auf Interessenverschiebungen unter Arbeitgebern.

3 Siehe etwa Hermann Scheer, [1999]2005: *The Solar Economy: Renewable Energy for a Sustainable Global Future*. London: Earthscan, 276–280.

4 Siehe etwa Barry Commoner, 1979: The Solar Transition II. In: *New Yorker*, 46–93, hier: 73–82.

kopplungseffekte rationale Akteure auf gewisse Pfade hin konditionieren, was die jeweiligen Pfade stärkt, wiederum weitere Anreize für Akteure schafft, ihnen zu folgen usw. Ohne externe Schocks, die diese Prozesse aus dem Gleichgewicht bringen – Mancur Olson etwa dachte in seiner Diagnose *institutioneller Sklerose* in demokratisch kapitalistischen Gesellschaften der 1980er-Jahre an »upheaval or war« (Olson 1982a: 145; vgl. auch Olson 1982b: 40, 87) –, pflanzen sie sich unbestimmt fort.

In der historisch arbeitenden Politikwissenschaft und Soziologie werden sozialwissenschaftlich wesentlich interessantere und vielschichtigere Spielarten positiver Rückkopplungsprozesse diskutiert. Neben der Frage, wie verankerte Pfade individuelle Nutzenkalküle beeinflussen, geht diese Forschung Fragen nach, wie sich Wechselwirkungen zwischen Koalitionsgefügen, kognitiven Prozessen, formalen Institutionen und der Struktur sektoraler, staatlicher oder transnationaler Regime entwickeln. Für das kausaladäquate Verständnis der Entwicklung der Photovoltaikindustrie sowie für das Verständnis dessen, was sich aus ihrer Entwicklung über die industrielle Organisation lernen lässt, ist ein Forschungsstrang zentral: die institutionalistische Industrieforschung in Politischer Ökonomie und Wirtschaftssoziologie. Verstreut über verschiedene Fallstudien, Debatten und Forschungslinien haben Politikwissenschaftler und Soziologen seit den 1960er-Jahren herausgearbeitet, wie sich in Organisationen, Industrien, Regionen sowie nationalen Wirtschaftsregimen über die Zeit distinkte Strukturmuster entwickeln. Um die Logik dieser Argumente zu verstehen, genügt ein kurzer Blick auf zwei synthetisierende Forschungslinien, die Untersuchungen von *Märkten als sozialen Feldern* und die Forschung zu nationalen kapitalistischen Regimen, den *Varieties of Capitalism*.

Neil Fligstein hat seit den späten 1990er-Jahren in einer Reihe von Arbeiten versucht, verstreute Gedanken aus der Neuen Wirtschaftssoziologie in einer übergreifenden Theorie der Entwicklung von Industrien zu systematisieren. Der implizite Ausgangspunkt von Fligsteins Überlegungen ist Alfred Chandlers Forschung zu den Strukturen von Produktionsregimen seit dem späten 19. Jahrhundert (siehe zusammenfassend: Chandler [1959]1990, [1990]2004, Teil 1). Chandler, dessen Diffusionsmodell sich gut in die gerade erwähnten materialistischen Theorien positiver Rückkopplungsprozesse fügt, hatte in einiger firmengeschichtlicher Kleinarbeit eine effizienztheoretische Institutionengeschichte der Verbreitung des modernen Industriekapitalismus in Deutschland, Großbritannien und den USA entwickelt. Ab dem späten 19. Jahrhundert, so Chandler, wurden Unternehmensführungen zunehmend professionalisiert und von Eigentümern entkoppelt; Firmen entwickelten ausgefeilte rationale Organisationsmethoden und expandierten bis in die Grundlagenforschung ihres jeweiligen Felds; in Reaktion auf die Entstehung nationaler und internationaler Märkte

integrierten sie zunächst vertikal Forschung, Zulieferung und Distribution und später horizontal verbundene Produktlinien und verbundene Industriefelder; und fragmentierte Wettbewerbsmärkte wandelten sich unter den neuen Großkonzernen zu mal mehr und mal weniger integrierten Oligopolen, in denen Firmen um die Verteilung von Marktanteilen und Marktzugängen konkurrierten. Treiber dieser Transformation ist für Chandler – wie ganz ähnlich für Max Weber ([1904/1905]1988: 37, [1922]1980: 384–385) und Joseph Schumpeter ([1942]1994: 81, 101, 106) – die wirtschaftliche Konkurrenz gepaart mit objektiven Effizienzvorteilen der neuen *organizational form*. Firmen, die sich nicht präemptiv anpassten, wurden von Marktmechanismen in die neuen Organisationsstrukturen gezwungen oder aus ihrem jeweiligen Markt heraus.⁵ Historische oder lokale Abweichungen von der Durchsetzung dieses Modells der Industrieorganisation erklärt sich Chandler einerseits mit Strukturmerkmalen von Branchen, die an jene Faktoren erinnern, mit denen die sogenannte Harvard-Schule der Industrieökonomik gehofft hatte, Licht in das Dunkel der Oligopolorganisation zu bringen (übersichtsweise Bain 1951: 1970; Scherer 1970). Gute Beispiele sind die Kapitalintensität der Produktion, das Ausmaß möglicher Größen- und Verbundvorteile oder die Häufigkeit und Intensität von Produktzyklen im jeweiligen Markt (siehe etwa Chandler [1990]2004: 36–38, 604–605). Andererseits schreibt er nationale Abweichungen vom amerikanischen Modell, etwa die längere Prägung britischer Industrien durch einen oft familiengebundenen *personal capitalism* (ebd.: 274–293) oder Züge eines formal koordinierten *organized capitalism* in Deutschland (ebd.: 423–427), der Wirkung »verspätet abgebauter« institutioneller Eigenheiten in den jeweiligen Ländern zu, die Firmen konstant davon abbrachten, dem amerikanischen Pfad zu folgen.

Die Kritik an effizienztheoretischen Institutionentheorien wie der Chandlers ist ein definierender Grundstein für die politikwissenschaftliche und soziologische Forschung zur Organisation von Industrien geworden (vgl. etwa DiMaggio 2003: 18–19). Das gilt sowohl für die frühen Versuche der international vergleichenden Industrieforschung, dem technokratischen Liberalisierungsdiskurs der 1980er-Jahre, politische Alternativen vorzuführen (unter vielen: Dore 1986; Katzenstein 1985; Piore/Sabel 1984), wie für die lange Zeit vor allem für Untersuchungen »staatsnaher Sektoren« bekannte neoinstitutionalistische Organisationsforschung (siehe etwa DiMaggio/Powell 1983; Scott/Meyer 1982).⁶

5 Gute Zusammenfassungen der älteren und theoretisch vergleichbar angelegten Debatte um den *Monopolkapitalismus* und den *Niedergang der Konkurrenz* im 20. Jahrhundert findet man bei Burns (1936), Mason (1957, Teil 1), Morgan (1992) und Sweezy ([1942]1962: Kap. 11, 14, [1987]2004).

6 Ich folge hier bei der Einordnung soziologischer Ansätze den üblichen groben Übersichten der neueren institutionalistischen Forschung bei DiMaggio (1991), Hall/Taylor (1996), Nee (2005), Thelen (1999) und Weingast (2002).

Eine einflussreiche Spielart dieser Kritik setzt am Handlungsmodell ökonomischer Institutionentheorien an – und wendet sich damit letztlich gegen ökonomische Erklärungen der Institutionengenese. Institutionalisierte Strukturen sind weniger ein Resultat stückweise vorgenommener Optimierungsversuche als vielmehr das eines individuellen wie kollektiven Hangs zu Stabilität, Routine und Berechenbarkeit (anstelle vieler: DiMaggio/Powell 1991: 11–22). Insoweit sich Institutionalisierungsprozesse nicht auf einen – kurzfristig auch noch so zögerlich durchgesetzten – Optimierungspfad zurückführen lassen, öffnet sich die Genese sozialer Strukturen für einen weiten Bereich gesellschaftlicher Einflüsse, kontingenter Entwicklung und machtgestützter Manipulation (auf den Punkt: Yakubovich/Granovetter/McGuire 2005: 583–585). Genau hier setzt Fligsteins Theorie von *Märkten als sozialen Feldern* an. Die amerikanische Konzentrationsbewegung um das Jahr 1900 sowie die über die nächsten siebenzig Jahre folgende Entwicklung industrieller Organisation war selbst in den USA wesentlich variantenreicher, als Chandlers Grundmodell vermuten lässt. Dem frühen amerikanischen *Trust Movement* folgten extreme Beherrschungskämpfe und Monopolisierungsversuche, mehrere Fusionswellen, teils ausufernde Diversifizierungsbewegungen von der Zwischenkriegszeit bis in die 1960er-Jahre und die *Shareholder-Value*-Revolution und die ansatzweise Entwicklung eines Marktes für die Kontrolle von Unternehmen seit den 1980er-Jahren. Fligstein (1990, 1991, 2001: 123–169) zeigt nun, dass jede dieser, wie er sie nennt, *conceptions of control* von je spezifischen Komplexen aus staatlichen Interventionen und Regulierungen, Machtverhältnissen zwischen verschiedenen *Stakeholdern* um Unternehmen, sektoralen Kräfteverhältnissen und vorherrschenden Ideen zur Industrieregulierung stabilisiert wurde. Die Verbreitung von Diversifizierungsstrategien in unverbundene Geschäftsfelder etwa ging zuerst mit einem Machtgewinn von Marketing- und Vertriebsfunktionen und später mit dem Aufstieg finanzierungsorientierter Manager einher und wurde von der kartellpolitischen Erschwerung der Integration verbundener Geschäftsfelder seit den 1950er-Jahren gestützt (Fligstein 1991: 320–324). Die *Shareholder-Value*-Revolution ist im Wechselspiel mit neuen (oder zumindest wiederentdeckten) Theorien guter und effizienter Unternehmenskontrolle entstanden und verschob die Machtverhältnisse zwischen Management, Arbeitnehmern und Anteilseignern (siehe Davis/Diekman/Tinsley 1994; Dobbin/Zorn 2005; Fligstein 2001: 147–168).

Ihre Anziehungskraft entwickelten die jeweiligen industriellen Organisationsmodelle weniger durch unzweideutige und objektive Effizienzvorteile. Vielmehr versprachen sie in Zeiten wirtschaftlicher Krisen und Turbulenzen stabile Grundlagen industrieller Entwicklung und wurden, einmal durchgesetzt und abseits erneuter Krisen, zu selten ernsthaft hinterfragten Selbstverständlichkeiten. Fligsteins *conceptions of control* sind zwar durchgesetzt mit Verteilungseffekten

und damit durchweg prinzipiell strittig, ihre Koordinationsleistungen wirken aber dermaßen vorteilhaft, dass sie über die Zeit die Grundlagen ihrer eigenen Stabilität schaffen: »To break down [a] stable order could bring more chaos than would enforcing the ›way things are done« (Fligstein 2001: 82, siehe auch 175–176). Im Unterschied zu materialistischen Theorien selbstverstärkender Prozesse sind es in der soziologischen Industrieforschung nicht bloß wirtschaftliche Anreize, die sich über die Zeit verschieben. Vielmehr verfestigen sich um Industrieordnungen *Homologien* zwischen kulturell-kognitiven, organisationalen, institutionellen und politischen Strukturen. Die Entstehung dieser Strukturen geht im soziologischen Institutionalismus einerseits auf eine *gemeinsame Ursache* zurück – den Hang sozialer Felder zu Stabilität und zur Reduzierung von Unsicherheiten. Ohne exogene Erschütterungen, die die jeweiligen Ordnungen infrage stellen, zementieren sich Institutionen über die Zeit (ebd.: 84).⁷ Andererseits, und dies leitet in die vergleichende Politische Ökonomie über, deuten soziologische Neo-Institutionalisten immer wieder an, dass jeweils vorherrschende Industriestrukturen die Pfade überformen, auf denen Personal, Firmen, Sektoren und die Politik wirtschaftlichen Erfolg suchen. Ob aufgrund von bloßem Isomorphismus, aufgrund von Legitimationserfordernissen oder aufgrund von wirtschaftlichem Kalkül schaffen institutionalisierte Strukturen sich ihr politisch-ökonomisches Gefolge; sie zementieren politisch-ökonomische Machtverhältnisse und werden von genau diesen gestützt (vgl. etwa Dobbin 2005: 30–32).

Die klarste und mit Abstand meistdiskutierte Formulierung derartiger Prozesse stammt aus der vergleichenden Politischen Ökonomie, aus der neueren Forschung zu den *Varieties of Capitalism* (Hall/Soskice 2001). Der unmittelbare Vorläufer dieser Arbeiten ist die seit den 1980er-Jahren zunehmende Forschung zu Genese, Natur und Wirkung nichtliberaler Produktionsregime. Die Verwerfungen in traditionellen Fertigungsindustrien in den 1970er- und 1980er-Jahren, die als Krise des *fordistischen Produktionsmodells* bekannt wurden, haben wie zuvor die Stagflation ländervergleichende politikwissenschaftliche

7 Weil dies schon hier nach unerschwerlicher Kritik klingt, will ich vorwegnehmen, dass Theorien der Organisation von Industrien, die ausschließlich exogenen Wandel zulassen, keinen in der Sache liegenden Nachteil gegenüber dynamischeren Theorien haben. Gerade Märkte in kapitalistischen Ökonomien sind permanenten und häufig kumulativ wirkenden Schocks und Krisen ausgesetzt, sodass mit statischen Theorien auch sich schnell wandelnde oder zyklisch zusammenbrechende Ordnungen von Industrien analysiert werden können; siehe etwa die Fallstudie über Preiskämpfe in der US-Automobilindustrie von Bresnahan (1987). Dasselbe Argument vertritt Schumpeter (1934: 256). Anders verhält es sich, und darauf stellt mein Argument unten ab, wenn empirisch gezeigt werden kann, wie die Konstituierung bestimmter Strukturen über die Zeit eben die strategischen Grundlagen verschiebt, die dieser Konstituierung zugrunde gelegen haben, oder wie ein temporäres Abstimmungsgleichgewicht zwischen verschiedenen Interessen eben nur temporär ist.

Studien angestoßen (ideengeschichtlich: Katzenstein 1985: 17–30; Streeck 2009a: 12–14). Neben der Frage, wie offensichtlich marktferne Regime wie die japanische politische Ökonomie derart produktiv funktionierten, dass sie die *First-Mover*-Vorteile US-amerikanischer Fertigungsindustrien mehr als wettmachten, stellte sich die Frage, wie sie sich historisch erhalten konnten. Sollte nicht die Implantation liberal-demokratischer und liberal-ökonomischer Institutionen und Ordnungsprinzipien in die faschistischen Gesellschaften Deutschlands und Japans, die weltweit wirkenden Ölschocks der 1970er-Jahre und der wachsende Globalisierungsdruck seit den späten 1980er-Jahren Industriestrukturen ähnlicher werden lassen? Offensichtlich wurden sie das für eine längere Zeit nicht. Für diese Resilienz macht die neuere vergleichende Politische Ökonomie – mit etlichen Verzweigungen, Aufweichungen und Ausreißern – einen Faktor verantwortlich: die selbsterhaltenden Wirkungen *institutioneller Komplementaritäten*. In verschiedenen Nationen, so die These, haben sich über das letzte Jahrhundert verschiedene in sich kohärente Regime aus Institutionen verfestigt. Und insoweit die jeweiligen institutionellen Komponenten dieser Regime *im Konzert* bestimmte Produktionsmodelle begünstigt haben, sind quer zu den üblichen Konfliktlinien demokratisch-kapitalistischer Gesellschaften verlaufende Unterstützungskoalitionen um sie entstanden (Hacker/Pierson 2002: 309–312; Hall/Thelen 2009: 14).⁸ Produktionsmodelle etwa, die durch permanente inkrementelle Innovation gekennzeichnet sind, haben es in einem durch ein hohes Maß an *market-based capital* geprägten System der Unternehmensfinanzierung schwerer als in einem tendenziell bankbasierten System und profitieren überdurchschnittlich von stärker kollektiv geregelten als ephemeren Beziehungen zu Arbeitern, Konkurrenten, Zulieferern und Kunden (unter vielen: Soskice 1996: 9–14). Ebenso stehen bestimmte Strategien Industrien in bestimmten Regimen schlicht nicht zur Verfügung – je unfreier etwa Arbeitsbeziehungen ausgehandelt werden, desto weniger können Firmen ihre Wettbewerbsfähigkeit temporär mit Lohnsenkungen oder unilateral durchgesetzten Rationalisierungsmaßnahmen beim Faktor Arbeit verbessern (siehe Streeck 1991, 1997).

Das faktisch wichtigste Anwendungsgebiet des zugespitzten Modells der Varieties of Capitalism ist die Erklärung von Arbeitgeberinteressen in tendenziell nichtliberalen oder koordinierten Wirtschaftssystemen, etwa in Deutschland, Japan oder Schweden – ein Fokus, den Hall und Soskice (2001: 6) *firm-centered* nennen. Noch mehr als über die jahrzehntelange Widerstandsfähigkeit koordinierter kapitalistischer Organisationsformen wunderte man sich darüber, dass ausgerechnet Akteure auf der Kapitalseite industrieller Beziehungen Institu-

8 Den guten Gedanken, zwischen Koalitions- und bloßen Interesseneffekten von Institutionen zu unterscheiden, übernehme ich von Ikenberry (1994: 21–23) und Weir (2006: 172–178).

tionen zu unterstützen schienen, die ihren eigenen wirtschaftlichen Handlungsspielraum einschränkten. In der Entstehungsphase derartiger Strukturen, vor allem von lohnpolitischen Institutionen (Swenson 2004) und von Ausbildungsregimen (Thelen 2002: 174–176), erklären PolitökonomInnen diese auf den ersten Blick kontraintuitiven Unterstützungsleistungen zumeist mit länderspezifischen intersektoralen Interessenkonflikten und quer zu Klassenstrukturen verlaufenden politisch-ökonomischen Koalitionen, gewissermaßen mit historischen Unfällen, die Widerstände gegen marktbeschränkende Regelungen auf der Kapitalseite industrieller Beziehungen temporär aufweichten. Halls und Soskices (2001) Argument setzt später an und modelliert, wie einmal aus solchen »historischen Unfällen« entstandene Strukturen stabilisiert werden, wie den diskretionären Spielraum von Firmen und Industrie-segmenten einschränkende Regelungen sich von den Gründen ihrer Entstehung entkoppeln und überdauern. Länderspezifische Regelungsregime sind für Hall und Soskice verschachtelte Gefüge aus Formen der Unternehmenskontrolle, Ausbildungssystemen, industriellen und interorganisationalen Beziehungen, die wechselseitig ergänzend und komplementär wirken (ebd.: 17–33). Aus der Komplementarität ihrer Komponenten entstehen Anreize für private wie öffentliche Akteure, länderspezifische Regime nicht verwässern zu lassen, sondern sie sozusagen systemisch zu nutzen und zu unterstützen (Hall 2006: 191). Heruntergebrochen: Sind sie einmal entstanden, überformen institutionelle Regime die Pfade, in denen Akteure ihre wirtschaftlichen Interessen verfolgen, womit eben diese wirtschaftlichen Interessen und die unter ihnen möglichen Allianzen zu Trägern der jeweiligen Regime werden. Lässt man die unzähligen Verfeinerungen dieses Modells außen vor, ergibt sich eine einfache Darstellung pfadbeständiger Entwicklungen von »hard-to-build but self-reinforcing coordinating institutions« (Whitford 2005: 28), die sich über ihren Einfluss auf Koalitionsgefüge erhalten.

Alle hier angerissenen Konzepte, Modelle und Theorien sind – zumeist beinahe unmittelbar nach ihrer Veröffentlichung – für einen »impliziten Konservatismus« (Beyer 2006: 37–39) kritisiert worden. Diese Kritik reicht von Vorwürfen der Konfliktvergessenheit und Statik im soziologischen Neo-Institutionalismus als Ganzem (etwa Edelman 1991; Hall/Taylor 1996: 954; Perrow 1985; Thelen 1999: 387) bis zu grundsätzlichen Strukturalismusvorwürfen gegen Theorien pfadabhängiger Entwicklung (etwa Sabel 1995). Ich will mich hier weniger mit dieser (oft nur allzu gut begründeten) paradigmatischen Kritik auseinandersetzen. Die produktivste und für das Verständnis der Entwicklung der Photovoltaikindustrie relevanteste Kritik an der gerade besprochenen Forschung besteht in zurückhaltenderen Kontextualisierungen, Spezifizierungen und Modifizierungen, aus empirisch gesättigten Sequenzbeschreibungen, die die Folgen von Variationen in einzelnen Komponenten oder Zusammenhängen traditio-

neller Modelle selbstverstärkender Prozesse untersuchen. Die Mehrzahl dieser Spezifizierungen weist anhand von empirischen Fällen nach, inwieweit selbstverstärkende Prozesse voraussetzungsreicher sind, als von den ursprünglichen hoch abstrakten Theorien beschrieben. Wie Zelizer und Patashnik (2013: 1075) und Campbell (2012: 347) argumentieren, hat die Forschung zu Rückkopplungsprozessen ihre Modelle auf Fallstudien aufgebaut, die auf der abhängigen Variablen ausgewählt wurden. Bedingungen gescheiterten *feedbacks* sind selten systematisch untersucht und konzeptuell aufgearbeitet worden. So zeigen etwa Patashnik und Zelizer (2013) am Beispiel einer Reihe progressiver *policies* in den USA, die nach ihrer jeweiligen Durchsetzung gescheitert sind, wie *policy feedback* aufgrund von mangelnden Organisationskapazitäten begünstigter Gruppen, von konfligierenden institutionellen Requisiten oder von *poor timing* ausbleiben kann. Weir et al. (2006: 2011) demonstrieren auf Basis sozial- und verkehrspolitischer Implementationsprozesse, inwieweit nachhaltige Reformen auf Intermediäre angewiesen sind, die die Neuformierung betroffener Identitäten und Interessen lenken und über die Zeit erhalten. Streeck (2003b) argumentiert, dass mit pfadbestimmten Reformvorhaben, in denen »institutionelle Komplementaritäten *ex ante* schwer vorherzusagen und bereitzustellen sind« [eigene Übersetzung], systematisch Möglichkeiten für inkrementellen, nicht intendierten und teilweise unbemerkten pfadbrechenden Institutionenwandel entstehen. Am Beispiel der Geschichte des deutschen Finanzsektors führt Deeg (2007) vor, wie eingeschlagene Pfade über die Zeit endogenen Anreize für Pfadabweichungen hervorbringen können. Kathleen Thelen (2014: 2006) hat über eine Reihe von Arbeiten zur Politik industrieller Beziehungen der letzten dreißig Jahre aufgezeigt, dass oberflächliche institutionelle Stabilität unter Bedingungen sich wandelnder Umweltbedingungen substanziell institutionelle Erosion bedeuten kann (siehe auch Streeck 2003a). Am Beispiel der deutschen industriellen Beziehungen unter der Bedingung von Tertiärisierung und Globalisierung etwa zeigt sie, dass

intensified reliance of Germany's core firms on continued peace and stability in their relations with labor at the plant level has begun to feed back in deeply paradoxical ways, *stabilizing* the system in a formal sense (by deflecting demands for formal decentralization [...]), while at the same time *undermining* the deeper foundation on which the system rests (as central bargaining over time comes to cover a shrinking number of firms). (Thelen/Kume 2006: 24)

Systematisch führen derartige Analysen zu einem Gesamtbild von Pfadbeständigkeit, das wesentlich auf *dynamische Requisiten* angewiesen ist. Mit anderen Worten: Pfadbeständigkeit muss über die Zeit politisch-ökonomisch kultiviert werden. Mit Bezug zur *Varieties-of-Capitalism*-Forschung merken Thelen und Kume an:

Rather than thinking of coordination as a »thing« or »state of affairs« that whole countries either have or do not have, [...] it is much more useful to conceive of coordination as a political process and something that is not at all self-sustaining but in fact has to be constantly nurtured and »patched up«, and sometimes renegotiated entirely. (ebd.: 14)

Wenige dieser milden Revisionen sind auf einer fundamentalen Ebene unverträglich mit den gerade beschriebenen Darstellungen selbstverstärkender Prozesse. Sie »widerlegen« keine Theorien. Vielmehr nutzen sie diese Theorien heuristisch als Abgrenzungsbezug für etwas, das Katzenstein (2003: 9) »properly contextualized generalization« genannt hat (siehe zu diesem Typ von Theoriearbeit auch Mayntz 2009: 23; Paige 1999; Rueschemeyer 2003: 317–318). Eine solche vorsichtige Revision soll die folgende Studie erarbeiten.

1.3 Das Argument in Kurzform

Ich will den grundlegenden Gedanken der Standardgeschichte der Entwicklung der Photovoltaikindustrie nicht prinzipiell infrage stellen. Im Gegenteil, es braucht viel Fantasie für ein Szenario, in dem sich die industriegesellschaftliche Photovoltaiknutzung nach dem Jahr 2012 wieder aus der gesellschaftlichen Wirklichkeit verabschieden könnte – vor allem wegen des Grads gesellschaftlicher Verankerung, der in der sozialwissenschaftlichen Forschung zur Solarindustrie beschrieben wird. Was ich hingegen hinterfrage, ist das simplizistische Bild der Organisation der Industrie und ihrer Unterstützerkoalitionen, das diesen Arbeiten zugrunde liegt, und damit zusammenhängend das der Mechanismen der Entwicklung des Sektors. Die einfache Rückkopplungsbeziehung zwischen zunehmender politischer Unterstützung, wachsenden Zuflüssen öffentlicher Gelder, technologischen Fortschritten, einem florierenden Markt und wiederum neuem politischen Zuspruch geht zu großen Teilen an der Entwicklungsgeschichte der Photovoltaikindustrie vorbei. Hinter derartigen Beschreibungen liegt die einfache Idee, dass der Grund für die dreißigjährige Nischenexistenz der Industrie trotz des enormen Mobilisierungspotenzials der mit ihr verbundenen Erwartungen dezentraler, emissionsfreier, kostengünstiger und unbegrenzter Energieversorgung darin lag, dass ihr ein funktionierender Markt und ein ausreichend großes Unterstützungspotenzial aufseiten von Regierungen und der organisierten Forschung fehlte. Erst vor diesem Hintergrund wird dem deutschen System aus Einspeisevergütungen seit dem Jahr 2000 eine derart herausragende Bedeutung für die Entwicklung der Industrie zugeschrieben. Es schuf ein *level playing field* in der Konkurrenz mit etablierten Technologien zur Stromer-

zeugung und ließ die Industrie schließlich tun, was sie seit Jahrzehnten wollte: die Photovoltaik verbessern und vermarkten. Damit tun diese Beschreibungen die lange Geschichte gescheiterter Versuche, die Photovoltaik zur Marktreife zu bringen, als empirisches Rauschen in einem langen Kampf für eine grüne Energieversorgung ab und folgen dem Schnellschuss, der der voreiligen Generalisierung von Pfadabhängigkeitsmodellen zugrunde liegt.

Es mangelte der Photovoltaikindustrie wiederkehrend nicht an finanziellen Mitteln oder prinzipiell an politischen Fürsprechern für die Kommerzialisierung der Technologie, sondern an *Kontinuität* in der Hochskalierung der Fertigung, in der Schaffung robuster Nachfragestrukturen und in der breiten politischen Unterstützung. Der Sektor scheiterte, anders gesagt, an ausbleibendem *policy feedback*. Mehr noch, auch Einschnitte in Fördermittel und andere Ressourcenflüsse lassen sich episodisch ebenso sehr als Folge wie als Ursache von sektoralen Entwicklungsproblemen verstehen. Die Photovoltaik im Besonderen und die industriegesellschaftliche Sonnenenergienutzung im Allgemeinen verharteten als unerfüllte Versprechen in einer längeren Geschichte aus großen Hoffnungen, politischen Versuchen, ihre Kommerzialisierung anzustoßen, sektoralem Kollektivversagen und mangelnder Unterstützungskontinuität. Ich zeige im Folgenden, dass die Zyklen der Entwicklung der Photovoltaikindustrie *Zyklen aus sektoraler Fragmentierung und Kohäsion* waren, Ausdruck eines kollektiven Problems zwischen Forschung, Industrie, Politik und Zivilgesellschaft. Der kollektive Aspekt der Entwicklung des Sektors lässt sich als Geflecht aus mehrseitigen Koordinations-, Kooperations- und Schlichtungsproblemen über die Zeit verstehen, als ein Ordnungsproblem, die Ausgangsvisionen einer solaren Wende in Energiewirtschaft, Gesellschaft, Industrie und Politik im Sektoraufbau wirksam am Leben zu halten. Auf der Ebene der Fertigung etwa waren zur stetigen Entwicklung vielfältige und in ihren Erfolgsaussichten voneinander abhängige Vorleistungen beteiligter Akteure nötig. Kamen diese Vorleistungen ins Stocken, stockten sowohl die technologische Entwicklung als auch der Strom an Signalen an die Öffentlichkeit, dass die jeweilige staatliche Unterstützung nicht verpuffte und die früheren Entwicklungsversprechen realistisch waren. Auf der Ebene der Politik ging es nicht nur darum, Unterstützungssicherheit im Angesicht permanenter Subventionskritik und der Gefahr politischer Stimmenverluste zu garantieren, sondern auch darum, unter dieser Bedingung zwischen konkurrierenden Ansprüchen von Unterstützern selbst zu vermitteln, etwa zwischen großen und kleinen Fertignern, verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette, verschiedenen Regionen, Umweltaktivisten und Energieversorgern usw.

Angesichts solcher dynamischen Ordnungsprobleme funktionieren aber die einfachen Rückkopplungsbeziehungen zwischen Ressourcenzuflüssen und der Schaffung von *vested interests* nicht, wie in Theorien selbstverstärkender Prozesse

angenommen. Die Wechselwirkungen zwischen Problemen kollektiver Disziplin, kollektiver Governancefähigkeiten und kollektiver Flexibilität über die Zeit mit Änderungen in Ressourcen, politischer Macht und Unterstützungsleistungen sind keineswegs einfach und klar (siehe etwa Katzenstein 1985; Sabel et al. 1989; Streeck 1990). Im Fall der Photovoltaikindustrie mobilisierten Kommerzialisierungsanläufe und große Hoffnungen zwar immer wieder kommerzielle und politische Interessen für die jeweiligen Initiativen, sie führten aber gleichzeitig zur Fragmentierung des Feldes, zu abnehmender kollektiver Handlungs- und Restrukturierungsfähigkeit und letztlich zu Problemen, ein hinreichendes Maß an Kontinuität in der industriellen Entwicklung und der politischen Unterstützung sicherzustellen. Die Bedeutung klassischer sozialer Ordnungsprobleme über die Zeit in Prozessen des *policy feedback* ist das wesentliche Feld theoretischer Exploration der vorliegenden Studie.

Dass Kontinuität eine zentrale Rolle für den Sektor spielte, geht auf drei Besonderheiten der Photovoltaik zurück. Wie viele andere Technologien ist die kristalline Siliziumphotovoltaik (und mit ihr auch viele Dünnschichttechniken) *erstens* praktisch wenig »laborintensiv«. Die kommerzielle Weiterentwicklung der Photovoltaik für den Breitereinsatz hing weniger von einzelnen *Durchbrüchen* im Prototypenstadium ab und mehr von inkrementellen Entwicklungs- und Lernprozessen im Aufbau und Betrieb ihrer Fertigung.⁹ Mark Blaug hat in seiner Geschichte ökonomischen Denkens auf die Tendenz hingewiesen, mit der konventionelle Theorien technischer Entwicklung Prozesse inkrementellen Lernens in der Fertigung weitgehend ausblenden und Innovation zu einem exogenen Einfluss auf die Produktion degradieren:

[T]he vital difference for an individual firm is not between known and unknown but between tried and untried methods of production. The convention of putting all available technical knowledge in one box called »production functions« and all advances in knowledge in another box called »innovations« has no simple counterpart in the real world, where most innovations are »embodied« in new capital goods, so that firms move down production functions and shift them at one and the same time. (Blaug [1962]1990: 704)

Blaugs Beobachtung lässt sich weiter zuspitzen. In bestimmten Zusammenhängen lassen sich Produktionsfunktionen für bestimmte Technologien nur verschieben, wenn Produzenten auf ihnen »entlangwandern« – kontinuierlich zwischen Forschung, Herstellung, Absatz und Nutzung arbeiten (vgl. auch Garud/Karnøe 2003; Rosenberg 1982: Kap. 5–7). Die hohe »Lernintensität« der Technologie führte dazu, dass ein hohes Maß an Unsicherheit in Entscheidungen zum Kapazitätsausbau und zur Gestaltung und Beibehaltung technologiepo-

9 Verwandte Beobachtungen variabler Grade inkrementeller und radikaler Innovation in verschiedenen Technologiefeldern finden sich bei Hughes (1982) und Soskice (1996).

litischer Programme gelangte. Ob jeweils diskutierte technische Varianten die Potenziale hatten, die man sich von ihrer Volumenfertigung versprach, konnte häufig nur in der Volumenfertigung selbst herausgefunden werden.

Zweitens waren politische Unterstützungscoalitionen sowie das industrielle Umfeld der Technologie verhältnismäßig heterogen und breit. Anläufe zur politisch forcierten Kommerzialisierung der Technologie wurden seit den 1970er-Jahren von einer Vielzahl von Interessen getragen, von Umweltaktivisten und konservativen Politikern über kleine spezialisierte Systemhäuser und multinationale Technologiekonzerne bis zu energiewirtschaftlichen und physikalischen Forschergruppen. Es ist äußerst schwer, dermaßen breite und heterogene gesellschaftliche Koalitionen auf ein gemeinsames politisches Ziel einzuschwören, nicht nur aufgrund der Olson'schen Abstimmungsprobleme, die mit heterogenen großen Gruppen einhergehen, sondern auch, weil die verschiedenen Organisationen und Akteure in der Regel verschiedene andere politische oder ökonomische Alternativen haben, ihre Interessen zu verfolgen (siehe zu solchen »Fokusproblemen« Weir/Rongerude/Ansell 2011). Mit ganz ähnlichen Problemen hatte die Fertigung und Technologieentwicklung zu kämpfen. Praktisch liegt die Fertigung von Photovoltaikkomponenten an einer Schnittstelle zwischen Chemie, Festkörperphysik, verschiedenen industriellen Verfahrenstechniken, Elektronik und Energieversorgung. Die Probleme der Unsicherheit bei Investitionsentscheidungen, die in lernintensiven industriellen Feldern für einzelne Firmen oder Industrien entstehen, werden mit dem Bedarf an heterogenen und interdependenten Vorleistungen verschärft.

Der Photovoltaiksektor musste sich *drittens* überwiegend auf der Basis von Hoffnungen auf zukünftige Gratifikation organisieren. Auch die zuversichtlichsten Prognosen seiner Entwicklung erwarteten die Vorteile, die den jeweiligen gemeinsamen technologiepolitischen Aufwand rechtfertigen sollten, mehrere Jahrzehnte in der Zukunft. Diese Zukunftslosigkeit sozioökonomischer Organisation ist in kapitalistischen Gesellschaften alles andere als außergewöhnlich (Beckert 2013). Mit ihr verschieben sich allerdings die Stabilitätsbedingungen sozialer Felder von harten materiellen Randbedingungen hin zu weichen Fragen robuster Erwartungen, Interpretationen und schlichter *confidence*. Unter dieser Bedingung können Verzögerungen, zyklische Einbrüche, Diskontinuitäten und Rückschläge in der industriellen Entwicklung relativ leicht zu Unterstützungsentzug und in Investitionsklemmen führen.

Diese offenen Flanken wurden in der Industrie, in Forschungsverwaltungen und in der Politik seit den 1970er-Jahren erkannt und diskutiert. Die kollektiven Handlungsprobleme und Fragmentierungsprozesse des Sektors entstanden nicht statisch, sondern im Verlauf öffentlicher Versuche, die Industrie organisiert von ihrem Problem zu befreien und sie mit öffentlichen Mitteln zu unterstützen – in

den 1970er-Jahren hauptsächlich in den USA. In der amerikanischen Gesellschaft entwickelte sich noch vor der ersten Ölkrise in Wechselwirkung mit der Antiatom- und der modernen Umweltbewegung und im Zuge der Euphorie um die Erfolge der jungen Mikroelektronikindustrie eine für alle folgenden internationalen Fördervorstöße für die Photovoltaik paradigmatische Unterstützungscoalition zwischen Großkonzernen, Forschungsinstitutionen, dem Kongress, Teilen der Regierung und zivilgesellschaftlichen Gruppen. Während die neue Euphorie um die Technik einerseits für einen ungekannten Ressourcen- und Personalzufluss in die Branche sorgte, entwickelten sich unter den Unterstützern *mit Einführung der Förderung* zahlreiche Zielkonflikte, abweichende Planvorstellungen und konkurrierende Entwicklungsansätze. Entscheidend dafür, dass die Photovoltaik in den 1970er-Jahren zurückgeworfen wurde, war die Zerfaserung des breit unterstützten Förderregimes und *nicht* zu schwache *advocacy coalitions*; im Gegenteil: Je mehr handfeste Interessen die verschiedenen Akteure an dem Fördersystem entwickelten, desto mehr begannen sie, es durch konkurrierende Einflussversuche zu fragmentieren. Reagans Administration, die in vielen Bereichen anstrengende Versuche des *state building* zugunsten marktschaffender Politik beendete, hatte ein leichtes Spiel, ein intern zerstrittenes, durch konkurrierende Ansprüche blockiertes und im Angesicht zunehmend stagnierender industrieller Entwicklung weitgehend überkommenes Förderregime zurück in die Grundlagenforschung zu drängen.

Nicht nur der erhöhte politische Druck auf Regierungen nach Tschernobyl und die Politisierung des Klimawandels seit Mitte der 1980er-Jahre wirkten zu Beginn der 1990er-Jahre vorteilhaft auf die Entwicklung der Technologie. Wichtig war vor allem das Zusammentreffen antizipativer Staatenkonkurrenz zwischen Deutschland, Japan und den USA um Startvorteile in der Photovoltaikfertigung mit einer nach der Stagnation der 1980er-Jahre geschwächten Industrie. In den drei Ländern entwickelten sich über das Jahrzehnt sehr zielgerichtete öffentliche Programme zur konzertierten Industrialisierung der Photovoltaik, an denen die Branche zumindest bis zur Jahrtausendwende überraschend fokussiert mitwirkte. Erst vor dem Hintergrund der neuen Industriedynamik ließen sich Mitte der 1990er-Jahren neue und wiederum intern äußerst heterogene Koalitionen zwischen industriepolitischen, ökologischen und energiewirtschaftlichen Interessen um die Photovoltaik formen. Insbesondere in Deutschland wurde die neue Industriebewegung zu einem Großteil durch neue Kleinfertiger angetrieben. Deren Gründung ging zwar überwiegend auf in den späten 1990er-Jahren initiierte Absatzförderprogramme zurück; die Dynamik ihrer Entwicklung hatte aber ganz andere Gründe als den Zufluss an Installationsförderung – vor allem den, dass die Industrie aufgrund ihrer politisch-ökonomischen Randständigkeit zu Kooperation und Öffnung zu anderen Firmen und Branchen gezwungen

war. Das internationale Alleinstellungsmerkmal der in Deutschland ansässigen Industrie in den späten 1990er- und frühen 2000er-Jahren waren die vielfältigen material- und produktionstechnischen *spillovers* aus anderen industriellen Sektoren, teilweise vermittelt über Anlagen- und Komponentenlieferanten und teilweise über direkte Kooperation, Forschungsverbünde und Forschungsinstitute. Im Unterschied zu linearen Stufenmodellen technischer Entwicklung, in denen Erfindung, Laborarbeit, Entwicklungsarbeit, produktionstechnische Umsetzung und Vermarktung aufeinanderfolgen, entstanden die wesentlichen technischen Fortschritte in Deutschland im Aufbau von Produktionsleistung und durch industrieweit vernetzte Forschungsinstitutionen und Lieferanten von Produktionsmitteln. Die darauf basierende Industriedynamik beeinflusste politische Auseinandersetzungen mit der Branche und machte Forderungen nach einer unmittelbaren und breiten Nachfrageförderung für Photovoltaikanlagen in Deutschland politisch erst halbwegs anerkannt realistisch und durchsetzungsfähig. In den 1990er- und frühen 2000er-Jahre warben nur wenige politische Unterstützer der Installationsförderung für Photovoltaikanlagen für eine kurzfristig ernst zu nehmende Alternative für die Energieversorgung der deutschen Gesellschaft. Vielmehr forderten sie eine Anschubfinanzierung für eine in Deutschland erfolgversprechende »Leitindustrie des 21. Jahrhunderts«.

Schon ab dem Jahr 2007 zeigt sich im deutschen Fördersystem ansatzweise, wie die Etablierung der Industrie die Koalitionen zu verschieben begann, auf denen diese Etablierung basierte. In der Ausgestaltung der Förderung regenerativer Energien gerieten umwelt-, industrie- und wirtschaftspolitische Ziele zunehmend in Konflikt, und zwar *nicht trotz, sondern wegen* des zunehmenden Erfolgs des Gesamtprojekts. In der modular verfassten Branche brachen latente Verteilungskonflikte um Margen, Kommodifizierungs- und Entwicklungsbeiträge zwischen verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette und unter Konkurrenten aus und wurden zum Teil öffentlich ausgetragen. Die Entwicklungskooperation zwischen Fertigung und Anlagenbau ließ produktionstechnische Differenzierungen unter Fertigern größtenteils wegschmelzen, was die offene Zusammenarbeit zwischen diesen Segmenten ab einem bestimmten Punkt empfindlich zu stören begann und die Industrie für ungebremste Markteintritte und ungebremste Preiskonkurrenz öffnete. Auf internationaler Ebene brach eine Materialschlacht um die zukünftige Beherrschung der Industrie aus, die den früheren Kämpfen um die Beherrschung der Halbleitertechnik in nichts nachstand. Und die starken *advocacy coalitions* führten in einen politisch-ökonomischen *gridlock* um die Förderung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz im Kontext der massiven weltweiten Überkapazitätskrise der Fertigungsindustrie, des wachsenden Widerstands gegen die deutsche Förderung erneuerbarer Energien, einer Welle

des Firmenscheiterns in der Industrie und eines der schwersten internationalen Handelskonflikte der letzten Jahrzehnte.

Meine Studie nutzt den Fall der industriellen Entwicklungszyklen um die Photovoltaik, von gescheiterten Anläufen und dem langen Schattendasein über den Aufstieg in die Depression, um konzeptuelle Beiträge zu soziologischen und politökonomischen Ansätzen zum Verständnis industrieller Organisation zu entwickeln. Die voreiligen Schlüsse, die ich in der Beschreibung der Entwicklung der Photovoltaikindustrie kritisiere, finden sich systematisch in wirtschaftssoziologischen und politökonomischen Theorien der Organisation von Industrien. Und sie basieren letztlich auf denselben vorschnellen Annahmen über die Stabilisierung und Entwicklung von Industrieordnungen. Ein Großteil soziologischer und politökonomischer Arbeiten zur Entwicklung von Industrien bemüht sich, nachzuvollziehen, wie in Industrien Institutionen, Kooperation und Koordination wirken und entstehen. Sie versuchen, *soziale Ordnungen von Industrien* zu verstehen. Sozialwissenschaftler von Marx über Durkheim bis zu Autoren neuerer ländervergleichender Studien beschreiben, wie gewisse Ordnungsstrukturen Industrienentwicklung stabilisieren, die Bereitstellung sektorspezifischer öffentlicher Güter sicherstellen und anspruchsvollere Geschäftsmodelle ermöglichen. Mit einem Blick auf Genese, Entwicklung und Zusammenbruch solcher Ordnungsstrukturen lässt sich die Entwicklung der Photovoltaikindustrie relativ gut verstehen und rekonstruieren. Diesem Ansatz stelle ich ferner ein komplexeres und interessanteres Modell der Entwicklung dieser Ordnungen über die Zeit zur Seite. Ich zeige am Fall der Entwicklung der Photovoltaikindustrie, wie essenzielle Faktoren der Etablierung der Industrie gerade aus ihren politisch-ökonomischen Schwächen folgten und wie das Erreichen der Ordnung, auf die die Industrie und ihre Unterstützer über Jahrzehnte hingearbeitet haben, die ihrem Aufbau zugrunde liegenden Koalitionen verschoben hat. Mein gegenüber gängigen Theorien industrieller Ordnung kritisches Argument ist, dass sie zu vorschnell von ihren Funktionen auf ihre Naturwüchsigkeit, Kohärenz und Stabilität geschlossen haben.

Materialistische Theorien selbstverstärkender Prozesse, die institutionalistische Wirtschaftssoziologie sowie die institutionalistische Politische Ökonomie basieren zu weiten Teilen auf allzu simplen statischen Modellen natürlicher Korrespondenz zwischen dem Handeln einzelner Akteure, politisch-ökonomischen Koalitionen, verschiedenen Ordnungsstrukturen und deren Effekten und methodologisch auf einem wissenschaftlichen Gestus, den Albert Hirschman (1970b: 335) mit Flaubert den *rage de vouloir conclure* nennt und den Crouch und Farrell (2005: 28) als *New Determinism* in der Politischen Ökonomie kritisieren. Dinge, die nicht ins Bild passen, werden als empirisches Rauschen abge-

tan, und von Tendenzen und den Folgen konflikthaft verlaufender Prozesse schließt man auf unweigerliche *outcomes*. Im Effekt reproduziert, systematisiert und erweitert die vorliegende Arbeit damit ein generelles sozialwissenschaftliches Argument im Zusammenhang industrieller Organisation. Die Strukturen von Organisationen, Industrien und Sektoren haben regelmäßig Patchworkcharakter, sind provisorische, in sich ideell, politisch und materiell konfliktträchtige und gewissermaßen unvollständig institutionalisierte soziale Zusammenhänge.¹⁰ Mit abnehmender Kohärenz und abnehmendem Gleichgewichtscharakter nehmen die Möglichkeiten zu, dass sich Strukturen über die Zeit unvorhergesehen wandeln, dass im Interesse relevanter Akteure funktionierende Strukturen erodieren oder sich gegen ihre Interessen wirkende Strukturen stabilisieren (systematisch mit Bezug zu Institutionen: Streeck/Thelen 2005).

Dem lässt sich ein methodologischer Punkt anschließen. Industrielle Organisation ist kein einfaches Stufenspiel, sondern ein über Jahre andauernder Prozess aus komplexen und unvorhersehbaren Rückkopplungseffekten, Reorganisationsversuchen angesichts veränderter Umweltbedingungen, multilateralen Manipulationsversuchen und nicht intendierten Nebenfolgen zielgerichteten Handelns, auf dessen Verlauf Akteure – mal mehr und mal weniger planvoll und mal mehr und mal weniger abgestimmt – reagieren, ihn wiederum zu beeinflussen versuchen. Daniel Bell (1990: 227) sieht das Problem jeder dynamischen Analyse sozialer Wirklichkeit darin, dass diese notorisch »zurückbellt und beißt«. Das bedeutet nicht, dass sie sich nicht theoretisch fassen lässt, sondern lediglich, dass die Entwicklung sozialer Zusammenhänge als Untersuchungsgegenstand bescheidenere Versuche nahelegt, kontextuell überformte Prozessmuster zu identifizieren, anstatt nach unweigerlichen Ergebnissen eines bestimmten Satzes an Bedingungen zu suchen (siehe dazu wesentlich genauer: Mayntz 2009: 20–25). Dementsprechend ist der Anspruch meines konzeptuellen Arguments weder der, ein allgemeines Gesetz der Entwicklung industrieller Organisation herauszustellen, noch meine ich, dass die von mir beschriebenen Episoden außergewöhnlich idiosynkratisch sind. Stattdessen geht es mir darum, den sozioökonomischen Diskurs zur Organisation von Industrien an entscheidender Stelle, nämlich bei der Frage nach der Entwicklung dieser Organisation, um bestimmte Prozessverläufe zu ergänzen und durchaus in anderen Feldern lokal und historisch überformt wiederzufindende Muster industrieller Entwicklung zu erhellen.

10 Was »vollständige Institutionalisierung« bedeuten müsste, erklärt Talcott Parsons ([1951] 1959: 36–43) in seinen sozialtheoretischen Arbeiten der frühen 1950er-Jahre.

1.4 Überblick der Kapitel

Die hier vorgelegte Fallstudie ist chronologisch entlang von zentralen Episoden der Entwicklung der Photovoltaik organisiert. *Kapitel 2* rekapituliert die Geschichte der industriellen Sonnenenergienutzung von der Mitte des 19. bis in die ersten Jahrzehnte des 20. Jahrhunderts und baut auf den exzellenten historischen Studien Gerhard Meners und John Perlins auf. Es legt drei Grundsteine für die folgende Argumentation. Erstens entstanden zentrale Motive für die Unterstützung der direkten Nutzung der Sonnenenergie schon im 19. Jahrhundert. Die frühe Entwicklung von Sonnenmotoren in Europa und den USA verband die Technologie mit einem Satz an Versprechen und Vorstellungen, der jeden folgenden Kommerzialisierungsanlauf prägen sollte. Mit dem Aufkommen der ersten Debatten um die Endlichkeit der Vorkommen fossiler Brennstoffe und im Gefolge der Technikeuphorie des späten 19. Jahrhunderts bot die direkte Sonnenenergienutzung Perspektive und Hoffnung auf Fortschritt. Zweitens deuten schon die frühen Versuche, Solartechnik zu kommerzialisieren, ein eigentümliches Dilemma der ausufernden Erwartungen an, die mit der Technik einhergingen. Während sie beharrlich Ingenieure, Unternehmer, Finanziere und die Öffentlichkeit für sich begeistern konnten, scheiterte jeder Vorstoß zur Kommerzialisierung der Sonnenmotoren im Stadium von Demonstrationsanlagen und Kleinserien. Das hatte auch damit zu tun, dass Erfinder, Investoren und Kommentatoren die jeweiligen Apparate an ihren Versprechen maßen – schon im Pilotstadium Signale suchten, dass Sonnenkraftwerke mit der Kohle- und später mit der Öl- und Gasverfeuerung konkurrieren konnten. Dies führte einerseits häufiger zu einem *overengineering* der ersten Demonstrationskraftwerke und andererseits zu einer ausbleibenden Demonstration der praktischen Nutzung der Technik. Drittens standen schon die frühen Erfinder der Sonnenmotoren vor einer bis in die Gegenwart wichtigen Hürde der Durchsetzung der Technik. Sie konkurrierten mit Alternativtechnologien in Energieversorgungssystemen, die von chronisch schwankenden Rohstoffmärkten und chronisch schwankenden Problemwahrnehmungen geprägt waren. Immer wieder führten Phasen der Entspannung in der Rohstoffversorgung, etwa gütlich beendete Streiks oder Verbesserungen in Transportsystemen, dazu, dass die Euphorie im Feld der Solartechnik so schnell verflog, wie sie zuvor entstanden war.

Kapitel 3 zeichnet die Geschichte der Photovoltaik von ihrer Entdeckung und erstmaligen Entwicklung bis in die 1970er-Jahre nach. Nach einer sehr kurzen Euphorie um ihre erstmalige Präsentation im Jahr 1954 geriet die Photovoltaik auf verschlungenen Wegen im Rahmen der amerikanischen Weltraumprogramme in jenen entwicklungsstaatlichen Komplex zwischen Forschungsinstitutionen, dem Militär und forschungsintensiven Kleinfirmen, für den die

USA seit dem Sputnik-Schock berühmt sind. Im Unterschied zu den frühen »Sonnenmotoren« und vielen anderen regenerativen Energietechnologien konnte die Photovoltaik als Halbleitertechnik mit Anbindung an die Weltraumprogramme viele talentierte Wissenschaftler und forschungsintensive Unternehmen für ihre Entwicklung mobilisieren. Zum einen trugen die Satellitenprogramme die Technik damit über die zwei Jahrzehnte der Atomeuphorie, die, wie Radkau (2008: 466) bemerkt, bis zu den Protestbewegungen und energiewirtschaftlichen Ernüchterungen der 1970er-Jahre den Stab der Hoffnungen auf unerschöpfliche Energiequellen vorübergehend von der Sonnenenergie übernommen hatte. Zum anderen zwangen die öffentlichen Programme der von ihnen abhängigen Industrie Entwicklungsschwerpunkte auf, die die Vision der Energieversorgung mit Photovoltaikanlagen über die Jahre eher ferner als näher wirken ließen.

Die 1970er-Jahre bedeuteten zumindest in der Energieforschung eine erste Hochkonjunktur für die Photovoltaik. Noch vor der ersten Ölkrise begannen in den USA Forschungsinstitute, Unternehmen und Energieversorger an einem fünfzehnjährigen Plan zu arbeiten, die Technik konzertiert zu industrialisieren. Mit der massiven Ausweitung öffentlicher Fördermittel für regenerative Energietechnologien in der Mehrfachkrise zwischen Antiatomprotest, Ölpreisstigerungen, Stagflation, neuer Gesellschaftskritik und wirtschaftlichem Strukturwandel kam der Photovoltaik ungekannte zivilgesellschaftliche, politische, industrielle und wissenschaftliche Unterstützung zu. *Kapitel 4* zeigt, wie durch verschiedene gesellschaftliche Einschnitte höchst heterogene gesellschaftliche Gruppen zur Unterstützung und Förderung der Photovoltaik gelangten und wie diese Koalitionen mit Beginn ernsthafter Förderung zerfaserten. Der amerikanische Förderanlauf der 1970er-Jahre verknüpfte die Photovoltaik mit einem bis in die Gegenwart wirksamen Patchwork aus Zukunftshoffnungen auf gesellschaftliche, industrielle und politische Erneuerung – er machte die Technik gewissermaßen zu einem *common carrier* (Pierson 2004: 109–110) für die verschiedensten Reforminteressen. Einen Anlauf zur Durchsetzung der Technik von den Ausmaßen der US-Programme der 1970er-Jahre hat es trotz weltweit erhöhter Fördermittel für die Energieforschung in keinem anderen Land gegeben. Auch Firmen und Forschungsinstitute in Deutschland und Japan arbeiteten seit den 1970er-Jahren im Rahmen neuer Energieforschungsinitiativen verstärkt an der Technik, wengleich nicht in demselben Ausmaß. Der Aufschwung der 1970er-Jahre hinterließ in allen drei Ländern »Überkapazitäten« an Firmen, Fertigkeiten, Institutionen und Fürsprechern für die über die 1980er-Jahre wieder in den Hintergrund tretende Zukunftstechnologie ohne Marktchancen.

Kapitel 5 rekonstruiert den Aufstieg der Industrie. Die technologiepolitischen Infrastrukturen, die Staaten seit den 1970er-Jahren aufgebaut hatten, waren nicht bloß direkt förderlich für die Industrie, als die Energieforschung in

den späten 1980er-Jahren wieder mehr Aufmerksamkeit erhielt. Ich zeige, wie in Deutschland, Japan und den USA konkurrierende Programme entstanden, um das, was von Industrie und öffentlicher Infrastruktur übrig war, koordiniert zur Industrialisierung der Technik zu bewegen. Der Anstoß zur erneuten Förderung der Industrie hatte mit Energiepolitik nicht immer viel zu tun, sondern entstammte einer Art technologiepolitischer Aufbruchsdynamik um den Aufbau einer Zukunftsindustrie. Diese Bewegung begann in den USA, setzte sich fort nach Japan und kam schließlich Mitte des Jahrzehnts in der Bundesrepublik an. Der Form nach reproduzierten alle drei Staaten das, was in den USA in den 1970er-Jahren gescheitert war: branchenübergreifend orchestrierte technologiepolitische Spezialisierungsverbände zur Hochskalierung der Fertigung. Zuerst in Japan und schließlich in Deutschland wurden diese neuen Initiativen von größeren Marktanreizprogrammen begleitet.

An genau dieser Stelle verbanden sich, wie *Kapitel 6* erörtert, energie- mit gesellschafts-, industrie- und regionalpolitischen Motiven, die über das folgende Jahrzehnt global zahllosen Förderprogrammen für die Technologie zugrunde liegen sollten. Vornehmlich am deutschen Fall zeigt das Kapitel, wie infolge des Regierungswechsels 1998 sämtliche in den 1970er-Jahren prominenten Motive in eine neue grüne Energie- und Industriepolitik einfließen und sich zum alten Leitbild eines grünen Erneuerungsprogramms verdichteten. Im Wechselspiel mit der neuen ökologischen Energiepolitik wurde die Photovoltaikförderung zu einer Art Leuchtturmprojekt für eine grüne Modernisierung von Volkswirtschaft, Kapitalstock und nationalem Wachstumsmodell einerseits und zu einer Andockstelle für zahlreiche materielle Interessen an der Förderung andererseits.

Kapitel 7 führt vor, wie aus dieser Euphorie in Deutschland eine eigentümliche Mehrfachkrise der Branche hervorgehen konnte. Es war zu einem wichtigen Teil die breite Diffusion von Fertigkeiten und die branchenweite Fokussierung auf die kollektive Weiterentwicklung der kristallinen Siliziumphotovoltaik, die über die Jahre zu einer wachsenden Bedeutung von Größenvorteilen und zu Preiskonkurrenz in der Photovoltaikproduktion geführt hat. Seit dem Jahr 2009 verlor die deutsche Fertigungsindustrie in Größenrennen gegenüber ihrer globalen Konkurrenz rasant an Boden. Gleichzeitig verkam das Fördersystem für regenerative Energien zur letzten Konsensformel zwischen verschiedenen regionalen Interessen, verschiedenen Segmenten der solaren Wertschöpfungskette und verschiedenen politischen Unterstützern der Industrie. In der sich seit 2010 verschärfenden Überkapazitätskrise nahm einerseits der Zufluss an Erzeugnissen aus der globalen Modulüberproduktion derart zu, dass zwischen 2009 und 2012 wiederholt erfolglose Vorstöße zur Eindämmung der Förderung unternommen wurden, mit entsprechenden Folgen auf Preise, öffentliche Kritik und die wirtschaftliche Situation der Fertigung in Deutschland. Andererseits

waren die Branche und ihre Unterstützungscoalitionen zu dem Zeitpunkt intern dermaßen zersplittert, dass außer dem Kampf gegen Förderkürzungen, die der Branche seit 2009 weder politisch noch wirtschaftlich halfen, nicht eine ernsthafte Initiative zur Rationalisierung und Restrukturierung der Industrie wie des energiepolitischen Großprojekts zustande kam.

Kapitel 8 schließlich arbeitet Verbindungen zwischen der Geschichte der Industrie und zwei breiteren Problemstellungen heraus. Der Fall der Entwicklung der Solarindustrie illustriert erstens in vielen Hinsichten die Grenzen voluntaristischer Industrieregulierung. Damit zeigt er die *pitfalls* staatlicher Förderpolitik auf, wenn diese nicht von regulatorischen Interventionen oder dem gezielten Aufbau regulatorischer Institutionen begleitet wird. Zweitens entstanden die Probleme der jeweiligen Förderanläufe nicht statisch. Sie deuten auf einen Typ dynamischer Ordnungsprobleme in Industrien und Förderinitiativen hin, für dessen Verständnis übliche Theorien industrieller Entwicklung zu starr und minimalistisch sind. Die Offenheit für die Analyse dynamischer Regelungsprobleme in Prozessen industrieller Entwicklung fand sich im oft vergessenen Forschungsprogramm der frühen Politischen Ökonomie und Wirtschaftssoziologie und ihren praktischen Plädoyers für *kontextuelle Generalisierungen*.

Kapitel 2

Die Entstehung der solaren Zukunftshoffnung

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts gaben Technologien zur direkten Nutzung der Sonnenenergie regelmäßig Anlass für überbordende Hoffnungen. Je nach Episode sollten baldige Kostensenkungen, Effizienzsprünge oder neuartige Materialien verschiedene Solartechniken zur Patentlösung eines ganzen Bündels jeweils drückender gesellschaftlicher Problemstellungen werden lassen. Das galt für die frühen Experimente mit Sonnenmotoren im 19. Jahrhundert ebenso wie für die frühe Geschichte der Photovoltaik seit den 1950er-Jahren. Bis in die späten 1990er-Jahre ebte jede euphorische Phase um die Sonnenenergie nach einigen Jahren ernüchternder Entwicklungsarbeit so schnell wieder ab, wie sie entstanden war. Die hier beschriebene Frühgeschichte der Nutzung der Sonnenenergie nimmt viele Aspekte späterer Bewegungen um die Technologie vorweg. In ihr vermischten sich kommerzielle Motive mit energiepolitischen und im weitesten Sinne ökologischen, in ihr entstanden Hoffnungen auf die Sonnenenergie als Energiequelle der Zukunft und in ihr finden sich die ersten Fälle genau jenes Typs kommerziellen Scheiterns im Stadium von Demonstrationsanlagen, das die Technologie in den vergangenen 150 Jahre geprägt hat.

Damit legt das Kapitel zwei Grundsteine für die folgende Argumentation. Erstens arbeitet es die Versprechen heraus, mit der die Sonnenenergienutzung bis in die Gegenwart Unterstützer mobilisiert. In frühen Episoden der Technologieentwicklung waren dies vor allem die Versprechen der praktischen Unererschöpflichkeit ihrer Nutzung, ihre Eigenschaft, mit kostenlosem »Brennstoff« zu arbeiten, und ihre technische Eleganz und Einfachheit. In späteren Episoden seit den 1970er-Jahren gesellten sich zu diesen Versprechen demokratietheoretische, ökologische, ethische, sicherheits- und industriepolitische Hoffnungen. Zweitens gibt die Frühgeschichte der industriegesellschaftlichen Sonnenenergienutzung einen ersten Eindruck der Zweischneidigkeit der großen Hoffnungen, die mit der Technologie einhergingen. Sie mobilisierten Unterstützer, eben auch in Zeiten, in denen technische, ökonomische oder politische Rückschläge die Entwicklung der Technologie ins Stocken brachten. Gleichzeitig aber wirkten die großen Pläne, die man mit der Technik hatte, in einer Weise auf die Struktur der Industrie, auf die Struktur von Unterstützungscoalitionen und auf industrielle

Entwicklungsansätze ein, die die breite terrestrische Nutzung der Sonnenenergie im Effekt gehindert, anstatt gefördert haben.

2.1 Sonnenmotoren und das Kohleproblem

Seit den 1950er-Jahren nähren sich die Hoffnungen auf die terrestrische Nutzung von Photovoltaikanlagen aus einer Art Hybrid zweier technischer Entwicklungslinien: der 1950 schon ungefähr einhundert Jahre währenden Entwicklung von Sonnenmotoren und der Halbleiterforschung, insbesondere der Forschung zum photovoltaischen Effekt in Halbmetallen. Sonnenenergie zur Energieversorgung moderner Industriegesellschaften einzusetzen ist eine recht alte technische Fantasie. Die Faszination der Perspektive, Sonnenenergie unmittelbar »zu ernten«, den zuerst als umständlich und später als gefährlich wahrgenommenen Umweg der Verbrennung fossiler Energieträger zu vermeiden, muss vor dem Hintergrund des theoretisch enormen Potenzials gesehen werden, das die Sonnenstrahlung Ingenieuren und Unternehmern versprach. In einer Beschreibung, die dem Ton nach ebenso gut die Schwärmerei gegenwärtiger Fürsprecher der Sonnenenergienutzung sein könnte, versuchte Archibald Williams seinem nicht technischen Publikum das praktisch unerschöpfliche Energiepotenzial, das die aufkommenden Sonnenmotoren einzufangen versuchten, bildlich nahezubringen:

Do many of us realise the enormous energy of a hot summer's day? The heat falling in the tropics on a single square foot of the earth's surface has been estimated as the equivalent of one-third of a horse-power. The force of Niagara itself would on this basis be matched by the sunshine streaming on to a square mile or so. A steamship might be propelled by the heat that scorches its decks.¹

Williams, typisch für einen Ingenieur des frühen 20. Jahrhunderts, nannte all die Energie, die die Sonne »kostenlos« auf die Erdoberfläche strahlt, »this huge waste power« und spekulierte überschwänglich, die Sonnenenergienutzung sei »so simple, so scientific, and so obvious, that it is easy to imagine it at no far distant date a dangerous rival to King Coal himself«.² Die Anziehungskraft der technischen Eleganz der Sonnenenergienutzung wird im Folgenden immer wieder vorkommen, im Fall der Photovoltaik, die Sonnenlicht unmittelbar in Elektrizität wandelt, noch wesentlich häufiger als im Fall der solarthermischen Kraftwerkstechnik der frühen Sonnenmotoren, die über den Umweg der Wärme Bewegungsenergie oder Strom erzeugten und deren Varianten Williams zu

1 Archibald Williams, 1910: *The Romance of Modern Invention*. Philadelphia: Lippincott, 209.

2 Ebd.: 212.

Beginn des 20. Jahrhunderts beobachtete. Nicht nur bewegten entwickelte Gesellschaften im Zuge ihrer zumeist kohle- und wasser- und später auch öl- und gasgestützten Elektrifizierung enorme Mengen an Arbeit, Infrastruktur und Ressourcen; die zunehmend geografisch zentrale Verbrennung fossiler Rohstoffe und die Wasserkraft schienen Beobachtern nüchtern technisch betrachtet als umständliche Umwege, um im Endeffekt doch die Strahlungsenergie der Sonne geografisch verteilt nutzbar zu machen.

Die frühen Sonnenkraftwerke waren verhältnismäßig große Apparaturen aus angewinkelt, konisch oder parabolisch angeordneten Spiegeln, angeschlossenen Absorbern, Kochern und Dampfmaschinen oder Heißluftmotoren. Über zumeist auf Silber oder Silberbeschichtungen basierende Spiegel konzentrierten sie die einfallende Sonnenstrahlung, erhitzten Wasser, alternative Flüssigkeiten oder Luft und trieben so Druckerpressen, Öfen oder Pumpen an. Hauptsächlich französische und US-amerikanische Erfinderunternehmer, deren Biografien sich ausnahmslos wie Beschreibungen jenes Typs von individuellen Unternehmerpersönlichkeiten lesen, denen Schumpeter ([1942]1994: 132–134) nachgetrauert hatte, begannen Mitte des 19. Jahrhunderts an solarthermischen Kraftwerken zu arbeiten, die die Versprechen der unerschöpflichen Energieversorgung durch die Sonne einlösen sollten. In Frankreich versuchte sich Augustin Mouchot, hauptberuflich Mathematiklehrer, spätestens seit 1860 an einer Serie von Apparaten, den ersten dokumentierten modernen thermischen Solaranlagen. Mouchot recherchierte eine Fülle historisch dokumentierter Nutzungsweisen der Sonnenenergie, von antiken Berichten über die Nutzung von Brennsiegeln über sonnenbetriebene Pumpensysteme in Ägypten bis zu den zahlreichen neuzeitlichen Experimenten mit »Hitzeboxen«.³ Die eigentliche Innovation, die Mouchot nach einer Reihe von Experimenten entwickelte, war eine Kombination von Spiegeln zur Bündelung des einfallenden Lichts und fortgeschrittener Kocher, die ihm erlaubte, seine Apparate verhältnismäßig klein zu halten. Auf dieser Basis entwarf er eine Serie an Demonstrationsanlagen, unter ihnen Destillationsanlagen, Öfen und Pumpen. 1866 stellte Mouchot eine erste zufriedenstellende sonnenbetriebene Dampfmaschine fertig; 1874 entwickelte er ein verbessertes Modell, das in seiner Heimatstadt Tours ausgestellt wurde und ihm breitere öffentliche Aufmerksamkeit einbrachte (Butti/Perlin 1980: 66–70). Weiterentwicklungen seiner Apparate sicherten Mouchot und seinem Assistenten Pifre, der sein Projekt in den 1880er-Jahren übernahm, in den 1870er-Jahren finanzielle Unterstützung von Mäzenen, der lokalen und der französischen

3 Siehe zu seinen historischen Studien und seinen technischen Erwägungen Mouchots spätere Zusammenfassung dieser Arbeiten: Augustin Mouchot, 1869: *La Chaleur Soleil et ses Applications Industrielles*. Paris: Gathier-Villars.

Zentralregierung, eine Auszeichnung auf der Pariser Weltausstellung 1878 und mehrere Expeditionen nach Algerien, um die Sonnenkraftwerke im Feld weiterzuentwickeln (Mener 2001: 40–43).

Einige Jahre nach Mouchots ersten Entwicklungen experimentierte in den USA ein wesentlich profilierterer Erfinder, John Ericsson, an ähnlichen Apparaten. Es ist bekannt, dass Ericsson von Mouchots Kraftwerkskonzepten wusste, auch, wenn er sie, nicht ganz uneigennützig, als »bloßes Spielzeug« abtat (Butti/Perlin 1980: 77).⁴ Anders als im Fall Mouchots – und erst recht Pifres, der sich relativ schnell und erfolglos um die Vermarktung der neuen Apparate sorgte –, fand Ericssons Entwicklungsarbeit verborgener statt. Seine ersten Apparate erzeugten zwar ein breites Presseecho um die 1870er-Jahre, die *Alta California* etwa fragte im Jahr 1869: »[After] this who shall say that ›bottled sunshine‹ is any longer a myth?«,⁵ und Ericsson bemühte sich um Demonstrationen vor mehreren europäischen akademischen Einrichtungen (ebd.: 77), öffentliche Demonstrations- und Anwendungsversuche verfolgte er allerdings weniger. Trotz mehrerer technischer Weiterentwicklungen, wie etwa des Einsatzes von silberbeschichtetem Glas und Versuchen der Kombination der Anlagen mit Druckluftmotoren statt mit Dampfmaschinen (ebd.: 78–80), starb Ericsson 1889, ohne seine Vision der Verbreitung der Nutzung der neuen Energiequelle in die Tat umgesetzt zu haben.

Beide Erfinder hinterließen eine Ingenieurszene in ihren jeweiligen Ländern (vgl. Mener 2001: Kap. 2.2.3); und, wesentlich wichtiger, prägten mit ihren Arbeiten spätere Ideen, wozu, wie und wo sich Sonnenkraftwerke einsetzen lassen könnten. Sie hinterließen gewissermaßen ein Bündel an Versprechen und Perspektiven, die die Arbeit an der Technologie rechtfertigten (zu derartigen Prozessen: van Lente 1993). Der Zeitpunkt der ersten Entwicklungen von Solarkollektoren war weder zufällig noch war er von bloßen technischen Entdeckungen bestimmt. In beiden Fällen konzentrierten sich Mobilisierungsbemühungen der Erfinder und Diskussionen in der Presse auf die zukünftige Nutzung der neuen Sonnenkraftwerke in der Erschließung und Entwicklung sonnenreicher Gegenden in den Peripherien der jeweiligen Staaten – in Frankreich in der Erschließung der afrikanischen und asiatischen Kolonien, in den USA der dünn besiedelten und trockenen Gebiete »jenseits der *Frontier*« (Kryza 2003: 186–188; Mener 2001: 48; Butti/Perlin 1980: 70–71, 77). Einerseits muss diese Fokussierung auf die Energieversorgung des Südens und des Westens vor dem Hintergrund gesehen werden, dass die Entwickler der ersten Sonnenkraftwerke nach dem

4 Siehe ausführlicher zur Kritik Ericssons an den Solarkraftwerken der Franzosen: John Ericsson, 1888: The Sun Motor. In: *Nature*, 2. August, 319–321.

5 Sunshine as a Motive Power. In: *Daily Alta California*, 26. Juli 1869, 21(7067), 1.

Ausbleiben gravierender kostentechnischer Durchbrüche nach Nischen suchten, in denen ihre Erfindungen intuitiv Unterstützung erfuhren. Andererseits behaupteten die frühen Sonnenkraftwerke in gewisser Hinsicht auf technizistischen Vorstellungen der Erschließung unterentwickelter Gebiete des späten 19. und frühen 20. Jahrhunderts (Mener 2001: 48).⁶

Daneben folgten die Sonnenkraftwerke einer internationalen Episode gesellschaftlicher Debatten um die zukünftige Kohleversorgung, die in Großbritannien ihren Ausgang hatte. Mehrere wissenschaftliche Publikationen begannen Mitte des 19. Jahrhunderts, die Erschöpflichkeit der britischen Kohlevorräte zu problematisieren. Im Zentrum dieser Bewegung stand die international viel beachtete erste Monografie von Stanley Jevons, *The Coal Question*. Jevons versuchte einerseits, die Verbindung zwischen der Stärke der britischen Industrie und der britischen Kohleversorgung herauszuarbeiten. Andererseits zeigte er, wie Effizienzgewinne in der industriellen Produktion die Ausbeutung der natürlich fixen britischen Kohlevorräte nicht senkte, sondern im Gegenteil stetig steigerte.⁷ Und obwohl Jevons durchaus vorsichtig optimistisch klang, man könne mit *peak coal* schon irgendwie fertig werden – zumindest gab er sich Mühe, keine klare Untergangsprognose zu schreiben –, erhob er die gesellschaftliche Auseinandersetzung mit der *Kohlefrage* in einer Weise zum politischen Problem, die weitgehend identisch mit dem Grundtenor der späteren Ressourcendebatten der 1970er-Jahre war:

Are we wise in allowing the commerce of this country to rise beyond the point at which we can long [sic] maintain it? [...] [T]o disperse so lavishly the cream of our mineral wealth is to be spendthrifts of our capital – to part with that which will never come back. [...] To allow commerce to proceed until the source of civilization is weakened and overturned is like killing the goose to get the golden egg.⁸

6 Ein gutes Beispiel für die sofortige Verknüpfung der frühen Solarkraftwerke mit der zivilisatorischen Erschließung der südlichen Wildnis ist die Illustration, die im *Scientific American* zu Ericssons Solarmotoren abgedruckt wurde. Sie zeigt Ericssons Erfindung, seine Apparate standen durchweg in den USA, in einem mit Palmen bewaldeten Gebiet neben einem leicht bekleideten, offensichtlich afrikanischen »Eingeborenen«. Siehe Ericsson's Sun Motor. In: *Scientific American*, 17. Mai 1884, 310.

7 W. Stanley Jevons, 1865: *The Coal Question. An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal-Mines*. London: MacMillan, 102–105, 115–116.

8 Ebd.: 344–345. Jevons zeigte sich, das muss hinzugefügt werden, was konkrete regulatorische Abhilfen angeht, etwas ratlos. Vor allem schien jede politische Maßnahme, die ihm einfallen wollte, gegen die Prinzipien des *industrial freedom* zu verstoßen. Die wesentliche Linderung, die er guten Gewissens anbieten wollte, war die umgehende Rückzahlung der britischen Staatsschulden, um den nächsten Generationen nicht steigende Kohlepreise und Staatsschulden zu hinterlassen (siehe ebd.: Kap. 16).

Nach einem Lobgesang auf die zivilisatorischen Verdienste der globalen Hegemonie des Britischen Empires schloss Jevons sein Buch mit einem für den ökologischen Diskurs der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts typischen Hinweis auf Konflikte zwischen gesellschaftlichen Wachstumskräften und ihren natürlichen Grenzen: »[T]he maintenance of such a position is physically impossible. We have to make the momentous choice between brief greatness and longer continued mediocrity.« Die Debatten um das Kohleproblem und damit verbunden das Aufkommen der Frage nach den Wirkungen der Endlichkeit jener natürlichen Ressourcen, die die Industrialisierung möglich machten, spielte regelmäßig in die politische, wirtschaftliche und wissenschaftliche Bewertung des Sinns der aufkommenden Solarkraftwerke (Mener 2001: 28–32; siehe spezifisch zu Mouchot und der französischen Sorge, Jahrzehnte nach den Napoleonischen Kriegen in der Staatenkonkurrenz mit Preußen und Großbritannien ressourcentechnisch zurückzufallen, Kryza 2003: 151–152; zu Ericsson: Church 1907: 267).⁹ Die Mehrzahl der Diskussionen und Vermarktungsversuche der frühen Solarkraftwerke Ende des 19. Jahrhunderts behandelte die Sonnenenergie im Kontext der Debatte um die Endlichkeit der Kohlevorräte; sie gaben dem technischen Feld eine Reihe legitimierender Sprachfiguren und Diskursversatzstücke; Ericsson etwa warb in Schweden für seine Erfindung:

I cannot omit advertng to the insignificance of the dynamic energy which the entire exhaustion of our coal fields would produce, compared with the incalculable amount of force at our command, if we avail ourselves of the concentrated heat of the solar rays. [...] [T]he skillfull engineer knows many ways of laying up a supply when the sky is clear and that great storehouse is opened where the fuel may be obtained free of cost and transportation.¹⁰

Zu guten Teilen war es der kombinierte Einfluss der Debatten um die Endlichkeit natürlicher Ressourcen und der Kolonial- und Pionierbewegungen, der die frühen Solarkraftwerke getragen hat.

9 Vgl. unter vielen öffentlichen Hoffnungsbekundungen dieser Zeit, die Solartechnik würde den industrialisierten Gesellschaften dann zur Hilfe kommen, wenn das Kohleproblem akut werden sollte, Samuel P. Langley, 1879: The Recent Progress of Solar Physics. In: *Popular Science Monthly* 16(1), 1–11; The Coal Problem and Solar Engines. In: *New York Times*, 10. September 1868; When the Coal Is All Gone. In: *Boston Globe*, 12. Juli 1888, 4.

10 The Solar Engine. Translation of Ericsson's communication to the University of Lund. In: *New York Times*, 6. Oktober 1868.

2.2 Solarunternehmer und das Problem gesellschaftlicher Mobilisierung

Mouchots und Ericssons Nachfolger Ende des 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts waren unternehmerisch wesentlich umtriebiger. Butti und Perlin (1980: 81) zählen in der Zeit um die Jahrhundertwende 22 zugelassene, wenn auch häufig praktisch fragliche, Patente für Solaranlagen in den USA. Die wichtigsten Figuren der Solarkraftwerksbranche um die Jahrhundertwende gründeten Firmen, mobilisierten die Presse und teilweise die öffentliche Hand und konzentrierten sich auf die öffentlichkeitswirksame Demonstration ihrer Apparate. Sowohl in der europäischen Kolonialszene wie in den USA haben Historiker eine Vielzahl von Anschlussversuchen an Mouchot und Ericsson dokumentiert. Bedeutende Unternehmer in Europa waren der Franzose Tellier und der Brite Adams in der Kolonialszene; in den USA gingen ernsthafte Kommerzialisierungsversuche von den Unternehmern Willisie und Boyle und von dem mit Westinghouse kooperierenden Ingenieur McHenry aus (Butti/Perlin 1980: 91–99; Mener 2001: 49–55). Taktisch bemerkenswerte Kommerzialisierungsversuche im moderaten Aufschwung der Sonnenmotorenbranche um die Jahrhundertwende gehen auf zwei amerikanische Erfinderunternehmer zurück, Aubrey Eneas und Frank Shuman. Ein früher Ausspruch Shumans fasst die Problemwahrnehmung dieser Akteure recht pointiert zusammen. Woran es der Sonnenenergie fehle, sei vor allem die gesellschaftliche Mobilisierung um die Idee:

You will at once admit that any businessman approached several years ago with a view of purchasing stock in a flying machine company would have feared the sanity of the proposer. After it has been shown conclusively that it can be done, there is now no difficulty in securing all the money which is wanted, and very rapid progress in aviation is from now on insured. We will have to go through this same course. (Shuman, zitiert in Butti/Perlin 1980: 101; siehe auch, mit leichten Abweichungen, Kryza 2003: 2–3)

Eneas und Shuman gingen verschiedene, aber jeweils begrenzt erfolgreiche Wege, ihrer Gesellschaft das Misstrauen in ihre Solaranlagen auszutreiben. Eneas arbeitete seit den frühen 1890er-Jahren an größeren Anlagen, die an Ericssons frühe Apparate erinnern. Im Unterschied zu Ericsson ordnete er die Spiegel seiner Kraftwerke nach einigen Versuchen, wie zuvor Mouchot, konisch an, um mehr Hitze auf den Kocher zu konzentrieren (Mener 2001: 48). Zusätzlich entwickelte er Vorrichtungen, die die Kollektoren über den Tag der Sonnenstrahlung nach wenden konnten (Butti/Perlin 1980: 81–84; Kryza 2003: 216–219). Im zweiten Anlauf und nach einer Serie kleinteiliger Komponentenversuche entwickelte er 1899 die Konstruktion, mit der er sich der Öffentlichkeit stellen wollte. Er gründete eine neue Firma, die Solar Motor Company of Boston, mit der Hilfe lokaler Investoren, meldete ein Patent auf seinen neuesten Entwurf an

und transportierte seinen Prototypen nach Denver, um Messwerte in einem sonnenreicheren Gebiet als Neuengland zu sammeln (Butti/Perlin 1980: 83–84). Eneas – und das macht seine Geschichte so relevant für die Geschichte der Sonnenenergienutzung – schaffte es in der Folge, seinen Sonnenmotor auf einer um die Jahrhundertwende zur Touristenattraktion gewordenen Straußenfarm in der Nähe von Pasadena, Kalifornien, zu installieren.¹¹ Eneas' großer und futuristisch wirkender Sonnenkollektor, von Cawston, dem Betreiber der Straußenfarm, zur Bewässerung und Begrünung genutzt und öffentlich zugänglich ausgestellt, entwickelte sich zu einem Publikumsmagneten und zog Aufmerksamkeit aus dem ganzen Land auf sich (Butti/Perlin 1980: 84–88; Kryza 2003: 220–221). Holder brachte die Hoffnungen zur technischen Erschließung des Südwestens, die die Anlage in Pasadena in Teilen der Öffentlichkeit auslöste, in einem Bericht für den *Scientific American* auf den Punkt:

No invention of modern times has given such an impetus to the development of arid lands as the solar motor [...]. The development of Lower California has been seriously impeded by the lack of fuel; the country being dry and barren in localities where rich mines are known to exist. The country is cloudless for months – in every sense the land for the solar motor, as water underlies the surface almost everywhere, and when pumped up and sent out upon the soil the region, which was formerly a desert, can be made fertile and literally to blossom as the rose.¹²

In kommerzieller Hinsicht war Eneas' Solar Motor Company weniger erfolgreich. Eneas verkaufte zwei seiner Kraftwerke an Farmer in Arizona, eines nach Kalifornien und eines an die ägyptische Regierung. Aufträge für zwei weitere Anlagen aus Südafrika konnte er nicht mehr ausführen. Sein Unternehmen hatte bis in das Jahr 1905 um die 125.000 Dollar Verluste eingefahren (wobei ihm seine abgesetzten Kraftwerke jeweils um die 2.500 Dollar, den Wert eines privilegierten Jahreseinkommens, eingebracht hatten) und seine Investoren entzogen ihm schließlich das Vertrauen (Kryza 2003: 226). Beide nach Arizona verkaufte Anlagen waren öffentlichkeitswirksam in Stürmen umgefallen. Zusätzlich häuften sich gegen Ende des Jahrzehnts Fälle von Schneeballsystemen und Aktienbetrügereien um neu gegründete vorgebliche Solarmotorenhersteller: »Frauds, failures, and eccentrics had given sun power a bad name. For instance, one priest proclaimed that his solar machine proved the truth of Genesis and that its use would serve as the cornerstone of a new social order!«, fassen Butti und Perlin (1980: 95) das Abebben der Dynamik zusammen (siehe auch Kryza 2003: 232).

11 Eine zeitgenössische Beschreibung der Straußenfarm in Pasadena und ihrem Attraktionswert für wohlhabende Touristen findet sich bei Charles F. Holder, 1899: The Bird Giants. In: *Scientific American*, 3. Juni, 364–365.

12 Charles F. Holder, 1901: Solar Motors. In: *Scientific American*, 16. März, 169–170, hier: 170. Ebenfalls zitiert in Mener (2001: 49).

Frank Shuman, ein zweiter wichtiger Unternehmer dieser Zeit, hatte wie Eneas während der Entwicklung seiner ersten Prototypen den amerikanischen Südwesten als Einsatzgebiet seiner Motoren im Auge (Mener 2001: 56–57). Zusätzlich wurde er nicht müde, in Berichten und Broschüren zu seinen Anlagen die Tropen als optimales Einsatzgebiet anzupreisen. Shuman war in seinen späten Zwanzigern mit mehreren Erfindungen, insbesondere einigen Spezialgläsern, zu Wohlstand gekommen und gründete seine erste Firma zur Vermarktung von Solarmotoren 1907, nachdem er einen ersten zufriedenstellenden Prototypen fertiggestellt hatte (ebd.: 56).¹³ Anders als Eneas versuchte sich Shuman an einfacheren, in die Fläche gebauten Konstruktionen.¹⁴ Ein Grund für diesen technischen Pfad scheint Shumans Weg zur Sonnenenergie zu sein. Er wusste mit Glas umzugehen und stieß auf der Suche nach innovativen Einsatzmöglichkeiten – wie seine Vorgänger in den USA und in Europa – auf die lange Geschichte der Versuche, mit »Hitzeboxen« jene Eigenschaften von mit Glas abgeschlossenen Räumen zum Sammeln von Sonnenenergie zu nutzen, auf denen Gewächshäuser basieren (Butti/Perlin 1980: 101; Kryza 2003: 8–10). Shuman experimentierte mit verschiedenen Flüssigkeiten, verschiedenen von ihm selbst konstruierten Motoren und mit diversen Kollektorformen. Wie seine Vorgänger experimentierte er mit Kombinationen dieser Komponenten, die einen hohen Wirkungsgrad bei geringen Herstellungskosten der Anlagen ermöglichten. Bei niedrigeren Temperaturen verdampfende Flüssigkeiten produzierten weniger Abwärme mit nicht allzu teuren Dämmvorrichtungen. Solche Flüssigkeiten (Shuman experimentierte vor allem mit Äther) bedeuteten allerdings Abstriche bei der Leistungsfähigkeit der angeschlossenen Motoren. Die Nutzung von Spiegeln oder Linsen erhöhte zwar die Leistungsfähigkeit der Anlagen, bedeutete aber auch höhere Material-, Herstellungs- und Wartungskosten. In die Höhe gebaute konische Konstruktionen erlaubten Eneas, seine relativ leistungsfähigen Anlagen semiautomatisch dem Sonnenstand nachzuführen, machten sie jedoch zugleich anfällig für Sturmschäden und erschwerten die Wartung usw.¹⁵ Insgesamt fielen Shumans Antworten auf diese verschiedenen technischen Abwägungen im Vergleich zu früheren Erfindern wesentlich stärker in Richtung kostengünstiger Produktion, niedriger Wartungskosten und der einfachen Konstruktion der Anlagen aus. Nach der Fertigstellung seines ersten zufriedenstellenden Entwurfs

13 Siehe auch Shumans frühe Werbebroschüre für Investoren: Frank Shuman, 1907: *The Direct Acting Solar Engine. The Prime Mover of the Immediate Future*. Werbepamphlet. Philadelphia, PA.

14 Vgl. zur Vorgeschichte einfacherer flacher Kollektorsysteme in den USA: Mener (2001: 49).

15 Shuman reflektiert die verschiedenen Abwägungen und Probleme auf dem Weg zu einem praktikablen Sonnenmotor in einem Artikel für den *Scientific American*; siehe Frank Shuman, 1911: Power from Sunshine. A Pioneer Solar Plant. In: *Scientific American*, 30. September, 291–292.

machte sich Shuman im Jahr 1907 rasch an die Öffentlichkeitsarbeit. An einen seiner Finanziers berichtete er:

We have the Sun Engine in good running condition now. I am about ready now to give a public demonstration of this, and want to get some newspaper reporters present so it may get into the Sunday issues. This is certainly worthy of all interest as it is the start of a new era in mechanics; and for our purpose, we want to make as much publicity of it as we possibly can [...], I want a big splurge. (Brief von Frank Shuman an Thomas South, Philadelphia, 13. August 1907, zitiert in Kryza 2003: 10)

Shumans Plan, die Presse für seine Investorensuche zu mobilisieren, ging vollständig auf. Über Jahre galt seine Anlage nahe Philadelphia als Attraktion, mehrere überregionale Zeitungen berichteten über seine Entwicklung,¹⁶ Gutachten von Experten fielen verhalten positiv aus und er fertigte mehrere zumindest vorsichtig optimistisch stimmende Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an.¹⁷ Und dennoch gestaltete sich die Suche nach amerikanischen Investoren schwerer als gedacht. Shuman suchte den Erfolg nach 1910 vornehmlich in Europa und seinen Kolonien. Shumans frühe Probleme, sein Geschäft in den USA zu verankern, gehören zu den weniger untersuchten Aspekten seiner Unternehmungen. Kryza erklärt sich Shumans Probleme damit, dass genau die Investoren, mit denen er über Jahre gearbeitet hatte, zu den möglichen Geschäftsfeldern für seine Solarmotoren überhaupt keine Beziehung hatten. Sie sahen keine realistischen Profitmöglichkeiten in Shumans Erfindungen; sie erschienen ihnen gewissermaßen zu entfernt:

Solar power would have to be sold as a business proposition that could make money immediately, [Shuman] knew, or it would go nowhere. [...] Before leaving Philadelphia, he had gone back to the financial oasis that had funded all his earlier ventures – the »big-money« men of Philadelphia [...]. [...] Shuman's arguments fell on deaf ears. [...] He needed support from people who were not heavily invested in coal and, preferably, who already had large land holdings in the tropics, where solar machines could make a difference to the bottom line right away. (ebd. 26–27; Hervorh. entfernt)

Shuman fand genau jene Klasse von Unterstützern in Europa, vor allem in den Kolonialszenen Deutschlands und Großbritanniens. Eine weitere Erklärung für Shumans Weg nach Europa, die Kryza (ebd.: 189–192) am Rande aufgreift, ist, dass in Europa Staatenkonkurrenz, nicht zuletzt im Hinblick auf die wirtschaftliche Erschließung des Nahen Ostens und Afrikas, herrschte. Die Solarmotoren

16 Siehe etwa: A New Solar Power Plant. In: *Washington Post*, 16. Februar 1908, M3; Harnesses Sun to Engine. In: *Chicago Daily Tribune*, 26. August 1907, 1; Power from Sun's Rays. In: *New York Times*, 14. September 1907; Method to Harness Sun Is Found. In: *New York Times*, 3. Dezember 1911.

17 Siehe etwa Frank Shuman, 1911: The Cost of Power from the Sun and from Coal. A Comparative Estimate. In: *Scientific American*, 2. Dezember, 359.

– vor dem Ersten Weltkrieg noch durchaus häufiger als Energiequelle der nahen Zukunft angesehen – versprachen verschiedenste Potenziale auf diesem Weg, von moderaten Ideen der Unterstützung der Landwirtschaft in den Kolonien bis zu den immer wieder auftauchenden technizistischen Utopien um eine groß angelegte Begrünung der Wüsten.¹⁸ Zusätzlich versprach die Energieversorgung der Peripherien über Sonnenenergie die Kohle- und Ölversorgung in den Zentren der jeweiligen Großmächte zu entlasten. Wie unten für den Fall der Photovoltaik in den 1990er-Jahren gezeigt wird, kann die Konkurrenz zwischen Firmen oder Staaten Technologien mit unsicheren Potenzialen insoweit den Weg ebnen, als sie die technische Entwicklung von der Arbeit an hinreichend funktionsfähigen Prototypen, von der Laborarbeit, zu Fragen relativer Entwicklungsvorteile verschiebt, ein *investment race* lostritt.

Shuman gewann die Unterstützung britischer Investoren und Planer und einiger höherer Kolonialbeamter in Nord- und Ostafrika zum Bau einer größeren Demonstrationsanlage zur Bewässerung in der Nähe Kairos (Butti/Perlin 1980: 104; Kryza 2003: 87–89, 179, 187–189; Mener 2001: 56–57). Shumans erste Kalkulationen ließen ihn auf den Bau einer ungefähr 1,3 Hektar großen und möglichst simplen Anlage hoffen, die einen 750 kW starken Motor antreiben sollte und für die er 40.000 US-Dollar Installationskosten veranschlagte (Kryza 2003: 143). Die Hoffnungen, eine möglichst simple, aber große Anlage zu bauen, wurden in der Folge teilweise zerschlagen. Shumans Investoren hatten den britischen Physiker Boys als Berater hinzugezogen; dieser brachte eine Reihe von Vorschlägen ein, wie sich die Anlage technisch effizienter und ausgefeilter bauen ließ. Statt Shumans flacher Bauart schlug Boys – wie Ericsson vor ihm – parabolische Rinnen von Spiegeln vor, in deren Mitte die Kocher verliefen.¹⁹ Wenn auch wesentlich effizienter und technisch raffinierter, blieb die Leistungsfähigkeit des Kraftwerks weit unter den ursprünglich von Shuman anvisierten Werten. Die Anlage wurde tendenziell zu einer Demonstration der technischen Konstruktion, anstatt der Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit der Sonnenenergienutzung. Nach mehrmonatigen Konstruktionsarbeiten und der Überwindung einer Reihe mit der neuen Konstruktion auftauchender technischer Probleme betrieb das im Jahr 1913 fertiggestellte Kraftwerk in Meadi eine 63 kW starke Dampfmaschine, hatte aber nur ungefähr 9 Prozent der Leis-

18 Siehe zu Shumans eigenen Gedankenspielen mit derartigen Utopien: May Harness the Great Desert. In: *Washington Post*, 22. März 1914, C1; Frank Shuman, 1914: Letter to the Editor, Feasibility of Utilizing Power from the Sun. In: *Scientific American*, 28. Februar, 179.

19 Die Konstruktion der Anlage ist in Shumans und Boys' Patent ihres Kraftwerks beschrieben; siehe Frank Shuman/Charles V. Boys, [1912]1917: »Sun-Boiler«. US Patent 1.240.890.

tion von Shumans ursprünglichem Entwurf.²⁰ Dennoch schaffte Shuman es wiederum, breite öffentliche Aufmerksamkeit um die Inbetriebnahme seiner Anlage anzustoßen.²¹ Shumans Unterstützer in der britischen Verwaltung zeigten sich mit dem Demonstrationskraftwerk durchaus zufrieden und arbeiteten in der Folge kurzzeitig an Plänen, weitere Bewässerungsanlagen zu fördern, insbesondere für den wirtschaftlich brachliegenden Sudan (Butti/Perlin 1980: 109; Kryza 2003: 195–202). Auch im Deutschen Reich schien Shuman mit seinem Kraftwerk in Ägypten Aufsehen erregt zu haben. Im Jahr 1913 sprach er nach eigenen Angaben vor dem Deutschen Reichstag und erhielt in der Folge ein Angebot, mit 200.000 Reichsmark Förderung ein Kraftwerk in »German East Africa« zu errichten.²² Die Pläne Shumans, sein Geschäft über den Umweg in den Tropen aufzubauen, schienen in Kolonialeuropa aufgegangen zu sein. 1912 berichtete er an die Leser des *Scientific American* überschwänglich:

For the next ten years or so we expect to confine ourselves to irrigation in those regions of the tropics where coal is \$15 per ton and above, and where we can count on at least 90 per cent of sunshine during the days of the year, and there we *know* our present sun-power plants will effect great savings. This field alone is large enough to give us all the work we shall be able to handle for some ten years to come.²³

Zur Umsetzung dieser Pläne in den europäischen Kolonien ist es nie gekommen. Während Shuman nach Philadelphia gereist war, brach im Jahr 1914 in Europa

-
- 20 Von der tatsächlichen erreichten Leistung der Meadi Anlage, die etwas niedriger war, berichtet Shumans Partner Ackermann; siehe Alfred S. E. Ackermann, 1915: *The Utilization of Solar Energy*. In: *Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution*. Washington, DC: Smithsonian Institution, 141–166, 165.
- 21 Siehe: *American Inventor Uses Egypt's Sun for Power*. In: *New York Times*, 2. Juli 1916; Joseph A. Callanan, [1975]1980: *The Great Sun Mashine*. In: *The Steam Automobile* 22(1), 24–29; *Sun Pumps Water*. In: *Washington Post*, 10. August 1913, MS1.
- 22 In der historischen Literatur herrscht einige Verwirrung um diesen Vorgang. Bekannt geworden ist er vor allem durch die Darstellung in Butti und Perlins Buch (1980: 109–110). Kryza (2003: 192) spricht von 200.000 US-Dollar und wie Butti und Perlin von »German Southwest Africa«, was sich in keiner anderen Quelle belegt findet. In den Protokollen des Reichstags der Jahre 1913 sowie 1914 findet sich kein Hinweis auf eine Anhörung Shumans, was Mener (2001: 78–79, Fn. 179) dazu bringt, Shumans Kontakt zur deutschen Politik als Gerücht abzutun. Es stamme wohl daher, dass Butti und Perlin für ihr Buch auf Beschreibungen von Shumans Nachkommen zurückgegriffen hätten. Kryza (2003: 192–194) nennt wesentlich mehr Details zu Shumans Besuch im Deutschen Reich, verzichtet allerdings völlig auf Quellenangaben. Butti und Perlins Darstellung (inklusive der Behauptung, Shuman sei »der einzige Erfinder, der je vor einem wichtigen Parlament sprechen durfte«) stammt, das übergeht Mener, fast wörtlich aus Stellungnahmen zu Shumans Lebzeiten, die die *New York Times* nach Kriegsbeginn im Jahr 1916 abdruckte. Siehe: *American Inventor Uses Egypt's Sun for Power*. In: *New York Times*, 2. Juli 1916.
- 23 Frank Shuman, 1914: *Letter to the Editor, Sun-Power Plants Not Visionary*. In: *Scientific American*, 27. Juni, 519.

der Erste Weltkrieg aus. Wichtige Unterstützer Shumans wurden im Krieg aus der ägyptischen Kolonialverwaltung abgezogen. Die Energie- und Technologiepolitik der Großmächte wurde auf die Kriegsproduktion ausgerichtet. Und mittelfristig angelegte wirtschaftliche Aufbauprogramme für die Kolonien wurden auf Eis gelegt. Der Erste Weltkrieg markiert in gewisser Hinsicht ein Ende des Glaubens an die Problemlösungspotenziale technischen Fortschritts, der das späte 19. Jahrhundert geprägt hatte (Kryza 2003: 252–254). Noch während des Krieges, und umso mehr danach, verschob sich die Energiepolitik international auf die Sicherung der Ölversorgung und man entdeckte gewaltige Gas- und Ölreserven in genau jenen heißen, trockenen und abgelegenen Regionen, die Shuman als Zukunftsmärkte anvisiert hatte (Butti/Perlin 1980: 111; Yergin 1991: Kap. 9 und 10). Shumans Bemühungen und Pläne fielen in beinahe jeder Hinsicht aus der Zeit. Dazu kam, wie Mener (2001: 71–72, 78–80, insbesondere Fn. 179) historisch herausgearbeitet hat, dass Shumans Demonstrationsprojekte durchaus kritisiert wurden und er in Meadi beständig mit technischen Problemen zu kämpfen hatte. In der britischen Verwaltung zweifelte man seine Kostenkalkulationen an und auch in der Fachpresse und unter Ingenieuren stießen seine Zukunftsversprechen auf Zweifel. In einem Kommentar zu den ersten Daten von Shumans Kraftwerk in Ägypten resümierte der *Scientific American* ernüchternd:

[R]esults show how little promise there is of obtaining mechanical energy from the sunshine on a commercially economical scale. Such plants as these at Philadelphia and in Egypt suffer, in an exaggerated form, from the drawbacks attaching to wind power, namely, the great area occupied, the costly cumbersomeness of the plant, and the great variability in the rate of power production.²⁴

Darüber hinaus, und hierfür waren vor allem Boys sowie Shumans Partner und Investoren verantwortlich, schien die Leistung der Anlage verhältnismäßig niedrig zu sein. Absolut konnten die Messwerte nicht überzeugen.

Eine Aufbruchstimmung in Bezug auf die Sonnenenergienutzung, wie sie um die Jahrhundertwende in den USA geherrscht hatte, hat es bis in die 1950er-Jahre, ja vielleicht bis in die 1970er-Jahre, nicht wieder gegeben. In den südlichen US-Bundesstaaten entstand zwar ab dem späten 19. Jahrhundert ein Markt für simple Sonnenkollektoren zur Warmwasserbereitung, der sich in Teilen – nach einigen oft exogen bedingten Krisen – bis in die 1940er-Jahre hielt (Butti/Perlin 1980: Kap. 10–12; Mener 2001: 79–87). Allerdings ging auch dieser schließlich an der Elektrifizierung und an der Expansion von Erdgasanbietern zugrunde. In der Zeit der Weimarer Republik und zu Beginn der nationalsozialistischen

24 Energy from the Sun. In: *Scientific American*, 23. Mai 1914, 424; ebenfalls zitiert in Mener (2001: 75), der auch die folgende Debatte um die Korrektheit der Angaben diskutiert.

Herrschaft wurden auch in Deutschland einige Versuche in Forschungsinstituten und Forschungsabteilungen von Unternehmen unternommen, mit Anlagen zur Nutzbarmachung der Sonnenenergie zu experimentieren (Mener 2001: 87–102). Diese Bemühungen scheiterten jedoch entweder an Ernüchterungen in der Laborentwicklung oder am Misstrauen, das die ehemalige »Kolonialtechnik« (ebd.: 110) im Vergleich zu etablierten Technologien zur Energieversorgung nördlich gelegener entwickelter Staaten auslöste.

Anhand der Geschichte der frühen Sonnenmotoren lassen sich ansatzweise zwei Punkte verdeutlichen, die sich in der späteren Geschichte der Photovoltaik immer wieder finden. Die frühen Erfinder von Solarmotoren gaben sich viel Mühe, die ausbleibenden Erfolge ihrer Vorgänger mit der Arbeit an Prototypen wettzumachen, sie suchten nach technischen Durchbrüchen. Sie vergrößerten, verkleinerten oder ersetzten bestimmte Teile der Anlagen, entwickelten neue Komponenten, ordneten altbekannte Komponenten anders an usw. Das lag nicht daran, dass die frühen Solarunternehmer reine Tüftler waren, es ihnen am Sinn für kommerzielle Logiken fehlte – oft ganz im Gegenteil. Mit der Ausnahme Mouchots waren sie wie viele Erfinderunternehmer des 19. Jahrhunderts damit erfolgreich, bestehende wissenschaftliche oder technische Erkenntnisse neuen Nutzungen zuzuführen und zu rekombinieren – nicht damit, diese Erkenntnisse hervorzubringen. Und dennoch experimentierten sie über Jahre mit ihren jeweiligen Anlagen, bis sie hinreichende technische Entwicklungspotenziale sahen, dass sich ihre Entwürfe vage erwartbar mit bestimmten Nutzungsarten alternativer Technologien zur Energieerzeugung würden messen lassen. Shumans frühes Vorgehen ist ein gutes Gegenbeispiel zu diesen Entwicklungsansätzen. Zwar finden sich in der historischen Literatur zu seiner Entwicklungsarbeit keine Hinweise, dass er inkrementellen Lernprozessen in der Fertigung eine übermäßig herausgehobene Bedeutung zugemessen hätte, und seine Ingenieursarbeiten waren nicht unbedingt viel weniger weitreichend als die seiner Vorgänger. Er arbeitete jedoch anfänglich an einer, vom reinen Blickwinkel ihrer technischen Effektivität und Eleganz her betrachtet geradezu simplizistischen Anlage. Selbst auf Spiegel zur Konzentration der Sonnenstrahlen und auf die vorher von ihm selbst angedachte Doppelverglasung der Hitzekisten wollte er zugunsten der Einfachheit der Anlage verzichten. Shumans frühe Pläne für einen ägyptischen 1.000-PS-Motor sind nie Realität geworden. Zusammen mit seinem Entwurf verfiel aber auch sein Plan, in Ägypten den tatsächlichen Nutzen der Sonnenenergie zu demonstrieren, anstatt eines weiteren – wenn auch letztlich recht fortschrittlichen – technischen Entwurfs.

Entwicklungspfade von Technologien werden von einer Serie von Bedingungen überformt, und Vergleiche müssen – insbesondere nach derart kursorischen Übersichten wie der hier vorgelegten – mit entsprechender Vorsicht angestellt

werden. Dennoch zwei kurze Beispiele für anwendungsbasierte inkrementelle Pfade der Einführung von Technologien zur Nutzung der Sonnenenergie: Teilweise schaffte Eneas – vor den Sturmschäden an seinen Anlagen und den Finanzierungsproblemen seines Unternehmens –, was Shuman verwehrt blieb, nämlich mit der Hilfe von Farmern in Arizona den praktischen Wert seiner Erfindung im Feld zu demonstrieren. Analog zeigen Butti und Perlin sowie Mener für den frühen amerikanischen Kollektormarkt, wie Warmwasseranlagen sukzessive in der Nutzung an Akzeptanz und Unterstützung gewinnen konnten. Die Sonnenkollektornutzung ging teilweise auf dunkel angestrichene Wasserspeicher zurück, die in der Sonne platziert wurden. Diese Speicher wurden nicht systematisch produziert, sondern notgedrungen von Hausbesitzern aufgestellt. Nach ihrer Akzeptanz im Feld wurden sie dann sukzessive in technisch ausgefeilteren Anlagen, Nutzungsweisen und Vertriebsmodellen weiterentwickelt (Mener 2001: 80). Vom ökonomischen Standpunkt war die Fixierung auf erfolgreiche Prototypen für Solarmotoren durchaus auf eine Art sinnvoll. Bevor Ingenieure und Investoren sich auf einen technischen Pfad einlassen wollten und ehe sie in Produktionskapazitäten investierten, wollten sie sich der technischen Erfolgchancen vergewissern. Am *kollektiven* Projekt, der Technik einen stabilen Boden unter Nutzern, Investoren und in der Öffentlichkeit zu schaffen, hatten sie kein unmittelbares Interesse. Außerdem waren die Problemzusammenhänge, auf die die Entwicklung der frühen Solarmotoren jeweils zugeschnitten wurde, keineswegs klar und robust. Die großen Hoffnungen, dem Kohleproblem mit der Sonnenenergienutzung zuvorzukommen, legten andere technische Zuschnitte nahe als etwa der Einsatz zur Bewässerung in der Landwirtschaft – und umgekehrt. Die Nutzung der Technik in Kolonien implizierte andere Anforderungen an eine Anlage als die Nutzung auf privat betriebenen mittelgroßen Farmen. Darüber hinaus – das Ende der Konkurrenz um die wirtschaftliche Nutzbarmachung der Kolonien ist nur ein besonders gravierendes Beispiel unter vielen – blieben die gesellschaftlichen Problemstellungen, auf die sich die Ingenieure bezogen, selten hinreichend konstant. Debatten um die Kohleversorgung kamen und gingen in Wellen (was sich über das nächste Jahrhundert fortsetzen sollte), wurden von Streiks oder Versorgungsengpässen angeheizt und flauten bei Nachrichten zu neu entdeckten Reserven oder verbesserten Versorgungslagen wieder ab. Regionale Kohle-, Gas- und Ölpreise schwankten nicht nur in Reaktion auf politische und wirtschaftliche Verschiebungen, sondern auch infolge von Änderungen der Struktur von Transportnetzen. Bewässerungsprobleme in trockenen Gebieten wurden durch Wasserversorgungswerke plötzlich behoben (etwa in Kalifornien). Und die Anforderungen an die Energieversorgung entwickelter Gesellschaften änderten sich kurz vor der und während der Elektrifizierung und Motorisierung fortwährend. Thomas Hughes (1979) hat in seiner historischen

Forschung zur Elektrifizierung gezeigt, wie der technischen Entwicklung komplementäre Problemzusammenhänge im Fall des Aufbaus des Elektrizitätssystems nicht bloß Zufall waren, sondern von interessierten Akteuren – Hughes' Theorie verläuft oft ebenso individualistisch wie sein empirischer Fall – unnachgiebig geschaffen, kontrolliert und erweitert wurden. Die frühen Stromunternehmer waren in gewisser Hinsicht *system builders* statt nur Erfinder und Unternehmer. Abseits der Öffentlichkeitsarbeit und einiger Versuche Mouchots und Shumans, mit der Propagierung der sonnengestützten Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff eine Energiespeichermöglichkeit wie einen zukünftigen transportierbaren Treibstoff zu entwickeln (ein Zukunftsentwurf, der sich von Jules Verne bis Romano Prodi halten sollte), fanden sich derartige Prozesse im Fall der Sonnenmotoren nur selten. Ihre Erfinder bewegten sich von Problemzusammenhang zu Problemzusammenhang, um sich einige Jahre später entweder technisch geschlagen zu geben oder mit ihren Anlagen von der gesellschaftlichen Realität überholt zu finden.

Kapitel 3

Die langen sechziger Jahre der Photovoltaik

Eine den Bewegungen um die Sonnenmotoren im Ausmaß vergleichbare Dynamik entwickelte sich um die Photovoltaik erst in den späten 1950er-Jahren. Die Photovoltaik wurde in einem in vielen Hinsichten anderen politisch-ökonomischen Gesamtzusammenhang entdeckt und gefördert. Ihre frühen Unterstützer stammten aus vollkommen anderen gesellschaftlichen, politischen, wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Domänen. Obwohl die Siliziumphotovoltaik unmittelbar nach ihrer ersten gezielten Entwicklung für kurze Zeit Hoffnungen auf eine Revolution in der Energieversorgung weckte, verfieng sie sich schließlich im technologiepolitischen Komplex zwischen Militär, den Weltraumprogrammen, Universitätslaboren, der Elektronikindustrie und der Halbleiterei. Diese Verankerung war in vielerlei Hinsicht enorm konsequenzenreich für die Entwicklung der Technik und bildete in späteren Episoden der gesellschaftlichen Suche nach neuen Energietechnologien gewissermaßen ein Alleinstellungsmerkmal. Das folgende Kapitel zeigt in zwei Hinsichten, wie sich die Photovoltaik in diesem Komplex festsetzte. Einerseits streift es die energiepolitischen Problemzusammenhänge der 1950er- und 1960er-Jahre. Die heute weitgehend unhinterfragte massive Staatstätigkeit in der Energieforschung hat es so zu dieser Zeit nicht gegeben. Dennoch gab es auch in den ersten Nachkriegsjahrzehnten verstreute Hinweise auf die Regelungsprobleme, die den Staat und andere gesellschaftliche Gruppen seit den 1970er-Jahren von regulatorischen Steuerungsversuchen zu technologie- und industriepolitischen Versuchen der Problembewältigung führten. Andererseits rekonstruiert das Kapitel am Fall der Photovoltaik die Entstehung moderner Technologiepolitik zwischen Forschung, Militär, Politik und Wirtschaft. Dieser Strang der Staatstätigkeit verschmolz in den 1970er-Jahren mit der Problematisierung zukünftiger Energieversorgung und prägte jeden weiteren Anlauf zur Kommerzialisierung der Photovoltaik.

3.1 Die Entdeckung der Photovoltaik

Schon während der Euphorie um die frühen wärmebasierten Sonnenmotoren arbeiteten Forscher wesentlich grundlegender an einem Komplex von Technologien, die schließlich zur kommerziellen Photovoltaik führen sollten. Die Beobachtung, dass Licht unter bestimmten Bedingungen elektrische Flüsse beeinflussen kann, war spätestens seit dem Jahr 1839 bekannt (Perlin 1999: 22, En. 10). Dass ein solcher »photoelektrischer Effekt«, wie er oft genannt wurde, in bestimmten Materialien auftrat, entdeckten Telegrafeningenieure zufällig in den 1860er-Jahren. Sie benutzten Selenkomponenten in Prüfapparaturen beim Verlegen von Unterseeleitungen, für eine der ersten transatlantischen Telegrafenerbindungen, und bemerkten, dass das Selen nur dann die von ihnen benötigten elektrischen Eigenschaften aufwies, wenn es von Sonnenstrahlen abgeschirmt war. In der Zeitschrift *Nature* berichtete der leitende Elektrotechniker des Projekts, Smith, von dieser Anomalie:

[T]here was a great discrepancy in the tests, and seldom did different operators obtain the same result. While investigating the cause of such great differences in the resistance of the bars, it was found that the resistance altered materially according to the intensity of light to which it was subjected. When the bars were fixed in a box with a sliding cover, so as to exclude all light, their resistance was at its highest, and remained very constant, fulfilling all the conditions necessary to my requirements; but immediately the cover of the box was removed, the conductivity increased from 15 to 100 per cent [...]. Merely intercepting the light by passing the hand before an ordinary gas-burner placed several feet from the bar increased the resistance from 15 to 20 per cent.¹

Die Entdeckungen der Telegrafeningenieure wurden in den folgenden Jahren von einer Reihe von Forschern aufgegriffen, die die geschilderten Anomalien des Materials experimentell zu systematisieren, einzuordnen und zu verstehen versuchten. Insbesondere zwei Physiker und Werner Siemens machten mit ausführlichen Testreihen und Publikationen auf sich aufmerksam. Die Physiker Day und Adams führten eine Serie explorativer Experimente durch und kamen, obgleich noch etwas ungläubig, zu dem Schluss, dass Licht nicht bloß die elektrischen Eigenschaften der Selenproben zu beeinflussen schien, sondern selbst einen elektrischen Fluss im Material auslösen könnte.² Siemens veröffentlichte in den 1870er-Jahren drei Berichte zu den amerikanischen Experimenten und zu seiner eigenen Forschung mit den Anomalien des Selens in den Monatsberichten der Berliner Akademie der Wissenschaften. Er hoffte, mit dem Selen

1 Willoughby Smith, 1873: Effect of Light on Selenium During the Passage of an Electric Current. In: *Nature* 7, 20. Februar, 303.

2 William G. Adams und Richard E. Day, 1876: The Action of Light on Selenium. In: *Proceedings of the Royal Society of London* 25, 313–349, hier: 333–339.

die Grundlage zur Herstellung eines verlässlichen Photometers in der Hand zu haben. Außerdem experimentierte er schon länger mit der Leitfähigkeit verschiedener Materialien, in erster Linie von Metallen.³ Was Adams und Day eher zurückhaltend feststellten und Siemens in seinen frühen Berichten ausließ, demonstrierte der New Yorker Erfinderunternehmer Fritts in den 1880er-Jahren. Fritts experimentierte mit Selen in verschiedenen Formen und mit verschiedenen Beschichtungen und entwarf, ohne wirklich zu verstehen, was er da tat (das Elektron wurde 1897 entdeckt und unser gegenwärtiges Verständnis der Natur des Lichts erst im frühen 20. Jahrhundert entwickelt), das erste Photovoltaikmodul:

My form of cell is a radical departure from all previous methods of employing selenium [...]. In the first place, I form the selenium in very thin plates, and polarize them, so that the opposite faces have different electrical states or properties. [...] The current thus produced is radiant energy converted into electrical energy directly and without chemical action, and flowing in the same direction as the original radiant energy, which thus continues its course, but through a new conducting medium suited to its present form. This current is continuous, constant, and of considerable electromotive force. A number of cells can be arranged in multiple arc or in series, like any other battery. The current appears instantly when the light is thrown upon the cell, and ceases instantly when the light is shut off.⁴

Fritts sandte Proben seiner Zellen an Werner Siemens, der sich auf einer Sitzung der Berliner Akademie begeistert zeigte: »Wir haben es hier in der Tat mit einer ganz neuen physikalischen Erscheinung zu tun, die von größter wissenschaftlicher Tragweite ist«, resümierte er seine Prüfung von Fritts' Erfindung.⁵ Perlin (1999: 17, 20, 23, En. 23) und Mener (2001: 98–99, 114–115) finden in den Jahrzehnten nach Fritts' Entwicklung Anzeichen ebenso überschwänglich formulierter Hoffnungsbekundungen zu einer schnellen Anwendung der Selenzellen, wie sie in Bezug auf die Sonnenmotoren herrschten.⁶ Sie reichten aber

3 Werner Siemens, 1877: Über die Abhängigkeit der elektrischen Leitungsfähigkeit des Selen von Wärme und Licht (Zweiter Teil). In: *Monatsbericht der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, Juni 1877, 299–316; Werner Siemens, [1892]2008: *Lebenserinnerungen*. München: Piper, 449–453.

4 Charles E. Fritts, 1885: On the Fritts Selenium Cells and Batteries. In: *Scientific American Supplement*, 6. Juni, 7854–7856.

5 Werner Siemens, 1885: Über die von Hrn. Fritts in New York entdeckte elektromotorische Wirkung des beleuchteten Selen. In: *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, 12. Februar 1885, 299–316.

6 Eine Welle sehr zuversichtlicher Presseberichte wurde in den frühen 1930er-Jahren durch einen Artikel in der Zeitschrift *Popular Science* über die Forschung von Bruno Lange am Kaiser Wilhelm Institut für Silikatforschung angestoßen. Siehe: Magic Plates Tap Sun for Power. In: *Popular Science Monthly* 118(6), 1931, 41, 134. Langes Drang in die Presse und sein Befeuern der öffentlichen Erwartungen, seine Forschung hätte naheliegende Anwendungen in der Elektrizitätsversorgung industrieller Gesellschaften, scheinen schließlich zu seinem Rausschmiss

keinesfalls, was oft schlicht technische Gründe hatte, an die Euphorie heran, die etwa Shuman in der technischen Presse erzeugen konnte. Fritts beschwerte sich schon 1885 bei Siemens, dass der Umgang mit dem Material problembeladen sei. Er klagte »über die Unsicherheit der Herstellung der Platten, deren Eigenschaften man gar nicht voraussehen könnte«. ⁷ Die Module müssten weiterhin, so einige von Perlin (1999: 20) zitierte Skeptiker, fünfzigmal effizienter werden, bevor man über ihr Potenzial zur Elektrizitätserzeugung überhaupt diskutieren könne. ⁸ Auch wenn die Selenzellen vom Ende des 19. Jahrhunderts bis in die Nachkriegszeit zahlreiche Forschungsarbeiten anstießen, entfernten sich Entwicklungsarbeiten vom Problemzusammenhang der Elektrizitätsversorgung. In der anwendungsorientierten Forschung konzentrierte man sich vor allem auf messtechnische Anlagen, auf die Übertragungstechnik und auf verschiedene weitere Bereiche der Halbleiternutzung. Darüber hinaus allerdings konnten Fragen nach der Natur des photoelektrischen Effekts, damit zusammenhängend des Lichts selbst und der chemischen und physikalischen Eigenschaften von Festkörpern, wissenschaftliche Ressourcen anziehen, wie es bei den im Vergleich wenig komplexen Pumpen, Kollektoren und Sonnenmotoren nie der Fall war.

Einen wirklichen Aufschwung erlebte die Entwicklung der Photovoltaik erst in den 1950er-Jahren, nachdem sich die Bell Telephone Laboratories ihr angenommen hatten. AT & Ts legendärer Forschungs- und Entwicklungsarm stieß durch eine Serie kontingenter Entwicklungen auf jenen Typ von Siliziumzellen, der die Photovoltaik bis in die Gegenwart dominiert. Die Bell Labs waren ein Musterbeispiel für jene vorsätzlich vom operativen Geschäft getrennt betriebenen – aber lose an die Fertigung gekoppelten – Entwicklungsabteilungen, die seit dem späten 19. Jahrhundert in vielen großen technologieorientierten Unternehmen gegründet wurden. Firmen wie die BASF, General Electric, Krupp, Siemens und eben AT & T stellten Wissenschaftler ein, errichteten wissenschaftliche Infrastrukturen und versuchten, Grundlagenforschung für ihr Geschäft zu mobilisieren; sie institutionalisierten, was später oft *industrial research* genannt wurde (Hoddeson 1981; Mowery 2009: 2–7; Schumpeter [1942]1994: 132–134; Wise 1980). Man müsse sich, so der leitende Ingenieur bei AT & T im Jahr 1887, der die Idee hinter der Gründung unternehmensinterner Forschungsarme auf den Punkt brachte, den »many problems daily arising in the broad subject

am KWI und damit auch dem Ende seines Forschungsprojekts geführt zu haben (Mener 2001: 111).

7 Werner Siemens, 1885: Über die von Hr. Fritts in New York entdeckte elektromotorische Wirkung des beleuchteten Selens. In: *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, 12. Februar 1885, 299–316, 148.

8 Weitere Beispiele der Skepsis gegenüber photovoltaischen Zellen als Elektrizitätsquellen im Deutschen Reich und in den USA finden sich bei Mener (2001: 111, Fn. 277, 118–119).

of telephony« widmen, »which require solution but are not studied as they will not lead to any direct advantage to ourselves« (Hayes, zitiert in Eckert/Schubert/Torkar 1992: 59). Wie Lester und Piore (2009: 62) erinnern, systematisierten die Labors der frühen Technologiekonzerne jene nicht kurzfristig rationale, in bestimmter Hinsicht ergebnisoffene, aber problemorientierte Forschung und Entwicklung, die es in profitorientierten Umgebungen schwer hat und für die westliche Staaten vor dem Ersten Weltkrieg wesentlich weniger selbstverständlich aufkamen als in Kriegszeiten, seit der Zwischenkriegszeit und insbesondere seit den 1960er- und 1980er-Jahren (Block 2008; McDougall [1985]1997: 5; Mowery/Rosenberg [1989]1995).

Die Bell Labs waren über die 1920er- und 1930er-Jahre zum wichtigsten Zentrum für grundlegende Halbleiterforschung geworden (Hoddeson 1981: 532–541; Seidenberg 1997: 35–36). AT & Ts Pläne für den Aufbau eines immer größere Distanzen überbrückenden Telefonnetzes zu Beginn des 20. Jahrhunderts bedurften Signalverstärker, deren Entwicklung ohne Kompetenzen im relativ neuen physikalischen Forschungsfeld, der damals sogenannten Elektronenphysik, schwer möglich schien (Hoddeson 1977: 24). Das Verstärkerproblem wurde seit dem Jahr 1912 mit Vakuumröhren gelöst, die zwar wie geplant funktionierten, jedoch als »large, expensive, fragile, slow, relatively noisy, and often unreliable and short-lived« galten (ebd.: 28). Seit den 1930er-Jahren dachte man in der Leitung der Labors darüber nach, eine Forschungsgruppe einzurichten, die Chemiker, Physiker und Metallurgen zusammenbringen sollte, um zu ergründen, ob sich die Eigenschaften von Halbmetallen zur Verstärkung nutzen ließen. Eben mit diesem Gedanken begannen die Bell-Labs Forscher einzustellen, die sich für die Eigenschaften von Festkörpern interessierten. Ab den späten 1930er-Jahren veranstaltete man wöchentliche Treffen zwischen verschiedenen an der Festkörperphysik interessierten Wissenschaftlern. Außerdem waren, bedingt durch den Zweiten Weltkrieg, zahlreiche Mitarbeiter in der Halbleiterforschung für Radar- und Radiotechniken im militärischen Bereich tätig. Die Radarforschung bewirkte einerseits, dass verschiedene Halbleitermaterialien (hauptsächlich Germanium und Silizium) wesentlich besser verstanden und in wesentlich reinerer Form verfügbar wurden. Andererseits veranlasste sie Forscher zu weitergehenden Experimenten mit den Materialien. Im Jahr 1940 entdeckten Forscher des Bell-Radiolabors um Scaff und Ohl die systematische Grundlage der Siliziumphotovoltaik sowie der Transistorentwicklung. Sie stellten einen Siliziumblock her, der »entgegengesetzte« elektrische Eigenschaften in verschiedenen Regionen zeigte und bei Lichtbestrahlung einen »substantial photovoltaic effect« erzeugte (ebd.: 28): »The study [...] showed that a rectifying barrier which, upon illumination, produced a photovoltage existed between the two regions. Scaff and Ohl named the outer region »p-type« and the inner region »n-

type [...]. These p-n junctions aroused intense interest at Bell Labs« (Millman 1983: 417).⁹ Die Forschung zu jener »rectifying barrier«, die Ohl und Kollegen *p-n junction* nannten, wurde die Grundlage eines Großteils der weiteren Halbleiterforschung in den Bell Labs. Das Interessante ihrer Entdeckung war, dass sich der P-N-Übergang im Material durch bestimmte Strukturen von Unreinheiten zu ergeben schien. In seinem Patent der gewissermaßen ersten vage verstandenen Siliziumphotovoltaikzelle berichtete Ohl:

The nature of the boundary or barrier zone and the reasons for its electrical behavior are obscure. There is evidence to indicate that the phenomena observed are dependent not only upon high purity of the silicon but also upon the character of the extremely small amounts of impurities which remain.¹⁰

In den 1940er-Jahren machten die Forscher zunehmend Fortschritte, die P-N-Übergänge mit dem Zusatz verschiedener Elemente gezielt und kontrolliert herzustellen (ebd.: 431–432). Die systematische Weiterentwicklung dieser Entdeckungen zu Komponenten, die zur Elektrizitätserzeugung genutzt werden konnten, wurde in den frühen 1950er-Jahren von Chemikern und Elektrotechnikern betrieben. Der Kontext für diese neu anlaufenden Bemühungen war ein Projekt, das seit dem Jahr 1951 verschiedene netzunabhängige Energietechniken ergründen sollte, mit denen sich netzferne Komponenten des Telefonnetzes versorgen lassen könnten (Mener 2001: 233–234). Die wesentlichen Entwicklungsarbeiten an Solarzellen wurden von Daryl Chapin einerseits und Calvin Fuller und Gerald Pearson andererseits seit 1953 durchgeführt.¹¹ Sie beschäftigten sich in erster Linie damit, den Wirkungsgrad der Zellen, die Effizienz, mit der sie Licht in Elektrizität wandelten, zu erhöhen. Dabei experimentierte die Gruppe mit verschiedenen Möglichkeiten, Silizium zu verunreinigen (zu dotieren). Insbesondere Chapin versuchte sich an verschiedenen Techniken, Kontakte an die Zellen anzubringen und Reflexionen an ihrer Oberfläche zu minimieren (ebd.: 234–235). Es gelang schließlich, eine Zelle mit ungefähr 6 Prozent Wirkungsgrad herzustellen, mit denen das Bell-Labs-Management 1954 an die Öffentlichkeit gehen wollte.¹²

9 Siehe auch die Erzählung von Scaff zum Namensgebungsprozess und zur Charakterisierung und Einordnung der Entdeckung: Jack H. Scaff, 1970: The Role of Metallurgy in the Technology of Electronic Materials. In: *Metallurgical Transactions* 1(3), 561–573, hier: 562–564. Einen guten Überblick zur Rolle von Ohls Entwicklung in der Bell-Labs-Halbleiterforschung geben Riordan und Hoddeson (1997: Kap. 6).

10 Russel S. Ohl, [1941]1946: »Light-Sensitive Electric Device«. US Patent 2.402.662, Spalte 14.

11 Siehe unter vielen: Friedolf M. Smits, 1976: History of Silicon Solar Cells. In: *IEEE Transactions on Electronic Devices* 23(7), 640–643.

12 Daryl M. Chapin, Calvin S. Fuller und Gerald L. Pearson, 1954: A New Silicon *p-n* Junction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power. In: *Journal of Applied Physics*

Der Öffentlichkeitseffekt mehrerer gut inszenierter Demonstrationen der Bell Solar Battery war enorm und die Presse nahm die äußerst professionell gestalteten Marketingbemühungen für die Siliziumsolarzellen breit auf.¹³ Im wohl meistzitierten Pressebericht in der Geschichte der Photovoltaik verkündete die *New York Times* auf ihrer Titelseite überschwänglich, die Siliziumzelle »may mark the beginning of a new era, leading eventually to the realization of one of mankind's most cherished dreams – the harnessing of the almost limitless energy of the sun for the uses of civilization«.¹⁴

3.2 Die Suche nach einer Nische

In den Folgejahren entwickelte sich in den USA ein Feld aus Forschungsstellen, Regierungseinrichtungen, insbesondere des Militärs, und Firmen, die in der Photovoltaik arbeiteten. Es wäre zu viel gesagt, dass die Bell-Zellen diese Dynamik direkt angestoßen haben. Experimente mit dem photovoltaischen Effekt häuften sich schon in den Jahren zuvor in Militärforschungszentren und in Unternehmen, die in ihrer Nähe forschten (ebd.: 241). Experimente mit wärmebasierten Anlagen, Solaröfen, Sonnenmotoren und Solarhäusern wurden ab den späten 1940er-Jahren häufiger (Butti/Perlin 1980: Kap. 16, 18). Bells technische Entwicklungen und noch mehr die dazugehörige Öffentlichkeitsarbeit

25(5), 676–677, hier: 677. Perlin (1999: 30–31) hebt in seinen Ausführungen zum Zeitpunkt der Öffentlichkeitsarbeit sehr stark auf die Intentionen des Bell-Labs-Managements ab, die kurz zuvor von der Radio Corporation of America vorgestellte Atomic Battery zu entwerfen. Mener (2001: 236–237) relativiert diese These anhand von internen Memoranden zwischen der Forschergruppe und der Leitungsebene. Dennoch wurden die Technologien in der Presse konkurrierend diskutiert. Die *New York Times* etwa berichtete, dass die Bell-Batterie 50.000.000-mal mehr Elektrizität erzeugen könne, nachdem sie die Atomic Battery einige Zeit zuvor als revolutionäre Entdeckung angepriesen hatte. Siehe: *Vast Power of the Sun Is Tapped by Battery Using Sand Ingredient*. In: *New York Times*, 26. April 1954, 1, 11, hier: 1.

13 Ein selten diskutierter Aspekt der intensiven Marketingbemühungen von AT & T um die Solarzelle von Chapin, Fuller und Pearson besteht darin, dass man offenbar auf der Leitungsebene besorgt war, den Entwurf aus dem Jahr 1954 schwer als radikale Innovation darstellen zu können, da man ja schon mit Ohl 1941 ein Patent für eine Zelle beantragt hatte. Ohls Vorarbeiten etwa wurden selten öffentlich erwähnt und zugleich wurde ausladend auf die Einsatzmöglichkeiten abgehoben, die mit höheren Effizienzen einhergingen. Siehe die vagen Hinweise zu dieser Vermutung bei Lillian Hoddeson, 1976: *Interview with Dr. Russel Ohl, Vista, California, August 20 1976*. Transkript. College Park MD: Niels Bohr Library and Archives with the Center for History of Physics, American Institute of Physics, Teil 2.

14 *Vast Power of the Sun Is Tapped by Battery Using Sand Ingredient*. In: *New York Times*, 26. April 1954, 1, 11, hier: 1.

gaben dem Feld allerdings einen neuen Schwung.¹⁵ Als die 1954 gegründete Association for Applied Solar Energy im November 1955 ihren ersten Kongress in Tucson und Phoenix ausrichtete, meldeten sich etwa 500 Experten und 600 Interessierte aus Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft zur Teilnahme an (Strum 1985: 573). Ein wissenschaftlicher Teilnehmer berichtete euphorisch von der Wirkung der Konferenz:

Since the Symposium, there have been many expressions of interest in solar energy. Every week at the Institute we receive as many as twenty to fifty letters from all parts of the world, asking for more information on the work that has been done and on possible uses of solar energy for local use. These letters come from villages in Africa, towns in Australia, cities in Europe, and skyscrapers in America.¹⁶

Im Unterschied zu den frühen wärmebasierten Techniken zur Sonnenenergienutzung zog die Photovoltaik weiterhin einen völlig anderen Kreis von Interessierten an. Die entstehende Halbleiterindustrie, die moderne Festkörperphysik und damit auch zum Teil die Photovoltaik arbeiteten an den *frontiers* physikalischer Forschung. Photovoltaikzellen waren im Unterschied zu verbrennungs- und bewegungs-basierten Energietechniken technisch gesehen wesentlich eleganter und versprachen einen Entwicklungssprung:

[P]hotovoltaics does away with the bulky paraphernalia – boilers, turbines, pipes, and cooling towers – required by all other electricity-generating technologies. In fact, solar cells operate without moving parts. Within those few microns, photons, packets of energy from the sun, silently push electrons out of the cells and so make electricity. (Perlin 1999: 11)

»Aus Silizium im Licht«, schwärmte später Hans Queisser, »wurde eine Batterie, ohne dass sich etwas bewegt, ohne dass man etwas hören oder riechen kann.«¹⁷ AT & T hielt sich, wie schon in vielen Hinsichten im Feld der wachsenden Transistorindustrie, damit zurück, selbst ernsthaft in der entstehenden Industrie für Photovoltaikanlagen aktiv zu werden. Neben möglichen internen Gründen war ein derartiges Verhalten keinesfalls ungewöhnlich für den Bell-Konzern. Er sah sich seit der Zeit des New Deals Vorwürfen ausgesetzt, seine Marktmacht zu missbrauchen. In der unmittelbaren Nachkriegszeit wurden öffentliche Rufe

15 Um nur einen Eindruck von den Marketingbemühungen von AT & T zu geben: Der Konzern verteilte Bastelsätze an Schulen, mit denen Schüler eine kleine Photovoltaikanlage bauen konnten. Das dazugehörige Begleitheft, das in Daryl Chapins Namen geschrieben wurde, verwies zur Motivation für die Arbeit an den Solarzellen direkt auf die Begrenztheit fossiler Ressourcen und die Chancen praktisch unerschöpflicher Potenziale der Sonnenenergie. Siehe Daryl M. Chapin, [1962]1970: *Energy From the Sun*. New York: Bell Telephone Laboratories.

16 *Report on the Conference and the Symposium on Solar Energy*, 1955: Universität Wien: Nachlass Hans Thirring, 17.

17 Hans Queisser, [1985]1987: *Kristalline Krisen. Mikroelektronik – Wege der Forschung, Kampf um Märkte*. München: Piper, 290.

laut, AT & T zu zerschlagen, insbesondere den Systembetrieb von der Komponentenproduktion bei Western Electric zu trennen. Unter der Eisenhower-Administration gelang es AT & T im Jahr 1956, den Prozess unter einigen freiwilligen Zugeständnissen beizulegen, vor allem den Zusagen, bisher erlangte Patente an amerikanische Unternehmen zu lizenzieren, und der Versicherung, dass Western Electric ausschließlich bei der Produktion von »equipment of the sort used in telephony« bleiben würde (Temin/Galambos 1987: 15–16). Wie in der Industrie für Transistoren trug AT & T zwar wesentlich zum Verständnis der Photovoltaik bei, überließ die eigentliche Industrie aber dem industriellen Ökosystem der USA (zur Halbleitertechnik: Borrus/Millstein/Zysman 1982: 4, 12). Im Bereich der Solarzellen beschränkten AT & T und Western Electric sich auf weitere Grundlagenforschung und auf Versuche zum ursprünglichen Problem, netzferne Komponenten des Telefonsystems zu betreiben.¹⁸ Ab dem Jahr 1955 betrieben Bell-Ingenieure versuchsweise eine Verstärkerstation mit Solarzellen und fanden sich nach der Auswertung vor dem wesentlichen Problem wieder, an dem Ingenieure bis in die Gegenwart arbeiten. Die Anlage, erinnert sich Pearson, »operated for six months without being connected to any power lines [...], it was a huge technical success but a financial failure.«¹⁹ Ähnlich schätzten potenzielle Abnehmer die Lage auf der AFASE-Konferenz in Arizona ein. William Cherry, Leiter der Festkörperphysikabteilung im Signalkorps des US-Militärs und zentrale Figur im amerikanischen Photovoltaikkomplex über die nächsten dreißig Jahre, konstatierte ernüchtert, die Kosten für Photovoltaikzellen seien so hoch, dass Forscher wohl vorerst an grundlegenden Fragestellungen arbeiten müssten: »[A] fundamental approach should be made to arrive at the most efficient converter which can be produced economically. [...] Several materials may offer equal or better conversion characteristics [...] and [...] the manufacturing costs may be appreciably less than that of present day solar cells.«²⁰ Dieselben Gründe

18 Eine Übersicht zur folgenden Forschung Chapins mit dem Außeneinsatz der Module findet sich in: Daryl M. Chapin, 1955: *Some Observations From a First Year of Silicon Solar Battery Testing*. Conference Paper, Conference on Solar Energy: The Scientific Basis, October 31 and November 1. Tucson AZ: University of Arizona, Tucson. Siehe auch Perlin (1999: 36) für kurze Hinweise zu Western Electric's Nutzung der Photovoltaik in der Versorgung des Telefonnetzes.

19 Lillian Hoddeson, 1976: *Interview with Dr. Gerald Pearson, Stanford University*, August 23, 1976. Transkript. College Park MD: Niels Bohr Library und Archives with the Center for History of Physics, American Institute of Physics.

20 William R. Cherry, 1955: *Military Considerations for a Photovoltaic Energy Converter*. Conference Paper, Conference on Solar Energy: The Scientific Basis, October 31 and November 1. Tucson AZ: University of Arizona, Tucson, 4. Perlin (1999: 38) zitiert eine Passage aus Cherrys Vortrag, um auf unmittelbar nach den Bell-Demonstrationen einsetzende Kritik aufmerksam zu machen, Strom aus Photovoltaikzellen sei dermaßen teuer, Cherry schätzt 144 US-Dollar pro Kilowattstunde (für 2013 CPI-bereinigt 1.251 US-Dollar), dass die Euphorie um die Bell-Zellen vollkommen fehl am Platz sei. Unter Cherrys Einfluss scheint die US-Armee spätestens

schob auch die National Science Foundation vor, als sie 1955 ein Ersuchen von Wissenschaftlern ablehnte, die Forschung zur Solarenergie insgesamt zentral zu koordinieren und systematisch finanziell zu unterstützen (Strum 1984: 42).

Die erste Firma, die ernsthaft versuchte, die Bell-Zellen in Endkundenmärkte zu bringen, war National Fabricated Products, eine Kleinfirma aus Chicago, die die Lizenz für die Produktion der Siliziumzellen von Western Electric erhalten hatte. Perlin (1999: 36) zitiert aus den Erinnerungen des damals leitenden Physikers von NFP, Martin Wolf: »The motivation for starting production had been the idea to utilize the no-cost energy from the sun and thus provide cheap power, particularly where power was not readily available, such as in the less developed world.« NFP scheiterte an seinem Vorhaben, fand nicht eine ernst zu nehmende Abnehmergruppe und wurde 1956 von Hoffman Electronics übernommen, einer Firma, die sich mit Akustik, Halbleitern, Signaltechnik, Radios und Fernsehern beschäftigte. Hoffman Electronics scheiterte anfänglich ebenso an Versuchen, Endkunden für die Photovoltaikkomponenten zu finden (ebd.: 38), war jedoch wesentlich erfolgreicher darin, die Zellen effizienter herzustellen. Dem Unternehmen war es gelungen, Morton Prince zu rekrutieren, einen Forscher aus den Bell Labs, der wesentlich dafür verantwortlich war, die Siliziumphotovoltaikzelle auch theoretisch zu verstehen. Neben Hoffman in Los Angeles produzierte eine weitere Firma Solarmodule in Kalifornien, International Rectifier. Zusätzlich beschäftigte sich die Radio Corporation of America in Princeton seit Mitte der 1950er-Jahre mit Photovoltaikanlagen, teils im Auftrag des Militärs. Keinem der Unternehmen gelang es allerdings, einen energiewirtschaftlichen Markt für die Technik zu etablieren. Hoffman vertrieb neben einer Reihe versuchsmäßig auf den Markt geworfener Produkte, wie etwa verschiedene Arten von solarbetriebenen Kinderspielzeug, solarbetriebene Radios (Mener 2001: 254).

Ähnliche Versuche zwischen der Laborarbeit und der vorsichtigen Suche nach einer Nische für die Technologie findet man ab Mitte der 1950er-Jahre in Deutschland bei der AEG und bei Siemens, den wesentlichen deutschen Konzernen mit Halbleiterkapazitäten. Diese Initiativen waren losgelöst von Hoffnungen, an den Grundlagen einer Energiequelle für die Versorgung industrialisierter Gesellschaften zu arbeiten. In jeder Hinsicht zeigten die Vorzeichen der

seit dem Jahr 1955 gezielt die Entwicklung von Photovoltaikzellen bei der RCA gefördert zu haben. Siehe etwa die Danksagung in: Paul Rappaport, 1959: *The Photovoltaic Effect and Its Utilization*. In: *Solar Energy* 3(4), 8–18, 18. Die frühen öffentlich geförderten Arbeiten bei RCA haben sich, wie Cherry es in Tucson vorgeschlagen hatte, auf alternative Materialien für Solarzellen konzentriert. Siehe Peter A. Crossley, Gerald T. Noel und Martin Wolf, 1968: *Review and Evaluation of Past Solar-Cell Development Efforts*. Final Report, RCA Astro-Electronics Division Report, AED R-3346. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration, Appendix III, 9.

deutschen energiepolitischen Debatte dieser Zeit in die andere Richtung. Die Debatte war Ende der 1950er-Jahre von Konflikten zwischen Kohleförderern, der Bundesregierung und der verarbeitenden Industrie geprägt (Abelshauer 1985). Zwar hatten wiederholte Engpässe in der Kohleversorgung im Wiederaufbau noch bis Mitte der 1950er-Jahre zu Sorgen um eine »Energielücke« geführt; wie Radkau (1983: 113) meint, hatte das viel damit zu tun, dass man sich daran gewöhnt hatte, den Wachstumsschub des Wiederaufbaus in die Zukunft fortzuschreiben. Die Engpassorgen scheinen jedoch in Politik und Wirtschaft nie ausreichend Besorgnis ausgelöst zu haben, die beschleunigte Entwicklung unkonventioneller Energieversorgungstechniken zu motivieren. Stattdessen führten Engpassdebatten, Konflikte zwischen Wirtschaftsministerium und Kohleförderung und Änderungen in der internationalen Förderungssituation zur Verbreiterung der fossilen Energieversorgungsbasis und verschoben Problemzusammenhänge in der Energiepolitik schon bald vom Knappheits- zum Überschussmanagement, von der Sicherstellung ausreichender Förderung und niedriger Preise zur Verwaltung und Abfederung der Schwemme aus Heizöl und importierten Energieträgern, verfallender Preise und der folgenden langen Geschichte der Strukturkrisen in der deutschen Kohleindustrie (überblicksweise Abelshauer 1984; Erhardt 2012: 205; Radkau 2008: 462). Bis 1963 zählte man zur Kohlepolitik schon den Rationalisierungsverband, die Heizölsteuer und den Kohlezoll. Wenn eine unkonventionelle Energietechnik schon in den 1950er-Jahren ernsthaft gefördert wurde, war es die zivile Kerntechnik, mit der man sich allerdings bis in die 1960er-Jahre – abseits öffentlicher Hoffnungsbekundungen und Diskurse – eher aus forschungs-, industrie- und verteidigungspolitischen Gründen beschäftigte (Radkau 1983: 27–33, 46, 2008: 469). Über die nächsten Jahrzehnte blieb die Arbeit an der Photovoltaik in Deutschland durch die Aktivitäten von AEG/Telefunken und von Siemens geprägt. Bei AEG/Telefunken gingen die Arbeiten an der Photovoltaik vor allem von dem Wunsch aus, die gerade anlaufende Siliziumproduktion besser auszulasten (Mener 2001: 275). Bei Siemens wurde in einer Halbleiterfabrik in München an Herstellungsverfahren gearbeitet, mit denen sich Photovoltaikzellen in die Massenproduktion für Konsumgüter überführen lassen sollten. Beide Konzerne ließen die Arbeit an der Photovoltaik in den frühen 1960er-Jahren ernüchtert ruhen, schlossen die jeweiligen Entwicklungseinrichtungen teilweise und konsolidierten ihre Forschungsaktivitäten (ebd.: 276–277). Sie gingen praktisch in Wartestellung auf politische, technische oder wirtschaftliche Entwicklungen, bei denen sie ihre Kompetenzen nutzen konnten – ein Phänomen, das die Industrie nicht nur in Deutschland bis in die Gegenwart prägen sollte.

Ebenso stockend wie die Nachfrage entwickelte sich die staatliche Förderung weiterer anwendungsorientierter Forschung. In den 1950er-Jahren gab es

in den USA durchaus eine breite Debatte um die Gestaltung des zukünftigen Energieversorgungssystems und um die Rolle, die der Staat in ihr spielen sollte. William Barber (1981: 206) spricht von einer verspäteten amerikanischen Spielart der britischen Debatte um das Kohleproblem Mitte des 19. Jahrhunderts. Die amerikanischen EnergieDebatten der frühen 1950er-Jahre müssen in einem Spannungsfeld aus drei verbundenen und oft praktisch im Konflikt stehenden Problemstellungen betrachtet werden: den Abwägungen zwischen staatlicher Regelung und Marktelementen in der Gestaltung der Energieversorgung und der Ressourcensicherung in Friedenszeiten; den Abwägungen zwischen der Rolle der USA im Staatensystem der Nachkriegszeit und heimischen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Interessen; und den Abwägungen zwischen Sicherheits- und Wirtschaftspolitik in der Gestaltung der Energie- und Ressourcenversorgung. Im Jahr 1952 legte die noch unter der Präsidentschaft Trumans eingesetzte Paley Commission ihr Abschlussgutachten zur Rohstoffversorgung der amerikanischen Gesellschaft vor.²¹ Neben Empfehlungen zu einzelnen Rohstoffen und Ressourcen lag die wesentliche Botschaft der Experten darin, dass der Grad der Abhängigkeit der USA von ausländischen Ressourcen – insbesondere in der Ölversorgung – systematische politische Planung und Koordination, eine »national materials policy« notwendig mache, die die amerikanische Gesellschaft vor Verwerfungen in Weltmärkten und im internationalen politischen System schützen sollte.²² Die USA waren während der 1940er-Jahre in mehreren Rohstofffeldern zu Nettoimporteuren geworden, hauptsächlich Ölimporte nahmen rasant zu, und wie in den britischen Kohledebatten diskutierte man die Konsequenzen der natürlichen Begrenztheit fossiler Brennstoffe. Die Empfehlungen der Kommission trafen in der Regierung Eisenhower gemessen an ihrem durchaus nachdrücklichen Ton auf historisch und programmatisch verhältnismäßig wenig Resonanz. Die Eisenhower-Regierung war einerseits die erste amerikanische Nachkriegsregierung, die sich statt mit der Knappheit fossiler Rohstoffe mit den Folgen ihres Überflusses und ihrer Volatilität auseinandersetzen musste (Laird 2004: 21–23). Andererseits suchte sie aus programmatisch-politischen Gründen durchweg nach Möglichkeiten, Verantwortung auf Kommunen und Bundesstaaten umzulegen und öffentliche Aufgaben privatwirtschaftlich zu organisieren (Barber 1981: 208).

21 The President's Materials Commission, 1952: *Resources for Freedom; A Report to the President*. Final Report. Washington, DC; siehe zur Energieversorgung insbesondere Bände 3 und 4. Die Perspektiven erneuerbarer Energien, vor allem im Wärmebereich, werden auf den Seiten 213–220 diskutiert. Zusammenfassend meinten die Experten: »It is time for aggressive research in the whole field of solar energy – an effort in which the United States could make an immense contribution to the welfare of the free world« (220).

22 Ebd.: Bd. 1, 3.

3.3 Weltraumprogramme und die neue Entwicklungsstaatlichkeit

Es ist eine Ironie der Geschichte, dass sich ausgerechnet die Eisenhower-Administration, die über ihre gesamte Regierungszeit nach Wegen suchte, die regulatorischen Residuen der Kriegsjahre und die interventionistische Wirtschaftspolitik der Nachkriegszeit zurückzudrängen, sukzessive in politische Maßnahmen verstricken ließ, die insgesamt betrachtet die erste breit aufgestellte nationale Energiepolitik der USA in Friedenszeiten darstellten. Eisenhowers Anstrengungen, mit einem zivilen Nuklearprogramm den wirtschaftlich-wissenschaftlichen Komplex um die amerikanischen Kernwaffenprogramme aus seiner Staatsnähe zu drängen, schufen mehr regulatorische Folgeaufgaben, als sie zu lösen schienen (ebd.: 273–282). Im Vergleich zum Manhattan Project, das zeitweise etwa 250.000 Menschen beschäftigt haben soll, wuchs mit circa 150.000 Beschäftigten um die Atomic Energy Commission ein nicht weniger beeindruckender staatlich industrieller Komplex heran. Billige Ölimporte aus dem Mittleren Osten zersetzten ein jahrzehntealtes informelles bundesstaatliches System, mit dem Preise – und damit das sicherheitspolitisch relevante heimische Förderniveau – über die Feinsteuerung öffentlicher Speicher stabil gehalten wurden (ebd.: 220), was zu einer Reihe von internen und internationalen Konflikten führte und schließlich in der Erzwingung freiwilliger Quoten für Öleinfuhren mündete – in ihrer faktischen Kartellierung. Mit der internationalen Verankerung großer Ölkonzerne nahm deren Bereitschaft ab, amerikanische Ölfelder zu ergründen, was einerseits sicherheitspolitische Bedenken wachrief und andererseits den Kongress in Aufruhr brachte, weil auf amerikanische Reserven angewiesene kleinere Förderer die Ergründung neuer Felder im Angesicht fallender Preise nicht finanzieren konnten – sie waren über die Jahre gewissermaßen zu Trittbrettfahrern der geologischen Aktivitäten großer Förderer geworden (ebd.: 230). Nach der Verstaatlichung der Anglo-Iranian Oil Company musste Eisenhower amerikanische Konsortien anleiten, um Ordnung in die iranische Ölförderung zu bringen und britische Anteilseigner zu entschädigen (ebd.: 213–214). Und während der Suez-Krise organisierte er konzertierte Notfalllieferungen amerikanischer Ölkonzerne, um Engpässen in Westeuropa zuvorzukommen (ebd.: 234–235). Ferner ließen regulatorische Erleichterungen des zwischenstaatlichen Gastransports die Umsätze amerikanischer Kohleförderer zusehends wegschmelzen, was zu Forderungen nach einem regulatorischen Rahmen und Jahren des politischen Konflikts führte. Wie in folgenden historischen Episoden immer wieder deutlich wurde, hatte Energiepolitik, ob in Friedens- oder Kriegszeiten, durchweg gravierende Umverteilungswirkungen zwischen verschiedenen Gruppen, Sektoren und Regionen und war ein Feld fundamentaler Zielkonflikte. Das machte die

spontane Übereinstimmung von berührten Interessen höchst unwahrscheinlich, ebenso wie langfristig robuste *settlements* zwischen ihnen, und führte bei jedem erneuten Konflikt zu Forderungen nach energiewirtschaftlichem *state building* (zum letzten Punkt: Ikenberry 1988b).

Angeichts der Fülle an Problemstellungen, die die Regierung Eisenhower doch dazu brachten, bundesstaatlich in die Gestaltung der Energieversorgung einzugreifen, ist es nicht verwunderlich, dass sie die weiteren energiepolitischen Empfehlungen der Paley Commission nicht voll aufnahm, insbesondere die staatlich orchestrierte Entwicklung »unkonventioneller Energietechnologien« in der Breite zu forcieren (Strum 1984: 48–49). Sie blieb bis zum Ende ihrer Amtszeit tendenziell zurückhaltend, was neue Energieforschungsprogramme anging. Die Photovoltaik wurde schließlich in einem völlig anderen Problemzusammenhang gefördert, in den sich die Eisenhower-Administration ebenso unfreiwillig verstrickt fand: den US-Weltraumprogrammen nach 1957. Die nach der kurzen Bell-Euphorie gewissermaßen im Keim zerlaufende Photovoltaikindustrie wandelte sich grundlegend im Nachhall des Sputnikstarts 1957 und im amerikanisch-sowjetischen *Space Race* (siehe anstelle vieler: McDougall [1985]1997: Kap. 6–8). Die öffentliche Reaktion auf den Sputnikstart hatte in der amerikanischen Regierung den Drang nach einer Wiederbelebung jenes Modells der *connected science* zwischen Regierungs- und Militärforschungseinrichtungen, Firmen und Forschungsuniversitäten erzeugt, das im Zweiten Weltkrieg aufgebaut wurde und von dem 1950 die Gründung der National Science Foundation ausging (Bonvillian 2013: 1–3).²³ Noch 1958 wurden die Advanced Research Projects Agency (ARPA, später DARPA) zur Koordinierung der Forschungsaktivitäten zwischen Militär, Forschung und Wirtschaft und die National Aeronautics and Space Administration (NASA) zur Stärkung des Weltraumprogramms gegründet und man begann mit dem Aufbau eines Innovationssystems zwischen Universitäten, Industrie und Staat.

Mehrere Firmen und Forschungseinrichtungen entwickelten schon vor dem Jahr 1958 Ideen für den möglichen Einsatz von Solarzellen in der Weltraumtechnik (Mener 2001: 246–247). Die forcierten Weltraumprogramme führten allerdings dazu, dass sich die junge Industrie für Photovoltaikzellen fast vollständig auf die Forschung, Entwicklung und Produktion für den Weltraumeinsatz ausrichtete. Was im Diskurs zum *military industrial complex* oft übergangen wird, ist, dass sich Geflechte und Institutionen um die Verbindungen zwischen Militär, Regierungen, Forschungseinrichtungen und Firmen oft ebenso sehr, wenn

23 Die frühen Überlegungen zur Fortsetzung koordinierter Forschung in Friedenszeiten sind festgehalten in: Vannevar Bush, 1945: *Science. The Endless Frontier. A Report to the President by Vannevar Bush*. Washington, DC: Office of Scientific Research and Development.

nicht besser, als Spielart des *state building* verstehen lassen denn als *capture* durch die jeweilige Industrie (Hooks 1990). Wie in vielen amerikanischen Industrien in den späten 1950er- bis 1970er-Jahren, etwa der Aeronautik, Signaltechnik oder Halbleiterei, entwickelten sich extreme Abhängigkeiten vom öffentlichen Sektor, nicht nur ressourcentechnisch, sondern auch hinsichtlich des Zugangs zu Plattformen und Wissensnetzwerken. Das ermöglichte eine spezifische Form der Industriepolitik im Sinn nationaler sicherheitspolitischer Interessen (ebd.: 385). Was mit der Photovoltaikindustrie zwischen den späten 1950er-Jahren und den späten 1960er-Jahren geschah, ist ein anschaulicher Fall der Entwicklung derartiger Abhängigkeiten. Die Firmen, die in den 1950er- und 1960er-Jahren in den USA Photovoltaikzellen produzierten, arbeiteten fast ausnahmslos in einem Komplex aus Militärforschungseinrichtungen, Kleinfirmen und Universitäts- und Unternehmenslabors, in einer Art entwicklungsstaatlichem Netzwerk mit einem Schwerpunkt in Kalifornien (Colatat/Vidican/Lester 2009: 4).

Amerikanische Militäreinrichtungen experimentierten seit den 1950er-Jahren mit unterschiedlichsten technischen Lösungen, Satelliten mit Energie zu versorgen. Solarzellen hatten bei diesen Versuchen für mehrere Jahre einen schweren Stand im praktischen Einsatz, auch wenn zunehmend Ressourcen in die Photovoltaikforschung gelenkt wurden.²⁴ Der erste amerikanische Satellit Explorer I, sowie noch einige Satelliten nach ihm, wurden mit Batterietechnik betrieben. In der Hoffnung, vielleicht doch berücksichtigt zu werden, bereitete sich Hoffman schon ab dem Jahr 1957 produktionstechnisch auf den Absatz in das amerikanische Weltraumprogramm vor. Man begann etwa, Photovoltaikzellen trotz höherer Herstellungskosten eckig statt rund zu fertigen, womit sich weniger überschüssige Fläche ergab, die auf den sehr kleinen frühen Satelliten äußerst knapp war (Mener 2001: 248). Vanguard I, der erste und von der US-Navy offenbar nur zögerlich (Perlin 1999: 45) mit Solarzellen bestückte Satellit und der zweite erfolgreich gestartete Satellit des US-Weltraumprogramms überhaupt, wurde äußerst positiv bewertet. Nachdem die Batterieanlage schon nach neunzehn Tagen erschöpft war, funkte Vanguard I photovoltaikbetrieben für weitere acht Jahre. Auch wenn es einige Zeit dauerte, bis die Satellitenprogramme breitflächig auf die Nutzung von Photovoltaik umgestellt wurden, entwickelte sich in der Industrie eine zunehmende Dynamik. Etablierte Firmen, etwa Texas Instruments aus der Halbleiterei und Lockheed aus der Luft- und Raumfahrt, begannen, Photovoltaikmodule zu produzieren. Es entstand zum ersten Mal eine annähernd stabile Nachfrage nach Photovoltaikkomponenten und die

24 Siehe zusammenfassend: Arvin H. Smith, 1965: *Progress in Photovoltaic Energy Conversion*. Technical Report, NASA-TM-X-57120. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration, 4–5.

Hersteller meldeten wieder wesentliche Fortschritte in der Herstellung effizienterer Zellen (Jones/Bouamane 2012: 14–16; Mener 2001: 250–251). Außerdem wuchs die öffentliche Forschungsförderung in den USA im Allgemeinen seit den späten 1950er-Jahren rasant an, zwischen den Jahren 1957 und 1969 insgesamt um ungefähr das Siebenfache, das Forschungsbudget der NASA allein wurde im selben Zeitraum mehr als verzwanzigfacht (Margolis 2002: 13). Perlin (1999: 50) zitiert Schätzungen, wonach zwischen den Jahren 1958 und 1969 um die 50 Millionen US-Dollar dezidiert in die Photovoltaikforschung geflossen sind.²⁵ Margolis (2002: 61) schätzt, dass der Umsatz der Industrie im Jahr 1970 bei ungefähr 12 Millionen US-Dollar lag. Über die 1960er-Jahre schwankte er jährlich zwischen 5 und 10 Millionen US-Dollar (Colatati/Vidican/Lester 2009: 4). Der Industrie gelang es trotz extremer Qualitätsanforderungen der Weltraummissionen, die Kosten in der Zellproduktion von ungefähr 500 US-Dollar pro Watt Spitzenleistung (circa 3.147 US-Dollar für 2013 CPI-bereinigt) in den späten 1950er-Jahren auf um die 100 US-Dollar Ende der 1960er-Jahre zu senken, hauptsächlich durch Vergrößerungen der Zellfläche (etwa von 0,5 mal 2 cm auf 2 mal 2 cm zu Beginn der 1970er-Jahre) und Fortschritte in der immer noch manuellen Herstellungstechnik.²⁶ In den 1960er-Jahren bestand die amerikanische Industrie im Wesentlichen aus fünf Firmen, die zu ungefähr gleichen Teilen den Markt versorgten, dazu weiteren acht, die allerdings in sehr wenigen Quellen auftauchen (Mener 2001: 249–250). Bis in das Jahr 1968 zogen sich drei der fünf wesentlichen Firmen der amerikanischen Photovoltaikindustrie, Texas Instruments, RCA und International Rectifier, angesichts eines stagnierenden Marktes und Überkapazitäten wieder aus der Zellfertigung zurück und konsolidierten ihre Aktivitäten in der Forschung.²⁷

Mit ihrer Abhängigkeit von Regierungsaufträgen für das Weltraumprogramm verschoben sich auch Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte der Industrie. Im Effekt waren Herstellungskosten, die Mitte der 1950er-Jahre noch im Fokus der Aufmerksamkeit standen, nachrangig im Vergleich zur Lebensdauer der Zellen, ihrer Zuverlässigkeit unter extremer Hitze wie Kälte, ihrem Verhalten bei kosmischer Strahlung (ein Gebiet, auf dem wesentliche Querverbindungen zur Forschung an Halbleiterkomponenten für den Weltraumeinsatz bestanden), ihrem Gewicht und ihrer Effizienz.

25 Eine nahezu vollständige Übersicht aller öffentlichen Forschungsverträge im Bereich der Photovoltaik von den späten 1950er-Jahren bis in das Jahr 1968 findet man bei Peter A. Crossley, Gerald T. Noel und Martin Wolf, 1968: *Review and Evaluation of Past Solar-Cell Development Efforts*. Final Report, RCA Astro-Electronics Division Report, AED R-3346. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration, Appendix III.

26 Martin Wolf, 1972: *Historical Development of Solar Cells*. Conference Paper, 25th Annual Power Sources Conference. Atlantic City, NJ, 123.

27 Ebd.

Space cells had to be extremely over-engineered to withstand bombardment from high energy particles and micro-meteorites. There was no room for failure. If for any reason the cells did not work, the mission was lost and millions of dollars of equipment rendered useless. In the 1960s and 1970s, no one could be sent up to make repairs. Cell efficiency, rather than the price of the energy they delivered, dominated their design. The more power per pound an engineer could pack into a module, the lighter the payload. This reduction in weight reduced the size of the engine required for liftoff and that, in turn, saved a lot of money. Also, each satellite required a different module design, because each mission had a different power requirement. (Perlin 1999: 51; siehe auch Mener 2001: 268–273)²⁸

Abgesehen von dem Zuschnittsbedarf der Regierungsaufträge, die Standardisierung und Automatisierung erschwerten, kamen diese Aufträge in unregelmäßigen Schüben. Schätzungen für die 1960er-Jahre gehen von etwa einem Fünftel Kapazitätsauslastung der Produktionsstätten in der Zellfertigung aus (Colatat/Vidican/Lester 2009: 4). Eben dieser Auftragsarbeitscharakter der fast exklusiv für öffentliche und militärische Einrichtungen forschenden und produzierenden Photovoltaikindustrie scheint etwa Hoffmans frühe Arbeiten an Automatisierungsmöglichkeiten zum Erliegen gebracht zu haben (Mener 2001: 268). Zusätzlich hielt der Manufakturcharakter der Produktion zusammen mit den Anforderungen der Weltraummissionen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten konstant in einer Art explorativer Grundlagenforschung. Obwohl keine der Firmen die von ihr in der Produktion verwandte Zelltechnik völlig ergründet oder verfeinert, geschweige denn eine optimierte Herstellung entwickelt hatte, experimentierten sie alle mit alternativen Materialien und weitgehend unverbundenen Zellkonzepten (gute Beispiele sind die Hoffnungen auf die Hitzebeständigkeit und Konversionseffizienz von Galliumarsenid-Zellen und auf die Strahlungsresistenz von Cadmiumsulfid-Zellen).²⁹ Sie suchten abseits von ihrem

28 Eine gute Übersicht der Entwicklungsschwerpunkte der Industrie im amerikanischen Weltraumprogramm und ein schlagendes Beispiel dafür, wie sich technische Entwicklungen beinahe ausnahmslos in den Bereich von Regierungsaufträgen verschoben, gibt ein Statusreport des Leiters von Hoffmans Halbleiterdivision. Siehe Martin Wolf, 1960: *Advances in Silicon Solar Cell Development*. Conference Paper, Space Power Systems Conference, September 27–30. Santa Monica CA: American Rocket Society. Der enorme Anstieg an Forschungsaufträgen zum Verhalten von Solarzellen unter Bedingungen kosmischer Strahlung geht aus der Übersicht öffentlicher Forschungsaufträge hervor, die Crossley et al. zusammengestellt haben. Siehe Peter A. Crossley, Gerald T. Noel und Martin Wolf, 1968: *Review and Evaluation of Past Solar-Cell Development Efforts*. Final Report, RCA Astro-Electronics Division Report, AED R-3346. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration, Appendix III, 6–8.

29 Die Forschungsgebiete der frühen Photovoltaikindustrie lassen sich recht deutlich aus der oben erwähnten Übersicht öffentlicher Auftragsforschung und ihrer Ergebnisse ablesen. Siehe Peter A. Crossley, Gerald T. Noel und Martin Wolf, 1968: *Review and Evaluation of Past Solar-Cell Development Efforts*. Final Report, RCA Astro-Electronics Division Report, AED R-3346, Contract NASW-1427. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration, Appendix III.

regierungsbestimmten Tagesgeschäft nach den Grundlagen für ein Stück weit *radikale Innovationen* (Soskice 1996: 6). Soweit sich die Photovoltaikindustrie in den Weltraumprogrammen auch stabilisiert hatte, war sie als Zulieferer des amerikanischen öffentlichen Sektors praktisch nicht viel näher an das ursprünglich ausgerufene Ziel herangekommen, eine Technik für die Energieversorgung industrialisierter Gesellschaften zu entwickeln. Nicht nur das, selbst für weit weniger kostenempfindliche Nischenanwendungen waren die Herstellungstechniken, zu denen man über mehr als ein Jahrzehnt der Forschung und Produktion gekommen war, nur selten geeignet. Noch im Jahr 1975 bekannte Martin Wolf: »[A] complete rethinking of solar array processing is necessary to achieve large reduction in production costs.«³⁰

In der Forschung und Entwicklung finden sich in der deutschen Industrie seit den späten 1950er-Jahren weitgehend ähnliche Muster. Auch ohne ein deutsches Weltraumprogramm und dazugehörige öffentliche Abnehmer folgten Firmen den Forschungsschwerpunkten der amerikanischen Industrie (Mener 2001: 278). Als sich europäische administrative und politische Kräfte Ende der 1950er-Jahre um ein eigenes Weltraumprogramm neben den USA und der Sowjetunion bemühten, lag der Fokus der Anstrengungen über mehrere Jahre auf der Förderung der Luftfahrt- und Raketentechnik nicht auf unkonventionellen Energieversorgungstechniken. Unter Strauß' Leitung des Verteidigungsministeriums verfestigten sich in der Bundesrepublik technologiepolitische Bemühungen, eine auf dem Stand der internationalen Technologie produzierende nationale Luftfahrtindustrie aufzubauen, zumeist, wie in vielen Sektoren im sogenannten Wirtschaftswunder, über den Versuch, internationale Lizenzproduktion auf den deutschen industriellen Kapazitäten zum Technologietransfer zu nutzen (Weyer 1993: 185–191, 194–197). Überschneidungen zwischen den frühen deutschen Weltrauminitiativen und nicht konventionellen Energietechniken bestanden, wenn überhaupt, im Bereich der Kerntechnik. Die politische Ökonomie der Programmziele der frühen deutschen Weltraumforschung drehte sich häufig einerseits um die Frage, inwieweit bestimmte Branchen, Firmen, Ministerien oder Institute auf Verbundeffekte zwischen der Förderung für die Weltraumforschung und ihrem Tagesgeschäft hoffen konnten. Andererseits stritten sich die beteiligten Akteure darum, wie langfristig und grundlegend die Ziele der Programme formuliert werden sollten. Bei zu pragmatischen und bescheidenen Zielen sahen interessierte Koalitionen Gefahren, dass ihre relative technologische Rückständigkeit ausreichend Argumente liefern könnte, auf amerikanische (sowie später britische, französische oder italienische) Komponenten und Zulieferer zurück-

30 Martin Wolf, 1975: Outlook for Si Photovoltaic Devices for Terrestrial Solar-Energy Utilization. In: *Journal of Vacuum Science and Technology* 12, 984–999, 984.

zugreifen. Ferner musste es unrealistisch erscheinen, auf Basis eines allzu moderaten Aufholspiels technische Fertigkeiten zu entwickeln, die internationale Partner in der Zukunft interessieren konnten, halbwegs auf Augenhöhe mit dem deutschen Weltraumkomplex zu kooperieren. Zu utopisch formulierte und weit gesteckte Ziele hingegen gefährdeten die Legitimität des Unternehmens als Ganzes und riskierten, dass es nie dazu kommen würde, dass Forschung und Industrie nationale Kompetenzen in tatsächlich durchgeführten Weltraummissionen sammelten. Eine Sorge, die umso drückender wurde, je mehr sich in den frühen 1960er-Jahren abzeichnete, dass ein weitgehend deutsches Weltraumprogramm nicht zu stemmen sein würde und man sich stattdessen auf die Vorbereitung der Aushandlung internationaler Arbeitsteilung im Rahmen europäischer Weltraummissionen vorbereiten musste (Mener 2001: 280). Auch wenn sich um sie einige utopische Technikfantasien fanden, galten nukleare Antriebstechnologien (sowie später die nukleare Energieversorgung von Satelliten) als verhältnismäßig offene, aber nicht vollkommen futuristische Forschungsfelder, in denen außerdem eine Reihe interessierter Forscher und Firmen auf Verbundeffekte hoffen konnte (Weyer 1993: 263–264, 291).³¹ Es ist schließlich einer Reihe von Wendungen geschuldet, dass sich die deutschen Weltraumprogramme auf pragmatischere Ziele um kleinere Forschungs- und später Nachrichtensatelliten und auf die Nutzung von Photovoltaikanlagen zu ihrer Energieversorgung ausrichteten. Bölkow, industriell hauptsächlich im Bereich der Raketentechnik der wohl größte Profiteur von Strauß' militärtechnologischer Industriepolitik (ebd.: 191–194), begann 1962 pragmatischere Satellitenprojekte zu unterstützen, wie Mener (2001: 280) herausgearbeitet hat, wohl vor allem mit dem Gedanken, sich für anstehende europäische Satellitenprogramme zu empfehlen. Forschungsarbeiten mit Bezug zur Energieversorgung betrieb der Konzern vor allem im Bereich solarthermischer Anlagen und entsprechender Spiegelsysteme und im Bereich von Radionuklidbatterien, von Anlagen, die den Zerfall radioaktiven Materials zur Stromerzeugung nutzen. Mit beiden Schwerpunkten scheiterte Bölkow in den Aushandlungen seit Mitte der 1960er-Jahre zusehends. Der mit Fortschritten in den Satellitenprogrammen prognostizierte erheblich steigende Energiebedarf, der oft gegen die Photovoltaik als Patentlösung ins Feld geführt wurde, war ausgeblieben. Bemühungen um einen eigenen größeren europäischen Nachrichtensatelliten wurden von den USA mit Exportbeschränkungen notwendiger Komponenten und mit Gewichtsbegrenzungen auf amerikanischen Raketenstarts ausgebremst (Weyer 1993: 222, 293). Schließlich verschoben sich

31 Siehe zur Verbundargumentation im Rahmen der Förderung der Kerntechnik für ein »Hochtechnologieland im Werden« die Anmerkungen bei Müller (1990: 342–343) und Radkau (1983: 78–81, 159–168).

Argumentationsmuster zur Frage der Energieversorgung von Satelliten auf die Betonung des Aspekts, dass Photovoltaikzellen eine verhältnismäßig erprobte und verlässliche Technik seien, insbesondere unter den industriellen, politischen und wissenschaftlichen Interessengruppen, die von der Existenz eines deutschen Satelliten zu profitieren hofften statt nur von seiner Planung und seinem Bau (wie etwa die Nachrichtentechnik). Die Formel der Verlässlichkeit der Photovoltaik wurde seit Mitte der 1960er-Jahre »so häufig angeführt, dass [sie] eine Standardfloskel geworden war« (Mener 2001: 292). Eine weitere strukturelle, in der Literatur zum Schwenk zur Photovoltaik im deutschen Raumfahrtprogramm selten hervorgehobene strukturelle Entwicklung sind die Wandlungen, die in der bundesdeutschen und europäischen Industriepolitik in den 1960er-Jahren stattfanden. Neben den großtechnischen Programmen des Verteidigungsministeriums gewannen das Wirtschafts- und das 1962 neu deklarierte Forschungsministerium einen zunehmenden Einfluss im deutschen Weltraumprogramm. Gleichzeitig brachen in Europa Mitte der 1960er-Jahre breitere Debatten um die relative Rückständigkeit der europäischen Industrie in forschungsintensiven Zukunftsindustrien aus, nicht zuletzt mit Bezug zur Halbleiterei.³²

Wie schon Ende der 1950er-Jahre im AEG-Konzern und später herausgehoben in ostasiatischen politischen Ökonomien war die Photovoltaik eine sinnvolle Komplementärtechnik zu anderen mit Halbleitern und der Elektronik im allgemeinen verbundenen technologischen Feldern. Zulieferer ließen sich besser und verstetigter auslasten, Forschungsanstrengungen bündeln und man konnte auf Netzwerkeffekte zwischen verschiedenen Entwicklungsfeldern hoffen (siehe für quantitative Belege zu derartigen strukturellen Treibern auf der Ebene von Firmen in der Photovoltaik: Kapoor/Furr 2013). Die ersten Zuschläge für die Kon-

32 Der einflussreichste Beitrag in diesen Debatten war die seit 1968 veröffentlichte OECD-Reihe *Gaps in Technology*; siehe zusammenfassend: OECD, 1968: *Gaps in Technology*. General Report. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development. Prägnante Hinweise darauf, dass man in der deutschen Exekutive in den 1960er-Jahren zunehmend aktiv nach Wegen suchte, heimische Kapazitäten im Umgang mit Halbleitern zu fördern, finden sich in den Erinnerungen von Uwe Thomas, einem ehemaligen Ingenieur bei der AEG und späteren Mitarbeiter im BMFT, siehe Silicon Genesis Europe, 2006: *Round Table Interviews*. *Electronica 2006*. Transkript. Stanford, CA: Silicon Genesis. An Oral History of Semiconductor Technology. Stanford University. Ebenso fand auf Drängen des Verteidigungsministeriums 1965 bis 1968 eine Umwidmung des damaligen Fraunhofer Instituts für Elektrowerkstoffe (in der Folge Fraunhofer Institut für angewandte Festkörperphysik) statt, das als industriepolitische Grundlage der Stärkung deutscher Halbleiterkapazitäten dienen sollte (vgl. Trischler 2007: 37). Eine abmildernde, aber durchaus zustimmende Besprechung der zeitgenössischen Brandschrift zu dem Thema, *Die amerikanische Herausforderung* von Servan-Schreiber, vom damaligen Forschungsminister Stoltenberg wurde 1968 im Spiegel veröffentlicht. Siehe Gerhard Stoltenberg, 1968: *Abendlands Untergang (II)*: Besprechung von Servan-Schreiber: Die amerikanische Herausforderung. In: *Der Spiegel* 11, 154–157.

struktion der Energieversorgung für einen deutschen Satelliten erhielt die AEG, die konkurrierenden Anträge von Bölkow auf der Basis von Siemens' Zelltechnik gingen Mitte der 1960er-Jahre leer aus (Mener 2001: 293–295). Die AEG, Siemens, Bölkow und die Wacker Chemie, die schon in den frühen 1970er-Jahren in der Herstellung und Erforschung von kristallinem Silizium arbeitete, holten in den folgenden Jahren bis Mitte der 1970er-Jahre gewissermaßen die industriellen Entwicklungen nach, die in der amerikanischen Photovoltaikindustrie seit dem Sputnik-Start stattfanden. Wie auch die amerikanische Industrie kämpfte man mit technischen Problemen, die durch die Umweltbedingungen im Weltall und bei Raketenstarts gegeben waren. Vornehmlich die AEG, Siemens und Bölkow (später MBB) experimentierten mit alternativen Ausgangsmaterialien und verschiedenen Dünnschichttechnologien und versuchten, die Verlässlichkeit und Langlebigkeit ihrer Module zu erhöhen (ebd.: 295–300).³³

Wie im Fall der frühen Sonnenmotoren scheiterte die Photovoltaikindustrie in der terrestrischen Energieerzeugung noch vor der Konsolidierung der Industrie im amerikanischen entwicklungsstaatlichen Komplex und den europäischen Aufholprogrammen an den Erwartungen, die man bei der Entwicklung der ersten Siliziumphotovoltaikzelle hervorgerufen hatte. Schon einige Jahre nach der Euphorie um die Bell-Zellen hatten sich die ausufernden Erwartungen zum Einsatz der Technik in der Energieversorgung in völlige Ernüchterung verkehrt. Der Bericht der National Academy of Sciences zur Zukunft der Versorgung mit natürlichen Ressourcen, den Kennedy als eine Wiederbelebung der *Resources-for-Freedom*-Studie in Auftrag gab, erwähnte die Sonnenenergie in seinen Empfehlungen nicht einmal. Mittelfristig empfahl er die erneute Konzentration auf die Kohle, den Ausbau der Wasserkraft und die Entwicklung von Brutreaktoren und der Kernfusion – als Felder hohen Forschungspotenzials nannte der Report thermoelektrische Konverter und die Photosynthese.³⁴

33 Siehe zu den Entwicklungsschwerpunkten für Weltraumsolarzellen bei AEG/Telefunken im Einzelnen: Richard Epple, Willi Pschunder und Josef Wolf, 2003: Die Telefunken-Solarzelle. In: Erdmann Thiele (Hg.), *Telefunken nach 100 Jahren. Das Erbe einer deutschen Weltmarke*. Berlin: Nicolai, 162–170, hier: 164–168.

34 Siehe Committee on Natural Resources, 1962: *Natural Resources. A Summary Report. Committee on Natural Resources*. Washington, DC: National Research Council, National Academy of Sciences, 13–15. Für die Erarbeitung des Teils des Reports, der sich mit der Energieversorgung beschäftigt, war King Hubbert, ein Geologe von Shell, verantwortlich, der mit seinen Arbeiten zum Peak Oil Mitte der 1950er-Jahre berühmt wurde. Laut seinen Erinnerungen hatte er für die Konferenzserie, die dem Report schließlich zugrunde lag, nicht einmal Experten für *solar energy* eingeladen, was zwar nachweislich nicht stimmt, aber bezeichnend ist. Siehe Ronald Doel, 1989: *Interview with Dr. M. King Hubbert*, Bethesda, MD, January 27, 1989. Transkript. College Park, MD: Niels Bohr Library und Archives with the Center for History of Physics, American Institute of Physics, Session 7.

Die Jahre der Photovoltaik in den Weltraumprogrammen haben eine zweischneidige Bedeutung für die Entwicklung der Industrie. Einerseits ist ohne die Einbindung etlicher Forschungsinstitutionen, Wissenschaftler und ressourcenreicher technologieorientierter Unternehmen über die 1950er- und 1960er-Jahre nicht zu erklären, wie sich die vergleichbar komplexe und teure Photovoltaik in den Folgejahrzehnten außerordentlich erfolgreich gegen einfachere und weiter entwickelte Technologien zur Nutzung der Sonnenenergie durchsetzen konnte (wie etwa gegen Kollektoranlagen zur Wärmeversorgung und solarthermische Kraftwerke ähnlich den frühen Sonnenmotoren). Zumal viele der späteren Probleme der Energieerzeugung westlicher Gesellschaften viel mehr mit dem Wärme- und Transport- als mit dem Strombereich der Energieversorgung zu tun hatten. Die institutionellen wie diskursiven Verbindungen zu industriepolitischen Strukturen in westlichen Ländern, die im Umfeld des Militärs, der Halbleitertechnik und der Weltraumprogramme geknüpft wurden, haben die Entwicklung der Photovoltaik bis in die Gegenwart geprägt. Auch wenn die zunehmenden politischen Zielkonflikte um die deutsche Kohle und das amerikanische Öl sowie die Warnungen der Paley Commission schon andeuteten, in welchem Ausmaß aktive Energiepolitik OECD-Staaten über die nächsten Jahrzehnte beschäftigen sollte, ging der langsam in westlichen Gesellschaften aufziehende politische Problemdruck abseits von Nischenaktivitäten fast völlig an den unkonventionellen regenerativen Energietechnologien vorbei. Nicht nur bestand Energiepolitik zwischen dem Zweiten Weltkrieg und den 1970er-Jahren zumeist im Überkapazitätsmanagement statt im Verwalten von Engpässen, die seit Mitte der 1950er-Jahre forcierte Politik des »friedlichen Atoms« sollte zumindest bis in die 1970er-Jahre die neue technologische Grundlage der Hoffnungen auf eine politisch sichere, unerschöpfliche und kostengünstige Energieversorgung werden (Radkau 2008: 466).

Andererseits wurden Anwendung, Demonstration und Förderung der Photovoltaik zur Elektrizitätsversorgung entwickelter Gesellschaften, ob in der Breite oder in Nischenbereichen, nicht ernsthaft finanziert, solange man in der Prototypenentwicklung (von Zellen, Modulen oder Fertigungsanlagen) keine halbwegs verlässlichen Signale erhielt, dass der jeweilige Entwurf sich im Vergleich zu etablierten Energiequellen rechnen würde. Derartige Signale entstanden in der Photovoltaik allerdings, wie in den nächsten Kapiteln gezeigt wird, erst *nachdem* man sich kollektiv auf einen technischen Pfad eingelassen hatte. Die Geschichte der Entwicklung der Siliziumphotovoltaik in den Bell Labs ist ein gutes Beispiel für diesen alternativen Pfad technologischer Entwicklung. Ohls Zelle aus dem Jahr 1941 war keineswegs an sich vielversprechend. Der in ihr gemessene photovoltaische Effekt war kein ausreichend beeindruckendes Signal, um unmittelbar Anstoß zu einer Art kontinuierlicher Verbesserung genau dieser technischen

Variante zu geben. Vielmehr wurden die Forscher der Bell Labs durch die Forschung an Transistoren, der Signaltechnik und grundlegenden Fragestellungen der Festkörperphysik gewissermaßen unintendiert dabei gehalten, inkrementell an der Entwicklung der Technik zu arbeiten. Lester und Piore (2009) haben, wie oben erwähnt, in ihren Fallstudien zu Innovationsprozessen gezeigt, dass die Forschungsarme der Großkonzerne der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts einen Schutzraum darstellten, in dem inkrementelle technische Entwicklung und interdisziplinärer Austausch vor der kurzfristigen Rationalität und den Verwertungsimperativen geschützt waren, die mit wirtschaftlicher Konkurrenz einhergehen. Das Bell-System sowie die entwicklungsstaatlichen Netzwerke um die Raumfahrt boten der Technologie – trotz der vielen Abwege im Hinblick auf die Energieversorgung von Industriegesellschaften – genau diese Art von Schutz.

Kapitel 4

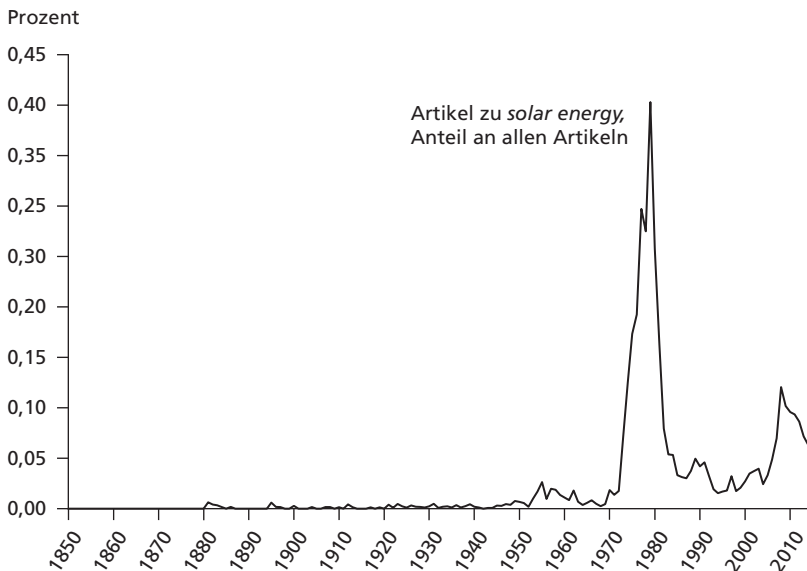
Neue Koalitionen um alte Interessen in der Energiekrise

Bis in die 1970er-Jahre änderte sich in den politisch-ökonomischen Konstellationen um die Photovoltaik in Deutschland wie in den USA nicht viel. Die Weltraumprogramme in beiden Ländern verloren ihre Dynamik spätestens Ende der 1960er-Jahre, wurden etwas realistischer konsolidiert und unaufgeregt weitergeführt. Die Photovoltaikindustrie hingegen fand neue Unterstützer, wurde Gegenstand einer erneuten Welle großer Hoffnungen und wurde zusammen mit anderen neuen Energietechnologien technisches, ideologisches und politisches Bindeglied eigentümlicher politisch-ökonomischer Koalitionen zum grundlegenden Umbau der Energieversorgungssysteme entwickelter Gesellschaften im Nachhall der Ölkrise 1973/1974 und 1979. Die Photovoltaikförderung entwickelte eine institutionelle Qualität, die Pierson (2004: 109–110) *common carrier* genannt hat. Mobilisierte die Sonnenenergienutzung ihre Unterstützer über ein Jahrhundert vor allem als eine unkonventionelle Nischentechnik unter vielen, verband sie in den 1970er- und 1980er-Jahren die verschiedensten politisch-ökonomischen Kräfte. In ihrer Unterstützung fanden praktisch Umweltbewegungen auf der Suche nach nachhaltigen Energiequellen, soziale Bewegungen gegen politisch-ökonomische Machtballungen und großtechnische Risiken, sicherheitspolitische Befürworter nationaler »energetischer Autarkie«, technisch-wissenschaftliche Kräfte, die erneut nach technischen Antworten auf gesellschaftliche Probleme suchten, und nicht zuletzt Unternehmen und ganze Industrien, die von der dringender als jemals zuvor wahrgenommenen Energiekrise profitieren wollten, zusammen. Insbesondere in den USA wurden in den späten 1970er-Jahren groß angelegte technologiepolitische Programme initiiert, um die terrestrische Photovoltaikanwendung zur Marktreife zu bringen. Es waren genau die gesellschaftlichen Koalitionen, die sich in den 1970er-Jahren um die Photovoltaikförderung bildeten, die die Technologie bis in das 21. Jahrhundert getragen haben und deren Formierung hier nachgezeichnet wird.

Im Unterschied zu vorherigen historischen Episoden der Entwicklung der Solarindustrie – die sich durchaus im Rahmen einer Art pluralistisch-materialistischen politischen Soziologie rekonstruieren lassen – spielten in den 1970er-Jahren verhältnismäßig amorphe gesellschaftliche Bewegungen, Ideen und de-

ren Einfluss auf politische Strukturen eine wesentlich bedeutendere Rolle. Es ist kein Zufall, dass die sozialwissenschaftliche Forschung zu den sozioökonomischen Umwälzungen der 1970er-Jahre häufig Wandlungsprozesse von Ideen, Problemdefinitionen und kulturellen Strukturen untersucht hat (siehe anstelle vieler: Hall 1993; Rodgers 2011). Stagflation, Rezessionen und Energiekrisen stellten Rezeptwissen infrage, auf dem die Regelung äußerst komplexer Wirkungszusammenhänge beruht hatte. Neue oder unerprobte Problemlösungen zur Neuregelung dieser Zusammenhänge – sowie die gesellschaftlichen Konflikte um ihre jeweilige Form – erforderten Annahmen und Voraussagen über eine Fülle zukünftiger Entwicklungen und Wechselwirkungen. Je mehr Formulierungen politischer Programme fundamentalen Unsicherheiten unterlagen, etwa über Wirtschaftswachstum, Energieverbrauch und Ressourcenvorräte der nächsten dreißig Jahre, darauf hin zu erwartende Einkommens- und Verteilungswirkungen und deren Effekte auf gesellschaftliche Koalitionsstrukturen und Wählerbewegungen, desto mehr verschoben sich Aushandlungen und Konflikte vom Übereinbringen feststehender Interessen hin zu Debatten, wie eine sinnvolle, nützliche und angemessene Energie-, Industrie- und Technologiepolitik auszuweisen hätte. In genau dieser historischen Situation waren Politikformulierungsprozesse relativ offen für breite gesellschaftliche Einflüsse. Zusätzlich waren Unterstützungsleistungen weniger von klar definierten Interessen abhängig als von Positionierungs- und Mobilisierungsversuchen im Hinblick auf mögliche zukünftige Szenarien (siehe zu derartigen Situationen generell: Beckert 2013; Mützel 2011). Unkonventionelle erneuerbare Energietechnologien im Allgemeinen, in den USA bis in die 1980er-Jahre häufig schlicht *solar energy* genannt, und die Photovoltaik im Besonderen erhielten in diesen Aushandlungsprozessen nie dagewesene – und gemessen an ihrer Politisierung auch nie wieder erreichte – gesellschaftliche, politische, wirtschaftliche und wissenschaftliche Aufmerksamkeit und Unterstützung (eine Annäherung gibt Abbildung 4-1).

Die institutionelle und industrielle Infrastruktur sowie die Versprechen, die im Gefolge der Förderprogramme der 1970er-Jahre um die Photovoltaik entstanden, hoben die Entwicklung der Technik zu ihrem terrestrischen Einsatz auf eine völlig neue Ebene. So groß allerdings die Hoffnungen auf eine solare Revolution waren, so schnell entstand unter Unterstützern Uneinigkeit und Konflikt, als die Industrie sich nicht so sprunghaft entwickelte wie ausgemalt. Nicht nur das: Industriell geriet das Rennen um die Profite der nahenden Solarrevolution schnell in eine Situation, in der Firmen vorsichtig wurden, sich nicht festzufahren, solange sie keine Signale dafür hatten, dass sie das mit genau der technischen Variante tun, die eine solche Revolution möglich machen würde. Der entstehende Sektor verhakte sich in der Folge in einer Reihe von Kollektivgutproblemen. Indem Firmen sich weigerten, Investitionen für Zwischenschritte auf dem Weg

Abbildung 4-1 Berichterstattung der New York Times zu *solar energy*, 1850–2013

Der Ausschlag in den 1970er-Jahren ist teilweise durch einen Bedeutungswandel des Begriffs bedingt: Von da an bezeichnete *solar energy* ausschließlich Anlagen zur direkten Nutzung der Sonnenenergie. Ähnliche Peaks lassen sich für semantisch stabilere Begriffe wie etwa *photovoltaic* abbilden (ein strukturell ähnliches Muster findet sich im Google-Books-Korpus).

Quelle: New York Times Labs.

zur kostengünstigen Photovoltaikfertigung zu leisten, widerlegten sie geläufige Vorhersagen über die industrielle Entwicklung, streuten neue Unsicherheit in das Unterstützerfeld und erhöhten die Anreize für alle beteiligten Akteure, wiederum Investitionen und Vorleistungen zurückzustellen. Wie in vorherigen Episoden der Entwicklung der Industrie entstand ein breites Feld konkurrierender Forschung an alternativen Zellkonzepten und – dies kam hinzu – alternativen Wegen, zu einer kostengünstigen Produktion durchzubrechen. Ernüchterung in diesem Feld zunehmend vereinzelter Konzeptentwicklung ließ die Dynamik des Sektors in den frühen 1980er-Jahren schließlich wieder abebben.

Ich gehe hier in vier Schritten vor. Erstens rekonstruiere ich entlang von ideengeschichtlichen Schlaglichtern die Entstehung zentraler kultureller Motive der frühen Förderpolitik für regenerative Energien. Zweitens arbeite ich den energiepolitischen Problemzusammenhang heraus, in dem die Energieforschungsprogramme der 1970er-Jahre standen, die erste Energiekrise seit 1972. Drittens verfolge ich die Anfänge der Förderung der Photovoltaikindustrie in

der Energiekrise in den USA und in Deutschland. Viertens führe ich vor, wie insbesondere in den USA in der zweiten Hälfte der 1970er-Jahre ein ernsthaftes Fördersystem entstand, mit dem regenerative Energien breit in die Energieversorgung gehoben werden sollten. Aufstieg und Niedergang dieses Systems für die Photovoltaik verfolge ich in einem fünften Schritt.

4.1 Politisierung und kultureller Wandel: Soziale Bewegungen, Gesellschaftskritik und Umweltkrise

Wesentliche gesellschaftliche Strömungen, die die Förderung der Photovoltaik in den 1970er-Jahren vorangetrieben haben, reichen in die Zeit vor den exogenen Schocks der Ölkrisen zurück. Sie haben ihren Ursprung in den Umwelt-, Friedens-, Antiatom- und Jugendbewegungen der 1960er- und 1970er-Jahre. Was Mitte der 1960er-Jahre in einer Reihe von Ländern und Feldern aufkam, ist nur schwer organisational, personell, materiell und ereignisgeschichtlich greifbar. Es handelt sich um ein Gemisch aus teils vagen und nicht immer kohärenten Deutungen, Problematisierungen, Unbehagen, Protest- und Wertartikulierungen, das sich in verschiedenen gesellschaftlichen Milieus, organisationalen Zusammenhängen und intellektuellen Strömungen Bahn brach. Was die sozialen Bewegungen der 1960er- und 1970er-Jahre zusammenhält, sie retrospektiv zu einem sozialen Gegenstand macht, sind viel mehr bestimmte Motive und Deutungsmuster sowie eine Menge teils lokaler, teils globaler Erfahrungen, Entwicklungen und Ereignisse als ein klar umrissener organisationaler Zusammenhang. Wie Radkau (2011: 11) es für die Umweltbewegung ausdrückt, muss die »Bewegung der Bewegung« ein Stück weit »in Geschichten dargestellt werden«.

Die »ökologische Revolution« von 1970 lässt sich aus keiner bestimmten Kausalität heraus erklären: weder aus einer vorhergegangenen Umweltkatastrophe noch aus bestimmten Diskursen oder den Interessen bestimmter sozialer Gruppen. Bei zeitlich und räumlich begrenzten Geschichten mögen sich bestimmte Kausalitäten abzeichnen, aber diese zerfasern, sobald man den räumlichen und zeitlichen Horizont weiter spannt. (ebd.: 160)

Zwei verbundene Motive der Umweltbewegungen sind für das Verständnis zentral, wie es die Photovoltaik in die Energietechnologieprogramme der 1970er-Jahre geschafft hat: die Überzeugung, dass moderne kapitalistische Gesellschaften auf Kosten ihrer natürlichen Substanz – und damit ihrer Zukunft – lebten, und ein Unbehagen an ihrer wahrgenommenen elitären Verkrustung, technokratischen Lähmung und wirtschaftlichen Vermachtung. Beide Motive bildeten in den Folgejahrzehnten regelmäßig den kulturellen Nährboden, auf dem sich

Koalitionen um die Nutzung der Sonnenenergie formierten. Zusätzlich stifteten die Krisenerfahrungen und gesellschaftlichen Konflikte der 1970er-Jahre – zusammen mit den ökonomischen, regulatorischen, politischen und legitimatorischen Problemen des Kernenergieausbaus – den bis dahin stärksten Anstoß zu umfassender und langfristiger politischer Planung in der Energiepolitik. Energiepolitik verlor etwas vom reaktiv-technokratischen Patchworkcharakter, den sie im regional zerklüfteten Energieversorgungssystem der USA und den Residuen des deutschen verbundwirtschaftlichen Modells der Energiewirtschaft lange Zeit innehatte. Sie wurde gewissermaßen von einer Frage technokratischer Regelung zu einem *politischen* Problem (vgl. unter vielen: Kitschelt 1983).

Die Umweltbewegungen der 1970er-Jahre hatten ihre wesentlichen Ursprünge in den USA der Nachkriegszeit. In der amerikanischen Gesellschaft gab es durchaus Vorläufer zivilgesellschaftlicher und politischer Naturschutzbewegungen, vor allem gegen Ende des 19. Jahrhunderts und unter beiden Roosevelt-Regierungen (Gottlieb 2005: Kap. 1 und 2; Shabecoff 2003: 59–88).¹ In den frühen 1960er-Jahren erlebte die Kritik an der menschlichen Naturschädigung und der Ausbeutung natürlicher Ressourcen einen enormen Auftrieb, besonders in der populärwissenschaftlichen Literatur. An erster Stelle sind hier Rachel Carsons einflussreiche Bücher zu nennen, ähnliche Gesellschaftskritik brach sich jedoch auch in der Literatur zur Stadt-, Industrie- und Elitenkritik Bahn (Gottlieb 2005: 121–134). Die jeweiligen Anstöße dieser Arbeiten reichten von der Kritik an der Verschmutzung von Flüssen und der Stadtluft über den Protest gegen den Einsatz von Pestiziden bis zu Forderungen nach dem Erhalt der ästhetischen Qualitäten intakter Natur- und Tierwelten. Das aufkeimende gesellschaftliche Interesse am Naturschutz wurde in den 1960er-Jahren durchaus auch politisch aufgenommen. In den USA wurde in den 1960er-Jahren eine Reihe von Bundesgesetzen zur Regelung des menschlichen Einflusses auf die Natur erlassen, etwa die Clean Air Acts, 1963 und 1967, die Clean Water Acts, 1960 und 1965, der Wilderness Act, 1964, der Land and Water Conservation Fund Act, 1965, der National Wild and Scenic Rivers Act, 1968, der Endangered Species Act, 1969, und der National Environmental Policy Act, 1969 (Hays [1987]1993: 52–53).

Die Naturschutzbewegungen der Nachkriegszeit beehrten nicht bloß aufgrund persönlicher Betroffenheit auf, es handelte sich im Kern nicht um bloße *Not-in-my-Backyard*-Bewegungen, auch wenn sich Proteste, was nicht verwundern sollte, regelmäßig um solche Teile der natürlichen Umwelt entwickelten, an

¹ Radkau (2011: 58–100) gibt einen kurzen Überblick der Umweltbewegungen zwischen dem späten 19. Jahrhundert und dem Zweiten Weltkrieg, mitsamt interessanten Einblicken in die Auseinandersetzung mit der Natur im NS-Regime.

deren bloße Existenz oder an deren Nutzung Gemeinschaften sich gewöhnt hatten.² Vielmehr entwickelte sich aus einer Vielzahl einzelner Problemwahrnehmungen ein grundlegendes Bündel an Unbehagen und Überzeugungen, dass es um die nahe Zukunft moderner Gesellschaften nicht gut bestellt sei, wenn sie an ihrem Umgang mit ihrer Umwelt nichts änderten. Systemkritische Spielarten dieses Unbehagens tauchten gegen Ende der 1960er-Jahre vor allem in biologischen Wiederbelebungen bevölkerungspolitischer Debatten auf. In einer Mischung aus spieltheoretischen Überlegungen und biologisch reformulierten malthusianischen Bevölkerungstheorien (inklusive einer drastischen Forderung nach staatlichen Geburtenkontrollen) versuchte Garrett Hardin 1968 das Problem der späten industriellen Gesellschaften mit ihrer natürlichen Umwelt als klassische Allmendetragödie zu reformulieren.³ Hardin nannte Allmendetragödien, wozu er sowohl das sich verschlechternde Verhältnis natürlicher Ressourcenvorräte zu Bevölkerungsmenge in einem Regime des *freedom to breed* als auch die industrielle Umweltverschmutzung zählte, *no technical solutions problems*. Wie zuvor Jevons richtete er sich gegen die Selbstverständlichkeit, mit der Experten, Planer und, wie er es ausdrückte, »most people who anguish over the population problem«, davon ausgingen, dass sich der offenkundige Widerspruch zwischen exponentiell wachsenden Ressourcenbedarfen und einer – zumindest mittelfristig – natürlich begrenzten Ausstattung mit Ressourcen spontan technisch lösen ließe. »[It] is clear«, stellte er seinen Ausführungen voran, »that we will greatly increase human misery if we do not, during the immediate future, assume that the world available to the terrestrial human population is finite.« So fern derartige Überbevölkerungsorgen aus heutiger Sicht wirken mögen (auch zur damaligen Zeit hatten sie kein reales demografisches Korrelat in westlichen Industriegesellschaften selbst), hatten die Thesen Hardins und anderer Biologen einen weitreichenden öffentlichen Nachhall. Im Jahr 1970, berichtet Gottlieb (2005: 332), hatte die auf die bevölkerungspolitischen Debatten hin gegründete Organisation Zero Population Growth 33.000 Mitglieder in 380 regionalen Charters allein in den USA.⁴ Die Debatte um die Bevölkerungskrise zog sich bis

2 Beispiele sind etliche Proteste gegen Raffinerien und andere Industrieanlagen an Küsten, gegen Highways entlang beliebter Naturabschnitte, gegen Talsperren in Erholungsgebieten, gegen die Ableitung von Industrieabfällen in Flüsse und andere Gewässer und gegen die Umweltfolgen des Bergbaus (Hays [1987]1993: 529).

3 Garret Hardin, 1968: The Tragedy of the Commons. In: *Science* 162(3859), 1243–1248.

4 Die oftmals vornehmlich von Frauen getragene Organisation für ein kinderloses oder kinderarmes Leben, deren wesentliche Forderungen in den 1970er-Jahren in verschiedensten Formen der medizinischen oder persönlichen Geburtenkontrolle bestanden, sah sich in der Folge wiederholt Vorwürfen aus progressiven Kreisen ausgesetzt, rassistisch durchgesetzt zu sein, von bevölkerungspolitischen zu eugenischen und einwanderungsfeindlichen Programmen übergegangen zu sein (Gottlieb 2005: 299, 332–334).

in die 1970er-Jahre und tauchte bei Autoren jeglicher politischen Orientierung auf. In der ersten Ausgabe des britischen Journals *The Ecologist*, das 1972 mit einem Forderungskatalog zu einem nachhaltigen Umbau der Weltgesellschaft namens *A Blueprint for Survival* berühmt wurde,⁵ konnte der Zoologe Aubrey Manning unter dem Titel *No Standing Room* verkünden: »Of all the pollution problems facing mankind, over-population is undoubtedly the most serious. [...] Britain faces an immediate population problem and unless we do something rapidly to curb our growth the quality of life will plummet.«⁶

So wenig die Thesen der Bevölkerungsbiologen auch eins zu eins in die Forderungen breiter Protestbewegungen wirkten (siehe, ihren Einfluss abschätzend, Radkau 2011: 158–160), so sehr drückten sie zwei zentrale politische Motive der Umwelt- und Ressourcendebatten der 1970er-Jahre aus: den Eindruck, dass man als Gesellschaft aufgrund systemischer oder unintendierter Dynamiken an natürliche Grenzen stoße, inklusive eines dazugehörigen Verlangens nach Wiederherstellung kollektiver Vernunft, und implizite Forderungen nach systematischer und langfristiger kollektiver Planung, nach einem vernunftgesteuerten kollektiven Ansatz, menschliches Leben als solches und menschliches Wohlergehen auf einer grundlegenden Ebene zu sichern und sich rational mit dem Ökosystem der Menschheit auseinanderzusetzen. Es sind diese Motive, die dem legendären ersten Report an den 1968 gegründeten Club of Rome, *The Limits to Growth*, zugrunde lagen. Der Club, ein zuerst informeller internationaler Zusammenschluss aus dreißig Wissenschaftlern, Mitarbeitern von Nichtregierungsorganisationen, Aktivisten und Geschäftsleuten, wollte mit dem Projekt Wissen über die, wie er sie nannte, »world problematique«, verbreiten, den »complex of problems troubling men of all nations: poverty in the midst of plenty; degradation of the environment; loss of faith in institutions; uncontrolled urban spread; insecurity of employment; alienation of youth; rejection of traditional values; and inflation and other monetary and economic disruptions«.⁷ Wie eine Reihe von Publikationen der späten 1960er- und 1970er-Jahre verstand sich das Projekt als Versuch, der zeitlich und geografisch beschränkten Problemwahrnehmung von Individuen, Organisationen und Regierungen eine langfristige und umfassende wissenschaftliche Perspektive zur Seite zu stellen.⁸ Die Simulationsmodelle des Systemforschers Forrester, die die Gruppe am MIT dazu mit Daten zu Ressour-

5 Edward Goldsmith et al., 1972: *A Blueprint for Survival*. In: *The Ecologist* 2(1), 1–23.

6 Aubrey Manning, 1970: *No Standing Room*. In: *The Ecologist* 1(1), 7–10, 7.

7 William Watts, 1972: Foreword. In: Donella H. Meadows et al. (Hg.), *The Limits to Growth. A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. New York: Universe Books, 9–12, 10.

8 Donella H. Meadows et al., 1972: *The Limits to Growth. A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. New York: Universe Books, 18–19.

cenverbrauch und geschätztem Vorrat, landwirtschaftlicher Produktion, Geburten- und Sterberaten, wirtschaftlichen Wachstumszahlen, Umweltbelastungen und allerlei weiteren Informationen fütterte, prophezeiten nichts Gutes für den Fall, dass der zeitgenössische Status quo sozioökonomischer Organisation beibehalten werden sollte. Durchweg präsentierten Meadows und Kollegen Kurvendiagramme (für »das Standardmodell« für den Zeitraum von 1900 bis 2100), bei denen »exponentielles Verbrauchswachstum« (bei Malthus und Jevons [1865: 148–149] noch »geometrisches Wachstum« genannt) abnehmenden Ressourcenvorräten oder langsamer wachsenden Verbrauchsgütern entgegenstand, wenn die Weltgesellschaft nicht lerne, mit einem »simple fact« umzugehen, »the earth is finite«:⁹

The behavior mode of the system [...] is clearly that of overshoot and collapse. In this run [des Simulationsmodells] the collapse occurs because of nonrenewable resource depletion. The industrial capital stock grows to a level that requires an enormous input of resources. In the very process of that growth it depletes a large fraction of the resource reserves available. As resource prices rise and mines are depleted, more and more capital must be used for obtaining resources, leaving less to be invested for future growth. Finally, investment cannot keep up with depreciation, and the industrial base collapses, taking with it the service and agricultural systems, which have become dependent on industrial inputs. [...] For a short time the situation is especially serious because population, with the delays inherent in the age structure and the process of social adjustment, keeps rising. Population finally decreases when the death rate is driven upward by lack of food and health services. [...] We can thus say with some confidence that, under the assumption of no major change in the present system, population and industrial growth will certainly stop within the next century, at the latest.¹⁰

Auch gaben alternative Szenarien des MIT-Modells nicht viel mehr Anlass zur Hoffnung. Würden unbegrenzte Ressourcen angenommen (etwa unter der Annahme, dass die Entwicklung der Kernfusion zur Energieversorgung halten sollte, was sie versprach), würde sich der Kollaps des Systems aufgrund der Umweltverschmutzung ereignen.¹¹ Mit Umweltschutz und unbegrenzten Ressourcen sei es das Bevölkerungswachstum unter Bedingungen natürlich begrenzter Fläche zur Nahrungsmittelproduktion, das das System zum Kippen bringen würde usw.¹² *Limits to Growth* lief in seinen Politikempfehlungen darauf hinaus, dass man sich in naher Zukunft auf »some sort of nongrowing state for human society« einrichten müsse, um eine Gesellschaftsordnung zu schaffen, die im 21. Jahrhundert dem Kollaps entgehen könne.¹³

9 Ebd.: 86.

10 Ebd.: 125–126.

11 Ebd.: 132.

12 Ebd.: 136.

13 Ebd.: 167.

Es ist schwer möglich, im Einzelnen einzuschätzen, welchen gesellschaftlichen und politischen Einfluss die Meadows-Publikation hatte.¹⁴ Eine Vielzahl an Schriften und Debatten zu ökologischen Themen in den 1970er- und 1980er-Jahren griff implizit oder explizit auf Themen zurück, die *Limits to Growth* etabliert oder bekannt gemacht hatte. Dahrendorf bemerkte 1974 angesichts der gesellschaftlichen Konfliktpotenziale, die ein längerfristiger Wachstumseinbruch haben könnte, mit Bedauern, dass die politische Diskussion der *Limits to Growth* ein hauptsächlich amerikanisches Phänomen sei.¹⁵ Die Studie wurde abseits von Regierungen und Parlamenten Teil einer Bewegung aus wissenschaftlichen, populären und politischen Reflexionen zur Nachhaltigkeit des Wachstumsmodells der Nachkriegszeit in den 1960er- und 1970er-Jahren, noch bevor man einige Jahre später lernen musste, dass es sich selbst dann nicht aufrechterhalten ließ, wenn man denn wollte. Wie in vielen Ländern wurden in den *Limits to Growth* enthaltene Argumente in Deutschland als Gründe diskutiert, die Wirtschaft staatlich zu modernisieren, etwa sektorale Restrukturierung und technische Innovationen voranzutreiben.¹⁶ Und insbesondere die sozialliberale Regierung in Deutschland richtete immer wieder indirekte Stellungnahmen zur Wachstumsdebatte an soziale Bewegungen und Bürgerinitiativen, verstärkt im Kontext des von ihr als notwendig empfundenen Kernkraftausbaus.¹⁷ Der Tenor dieser Beschwichtigungsversuche war überwiegend, dass sich demokratisch-kapitalistische Ordnungen, wie man sie aus den Nachkriegsjahrzehnten kannte, ohne Wachstum nicht erhalten lassen würden – obwohl sich die sozialliberale Regierung den Umweltbewegungen oft insoweit anschloss, als über »qualitatives Wachstum« nachgedacht werden müsse (überblicksweise Abelshäuser 2009: 340–343).¹⁸ Gleichzeitig führte die Entstehung neuer politischer Konfliktlinien und Semantiken um Umwelt- und Ressourcenprobleme wiederholt zu Verwirrungen. Progressive Regierungen der 1970er-Jahre kämpften an mehreren unscharf verlaufenden Fronten. »Für Wachstum zu sein« bedeutete in den 1970er-Jahren vor allem, sich gegen konservative und wirtschaftsliberale Kräfte zu verteidigen, die für Preisstabilität und konsolidierte Staatshaushalte warben

14 Ein Einordnungsversuch der deutschen Debatte findet sich bei Graf (2014: 227–230).

15 Ralf Dahrendorf et al., 1974: *Die Energiekrise. Episode oder Ende einer Ära*. Hamburg: Hoffmann und Campe, 101–102.

16 Siehe etwa Hans Matthöfer, 1975: Vorwort. In: Volker Hauff und Fritz W. Scharpf (Hg.), *Modernisierung der Volkswirtschaft. Technologiepolitik als Strukturpolitik*. Frankfurt a.M.: Europäische Verlagsanstalt, 7–8.

17 Siehe etwa Hans Matthöfer, 1977: Kernenergie – die Bewältigung unserer Zukunft als Chance und Risiko. In: *Gewerkschaftliche Monatsberichte* 1977(10), 626–633.

18 Siehe etwa Hans Matthöfer, 1980: Wachstumsgrenzen – Die Wirtschaft und die Lebensstilfrage. In: Karl Ernst Wenke (Hg.), *Die Lebensstilbewegung: Eine Zwischenbilanz*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 157–172, hier: 157, 164–165, 171–172.

(Bell 1978: 79–80; Kitschelt 1983: 312). Der damalige Forschungsminister Hans Matthöfer etwa gab sich noch im Jahr 1976 in einem Streitgespräch verwundert, dass »fortschrittliche Schriftsteller [...] sich auf einmal an der Seite von Konservativen und religiösen Schwärmern finden«. ¹⁹ Auch wurde in der SPD-Führung der 1970er-Jahre wiederholt die Kritik geäußert, Umweltschutz und Forderungen nach einem Ende des Wirtschaftswachstums seien die geistigen Kinder westlicher Oberschichten und eines gesinnungsethischen Überschwangs. Helmut Schmidt etwa wurde später mit den Worten zitiert, Ökologie sei »eine Marotte gelangweilter Mittelstandsdamen«. ²⁰ Matthöfer, noch überzeugt von der lange für gültig gehaltenen Annahme, Energie- und Wirtschaftswachstum seien zumindest mittelfristig natürlich aneinander gekoppelt, warnte:

Ein Energie- und damit Wirtschaftsnullwachstum widerspricht eindeutig den Interessen der Arbeitnehmerschaft. Nach meiner Diskussionserfahrung wächst die Tendenz, Nullwachstum zu fordern, insbesondere bei denjenigen, die über ein gesichertes Einkommen von 5000 DM und mehr im Monat verfügen. ²¹

Neben der Popularisierung neuer politischer Konfliktlinien um das Wachstumsmodell der Nachkriegszeit war die Meadows-Studie Teil einer Verbreitung langfristiger Szenarioanalysen und – wohl noch folgenreicher – der Behandlung von Umwelt- und Ressourcenproblemen in systemtheoretischen Kategorien. Sollte »das System kippen«, war es für politische Eingriffe zu spät – ein Bild, das reaktive Politikstile, die in der westlichen Energiepolitik in Friedenszeiten weitgehend die Norm waren, grundlegend delegitimierte. Zuletzt trug das Buch der Meadows dazu bei, ein Gefühl der Krise und ein umweltpolitisches Hinterfragen salonfähig zu machen, inwieweit die Lebens- und Wirtschaftsweise westlicher Gesellschaften mit ihrem Wertekanon übereinstimmten.

So wenig die Problemwahrnehmungen zwischen Politik und aktivistischer Wissenschaft aus einem Guss waren, so wenig fügten sich gesellschaftskritische Bewegungen in die Politisierung der Umwelt. Die wissenschaftlichen Beiträge um 1970 und ihr Aufgriff in der nationalen und internationalen Politik überlappten sich nicht immer mit der Problemwahrnehmung sozialer Bewegungen. Wie Enzensberger es 1972 in einer Art Aufruf zum Misstrauen in die neue Salonfähigkeit ökologischer Rationalität ausdrückte, schien die Warnung vor der ökologischen Katastrophe, insbesondere dann, wenn sie wie im Fall des Club of Rome von den »representatives of monopoly capitalism« stammte, »almost always [...] with an appeal to the state« zu enden. »Under present political con-

19 Matthöfer in einem Streitgespräch mit Carl Amery, 1976, zitiert in Abelshauer (2009: 342).

20 Erhard Eppler und Stefan Reinecke, 2013: Erhard Eppler über 150 Jahre SPD. In: *taz.de*, 23. Mai.

21 Hans Matthöfer, [1976]1977: *Interviews und Gespräche zur Kernenergie*. Heidelberg: C.F. Müller, 84.

ditions this means that it appeals to reformism and to technocratic rationality.«²² Spielarten der Debatten um die undemokratischen Züge einer Umweltschutzpolitik durch technokratische »alliances from above«²³ – wie sie in erster Linie in einigen der oben erwähnten bevölkerungspolitischen biologischen Schriften auftauchten – hielten sich in den verschiedensten Formen bis in die Gegenwart (siehe zur langen Debatte um das »Demokratieversagen« im Umweltschutz einerseits und die Sorge vor der »Ökodiktatur« andererseits: Buchstein 2012; Saretzki 2011). In der staatlich forcierten Umweltschutzpolitik, so Enzensberger, würde das Monopolkapital auf Staatskosten von der Vermeidung seines eigenen Untergangs profitieren:

The rapidly expanding eco-industrial complex makes profits in two ways: on the straightforward market, where consumer goods for private consumption are produced with increasing pollution, and in another where that same pollution has to be contained by control techniques financed by the public.²⁴

Das Misstrauen in jenen staatlich-großindustriellen Komplex, vor dem Enzensberger warnte, war auch außerhalb neomarxistischer Gegenwartskritik – die in einigen Hinsichten ihren Schwerpunkt in den europäischen Protestbewegungen hatte – ein wiederkehrendes Motiv sozialer Bewegungen, insbesondere in den frühen später New Left genannten amerikanischen Jugendbewegungen und den später an Gewicht gewinnenden politisch durchmischten Antiatombewegungen. Unter den international einflussreichsten Publikationen zu den Jugendprotesten der späten 1960er-Jahre war Charles Reichs Buch *The Greening of America* (Siegfried 2006: 59). Reich führte das Protestpotenzial, das sich in fast allen westlichen Gesellschaften Bahn brach, auf eine einfache Wertekritik an einer durch korruptierte Systemdynamiken entglittenen gesellschaftlichen Realität und eine dazugehörige »experience of powerlessness« des Individuums zurück:

The new consciousness is the product of two interacting forces: the promise of life that is made to young Americans by all of our affluence, technology, liberation and ideals, and the threat to that promise posed by everything from neon ugliness and boring jobs to the Vietnam War and the shadow of nuclear holocaust. Neither the promise nor the threat is the cause by itself; but the two together have done it.²⁵

Reichs in Teilen wütende Krisendiagnose sah die Gründe dafür, dass die amerikanische Gesellschaft in etlichen Belangen für Dinge verantwortlich schien,

22 Hans Magnus Enzensberger, [1973]1974: Critique of Political Ecology. In: *New Left Review* 84(03/04), 3–31, 10–11.

23 Ebd.: 10.

24 Ebd.: 12.

25 Charles A. Reich, [1970]1972: *The Greening of America*. Harmondsworth: Penguin Books, 17, 184; Hervorh. entfernt.

die ihren fundamentalen Werten widersprachen, in einer Entwicklung, die mit der Industrialisierung einsetzte, und die, »in Karl Polanyi's phrase, placed man under the rule of laws that were not human«. ²⁶ Naturzerstörung, Ressourcenausbeutung, sinnlose Kriege, bürokratische, politische und polizeiliche Repression, Massenbenelung und -bestechung in Konsum, Medien und durch den Staat, Kernwaffenarsenale apokalyptischen Ausmaßes, die Verarmung des Bildungssystems und der Kultur, der Ausschluss großer Teile der Bevölkerung von wirtschaftlichen Chancen, die Zersetzung des gesellschaftlichen Zusammenhalts und die Sinnkrise immer weiterer Teile der amerikanischen Bevölkerung sollten Folgen eines inkrementellen Prozesses gesellschaftlicher Verkrustung sein. ²⁷ Mit der Konzentration wirtschaftlicher Macht seit der Jahrhundertwende, dem Ausbau des Staats im New Deal und der Bürokratisierung und Professionalisierung in der Nachkriegszeit habe sich eine undurchlässige, technokratische und undemokratische Struktur entwickelt, die Reich den *Corporate State* nannte:

The logic and necessity of the new generation – and what they are so furiously opposed to – must be seen against a background of what has gone wrong in America. It must be understood in light of the betrayal and loss of the American dream, the rise of the Corporate State of the 1960s, and the way in which that State dominates, exploits, and ultimately destroys both nature and man. Its rationality must be measured against the insanity of existing »reason« – that makes impoverishment, dehumanization, and even war appear to be logical and necessary. Its logic must be read from the fact that Americans have lost control of the machinery of their society, and only new values and a new culture can restore control. ²⁸

Reich griff wiederholt auf konventionelle progressive Gesellschaftskritik zurück. In seiner Behandlung des *state-building* im New Deal etwa konnte er nicht oft genug betonen, dass dieser von hehren Motiven getragen wurde. Dennoch scheint in seiner Schrift wie bei etlichen progressiven Denkern der 1960er- und 1970er-Jahre immer wieder eine progressive Variante jeffersonischen demokratischen Denkens durch. Er verband seine Zeitdiagnose mit Forderungen nach einer Ermächtigung des Individuums und der lokalen Gemeinschaft, nach direkten politischen Beteiligungsformen, dezentralen autonomen Organisationsstrukturen, wirtschaftlicher Entflechtung und der Stärkung einer unabhängigen Gestaltung der Lebensführung. ²⁹

26 Ebd.: 32.

27 Ebd.; siehe zur Naturzerstörung 31, 145; zur Ressourcenausbeutung 159; zu Kriegen 180–182; zur Konsumkritik 40, 157; zur Ungleichheit 138; zur Monopolkritik 38, 90; zur Bildung 151–152; zur Zersetzung der »social fabric« 177–179; und zur Sinnkrise 127–131.

28 Ebd.: 12.

29 Ebd.: 103–109, 131, 163, 198–200, 320–321. Reich hatte zuvor einen recht einflussreichen Artikel zum Eigentumsrecht in Johnsons *Great Society* verfasst, der seine Gesellschaftskritik noch klarer zum Ausdruck bringt. Er kritisierte darin eine Entwicklung, die er »The New Feudalism« nannte: »The wealth of more and more Americans depends upon a relationship to government.

Kitschelt hat das durchaus innovative ideologische Gemisch aus progressiven und staatskritischen politischen Positionen, das sich bei Reich finden lässt, *Left-Libertarian* genannt:

They oppose the priority that economic growth has on the political agenda, the patterns of policy making that restrict democratic participation to elite bargaining among centralized interest groups and party leaders, and the bureaucratic welfare state. Their political alternatives conform neither to traditional conservative nor to socialist programs, but link libertarian commitments to individual autonomy and popular participation, with a leftist concern for equality. (Kitschelt 1988: 195)

Zumindest in den USA wurde die Erneuerung libertären Denkens zu einem guten Teil von politisch progressiven Bewegungen vorangetrieben, bevor sie gegen Ende der 1970er-Jahre in konservative politische Programme floss (Rodgers 2011). In mancherlei Hinsicht kann die staats- und institutionenkritische Schlagseite der sozialen Bewegungen der 1970er-Jahre, die sich abgeschwächt auch in der deutschen Korporatismuskritik fand, mit der retrospektiv überraschenden Unbeweglichkeit erklärt werden, die etablierte Organisationen und Institutionen der Konfliktfilterung den Protestbewegungen entgegenbrachten. In Deutschland konnten sich weder die SPD in der Großen Koalition noch die oppositionelle FDP hinreichend für die sozialen Bewegungen öffnen. Ebenso wenig schafften es die sozialliberalen Regierungen, trotz der anfänglichen Entspannungspolitik und der späteren Dialogversuche, und etablierte intermediäre Organisationen, das Konfliktpotenzial in der Breite aufzunehmen – insbesondere in der späteren Hochzeit des Antiatomprotests (siehe zu dieser Erklärung della Porta/Rucht 1995: 247–252; Siegfried 2006: 62).

In wohl keiner der sozialen Bewegungen der 1960er- und 1970er-Jahre kam die institutionenkritische Schlagseite der Gesellschaftskritik so deutlich

Increasingly, Americans live on government largess – allocated by government on its own terms, and held by recipients subject to conditions which express ›the public interest‹ (722). Inso weit klassische Formen des geschützten individuellen Eigentums durch Ansprüche ersetzt werden, die nur unter Regierungsvorbehalt gelten, entsteht für Reich eine Dynamik, mit der Regierungen ihre Möglichkeiten sozialer Kontrolle massiv ausdehnen, die das Individuum graduell um seine Selbstbestimmungsmöglichkeiten bringt und in der neue staatlich bestimmte Ungleichheiten und private Machtkonzentrationen florieren. Reich nannte beispielhaft regulierte Monopole, durch Regierungen erwirkte »freiwillige Preisbeschränkungen« und Konzentrations-tendenzen im *military-industrial complex* und der Atomwirtschaft. Reichs Reformvorschlag bestand vor allem darin, den Regierungsvorbehalt über dieses »neue Eigentum« zu schwächen, die öffentlichen Bezüge von Individuen zu schützen, wie man ihr Privateigentum schützt. Gleichzeitig belebte er mit seinem Papier eine Argumentation im progressiven politischen Spektrum wieder, in der Privateigentum eine Schutzvorrichtung gegen staatlich-bürokratischen Einfluss auf die individuelle Lebensgestaltung wird – ein Grundmotiv, das für Unterstützer der Sonnenenergienutzung enorme Relevanz entwickeln sollte. Siehe Charles A. Reich, 1964: The New Property. In: *Yale Law Journal* 73(5), 733–787.

zum Ausdruck wie in den Antiatombewegungen und in den energiepolitischen Bürgerbewegungen im Nachhall der ersten Ölkrise 1973/1974. Antiatombewegungen gewannen parallel und teilweise in Überschneidung mit den Umweltschutzdebatten der 1960er-Jahre schon zu Beginn des Jahrzehnts an Auftrieb. Sie griffen die Angst vor dem Atomkrieg auf, richteten sich – vor allem in den USA – gegen Kernwaffentests, die internationale Verbreitung von Kernwaffen und gegen die nukleare Aufrüstung: ein Forderungsbündel, das sich mit den Motiven von Friedensbewegungen verband und, im Fall der Proliferationsfurcht, durchaus mit konservativen Sicherheitsinteressen zu vereinbaren war (Radkau 1983: 434–439). »Das Atom«, berichtet Radkau (1983: 435) auf Basis von Umfragedaten, wurde lange Zeit »ganz überwiegend mit der Bombe und viel seltener mit dem Reaktor assoziiert.« Die sozialen Bewegungen gegen den Einsatz der Kernkraft in der Energieerzeugung begannen in Deutschland auf lokaler Ebene und keinesfalls in typischen Protestmilieus. Lokale Proteste gegen großtechnische Anlagen, besonders gegen Wasserwerke, haben eine lange Geschichte in modernen Gesellschaften (Rucht 2002: 80–82). Die Proteste gegen die Atomenergie entwickelten seit Mitte der 1970er-Jahre eine andere Qualität. Sie brachen nicht nur mit den lokalen Schwerpunkten großtechnischen Protests (und dass obwohl sie zumindest in Deutschland von unzähligen lokalen Bürgerinitiativen getragen wurden), sondern beeinflussten nachhaltig politische Koalitionsgefüge, den Blick auf die Großtechnik als solche und – das soll hier nachgezeichnet werden – das Verständnis von Staat, Industrie und Institutionen in der Energiewirtschaft.

Die ersten Proteste gegen Kernkraftprogramme wurden jeweils auf lokaler Ebene durch Pläne für einzelne Forschungsreaktoren, Minen oder Kraftwerke angestoßen. In den USA reichte dieser Widerstand lokaler Initiativen bis in die späten 1950er- und war bis zum Ende der 1960er-Jahre schon relativ breit organisiert. Mitte der 1960er-Jahre gab es in den USA bereits aufgeklärte und technikspezifische Debatten um Vorschriften für Strahlengrenzwerte von Kraftwerken und ihre Konstruktion, die es in die Medien schafften und eine Reihe kompetenter öffentlicher und wissenschaftlicher Kritiken an den Genehmigungsverfahren für Kernkraftwerke einleiteten (Hays [1987]1993: 178–179). In gewisser Hinsicht paradigmatisch für spätere wissenschaftliche Interventionen veröffentlichten Wissenschaftler am Massachusetts Institute of Technology 1971 unter dem Banner der von ihnen 1969 gegründeten und noch heute aktiven Union of Concerned Scientists die erste »unabhängige« wissenschaftliche Studie zur Reaktorsicherheit.³⁰ Nicht nur informierten »abtrünnige« Wissenschaftler

30 Man muss sich vergegenwärtigen, was es heißt, wenn von »unabhängigen Studien« gesprochen wurde, um das kulturelle Gemisch zu verstehen, dem ich hier nachgehe. Eine Beschreibung der

und Experten Bürgerbewegungen, sie vertraten deren Belange teilweise öffentlich und kritisierten wiederholt die regulatorischen Entscheidungen der gleichzeitig für Kernkraftforschung, Kernkraftförderung und Reaktorgenehmigungen verantwortlichen Atomic Energy Commission. Zumindest im Vergleich zur Bundesrepublik hatten Protest- und Umweltbewegungen in den USA wesentlich häufiger damit Erfolg, den Komplex aus Politik, Verwaltung, Wissenschaft und Wirtschaft um die Kerntechnik zumindest prozedural zu brechen (Kitschelt 1986: 76).

Proteste in Deutschland entstanden später, was wohl schlicht mit dem späteren Beginn des Kernenergieausbaus und den fehlenden heimischen Atomwaffentests zu tun hatte, und entwickelten erst später eine spezifisch gegen die zivile Kerntechnik gerichtete professionelle Struktur (Radkau 1983: 446). Die ersten Proteste, etwa gegen Forschungsreaktoren oder die Auskundschaftung von Uranvorräten, wurden von Gemeindeeliten getragen und richteten sich seltener gegen die technikspezifischen Gefahren der Kernkraft (ebd.: 441–445). Gründungsmomente der Antiatombewegungen der 1970er-Jahre waren die zumeist juristischen und medial einflussreichen Widerstände gegen den Bau des Kernkraftwerks in Würgassen seit 1968 und die Proteste gegen den Kraftwerksbau in Wyhl seit 1972. Der Widerstand in Würgassen wurde von lokalen Initiativen angetrieben, unter anderem vom Vorstand des lokalen Ablegers des sogenannten Weltbunds zum Schutze des Lebens, Max Otto Bruker. Bruker veröffentlichte 1968 eine Art Brandbrief in der Deutschen Volkszeitung, der unter dem Titel »Der Notstand der Demokratie – aufgezeigt am Kernkraftwerk Würgassen« ein wesentliches Motiv des nächsten Jahrzehnts antinuklearen Protests formulierte. »Es gibt wenig Vorgänge«, klagte Bruker an, »an denen sich in so klassischer Weise zeigen lässt, in welcher brutaler Weise bestimmte finanzmächtige Gruppen die Existenzgrundlagen des Volkes aufs Spiel setzen, um im Verein mit der etablierten Macht ihre Geschäfte durchzusetzen. Es ist einleuchtend, dass dies nicht möglich wäre, wenn das Volk richtig informiert würde. Es würde sich dann zur Wehr setzen.« Durch »Nachrichtensperre, bewusste systematische Fehlinformationen, Verbreitung unwahrer Angaben und diktatorische Maßnahmen« werde »das Prinzip Demokratie zur Farce gemacht«.³¹ Die Angst vor der Gefährdung durch Atomkraftwerke hatte bei Bürgerinitiativen und Aktivisten ein Bedürfnis danach geweckt, weitreichender über medizinische wie ökologische Risiken

Gründung der UCS im Jahr 1969 und ihrer Motivation findet sich bei Finn Aaserud, 1986: *Interview with Dr. Henry Kendall, MIT, Cambridge, MA, November 26, 1986*. Transkript. College Park MD: Niels Bohr Library and Archives with the Center for History of Physics, American Institute of Physics.

31 Max Otto Bruker, 1968: Der Notstand der Demokratie – aufgezeigt am Atomkraftwerk Würgassen. In: *Deutsche Volkszeitung*, 12. Juli, 9, eingeordnet und zitiert nach Radkau (1983: 447).

und technische Abwägungen informiert zu werden. Darüber hinaus setzte sich in den Stellungnahmen und Widerstandsbewegungen die Überzeugung durch, dass man hier gegen einen verselbstständigten Komplex aus Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Wissenschaft und seine »Planungswillkür« vorging. Der Eindruck, dass das öffentliche Interesse *gegen* Staat, Wissenschaft und Wirtschaft im Protest verteidigt werden musste, wurde vor allem durch die Szenen um die Widerstandsbewegung gegen den Bau des Kernkraftwerks im baden-württembergischen Wyhl bestärkt. Wyhl war eine Art Blaupause für spätere friedliche Antiatomproteste.³² Die zivilgesellschaftliche Opposition gegen Entscheidungen von Politik, Verwaltung und Wirtschaft war nicht öffentlichkeitswirksam durch rebellierende Studenten geprägt, wie in den früheren Jugendbewegungen, sondern erfasste »bürgerliche Milieus«. Insbesondere bei Bauplatzbesetzungen seit Anfang 1975, aber in vorangegangenen Protesten gegen Industrieansiedlungen in der Region schon seit 1971 (ebd.: 451–452), verbanden sich lose Protestkoalitionen aus Anwohnern, lokalen Landwirten, Fischern, Schülern, Winzern und Studenten gegen den Bau des Kernkraftwerks (Engels 2003: 108, 114–116; Nielsen 2006: 207–208). Die Protestkoalitionen um Wyhl waren keinesfalls in erster Linie rebellisch gesinnt, oft schien ihnen jegliche über ihren Protest hinausgehende politische Programmatik fremd. Sie richteten sich gegen Eingriffe in ihre regionalen Gewohnheitsrechte und die Gefährdung durch die Atomkraft durch eine ihren Interessen und Sorgen – nach ihrem Empfinden – entthobene Politik, wozu die Bilder von polizeilichen Räumungen ihr Übriges taten.

Die sich nach Würgassen und Wyhl bildende Antiatombewegung war eine relativ heterogene Gruppierung, etwa hinsichtlich der Frage des gewaltfreien oder gewalttätigen Protests – einige Proteste der zweiten Hälfte der 1970er-Jahre erinnerten an einen Bürgerkrieg –, politischer Hintergründe, der Konfliktverläufe einzelner Proteste oder der Teilnahmemotivation einzelner Gruppen. Einen einheitlichen ideologischen Rahmen für »die Antiatombewegung« hat es nicht gegeben. Dennoch zeigte sich in verschiedenen Schriften und Protestbewegungen etwas wie ein übergreifendes Bündel an Unbehagen, das sich in den Debatten zum sogenannten Atomfilz zugespitzt findet. Technokratie-, Monopol- und »Korruptionskritik« zog sich von den frühen amerikanischen Umweltbewegungen gegen Pestizide über die Bürgerrechts- und Friedensbewegungen bis in die Studentenunruhen der späten 1960er-Jahre. Im Antiatomprotest fanden diese Kritiken ein klareres Ziel sowie einen neuen Reichtum an Illustrationsmaterial, dass im Kernenergieausbau etwas systematisch falsch zu laufen schien. Holger

32 Einen neueren umfassenden Überblick zum Antiatomprotest in Wyhl und eine Einordnung in die westdeutsche ökologische Bewegung gibt Pettenkofer (2014: 136–174). Zur Blaupausenfunktion: Radkau (1983: 452–453).

Strohm, dessen seit 1971 stetig erweiterte Materialsammlung gegen die Kernkraft *Friedlich in die Katastrophe*, wie Radkau und Hahn (2013: 300) schreiben, in den Antiatombewegungen »Bibelformat erlangte«, fügte seinen Ausführungen zu Mängeln, Gefahren und ökonomischen Irrwegen der Kernkraft ausführliche Sammlungen zu politisch-ökonomischen Interessenverflechtungen bei, die er an der Wurzel des Übels sah. Auf etwas mehr als sechzig Seiten präsentierte Strohm Übersichten und Anekdoten zu personellen, finanziellen und politischen Verflechtungen zwischen Energiekonzernen, Kraftwerksbauern, Ölkonzernen im Urangeschäft, Gewerkschaften, Genehmigungsbehörden, Forschungseinrichtungen, Wissenschaftlern, Experten, Gemeinden und der Ministerialbürokratie, die er abwechselnd »Atomfilz« oder »Atomlobby« nannte.³³ *Atomenenergie = Machtkonzentration und Monopolstellung [...] – Sachzwänge der Atomenergie sichern Machtzuwachs und hohe Gewinne – Atomindustrie erwirbt die totale Macht*, stellte Strohm seiner Sammlung anstelle eines Kapitelüberblicks voran.³⁴ Die Kritik an einer elitären und technokratischen atompolitischen Verschwörung gegen die Bevölkerung spitzte sich in den späten 1970er-Jahren teilweise bis ins Absurde zu, vor allem in der Affäre um die illegale Abhörung Klaus Traubes durch den Verfassungsschutz, des zunehmend mit der Antiatomkraftbewegung sympathisierenden ehemaligen Direktors von Interatom. Im Spiegel, von dem die Abhörung aufgedeckt wurde, fragte Rudolf Augstein unter der Überschrift »Atomstaat oder Rechtsstaat?«: »[W]ird man künftig auch einbrechen, wenn das Atom im Spiel ist? [...] [D]ie atomaren Gefahren, und damit die ›rechtfertigenden Notstände‹ werden, auch nach dem Willen der Bundesregierung, ja nicht kleiner, sondern zahlreicher.«³⁵ Der Begriff des Atomstaats wurde ein Jahr zuvor von Robert Jungk in einer wütenden Schrift gegen den Kernenergieausbau in der Bundesrepublik berühmt gemacht und zielte, neben der Vermachtungs- und Monopolkritik, auf die These, dass die Sicherheitserfordernisse der Kerntechnik die Bundesrepublik in einen totalitär-technokratischen Sicherheitsstaat ableiten ließen.³⁶ Die Angst vor dem Atomstaat hielt sich durchaus lange in Protestmilieus. In ihrem bundespolitischen Gründungsprogramm stellten die Grünen fest:

Die unangefochtenen Monopole der zentralisierten Energieversorgungsunternehmen entziehen sich bereits heute nahezu jeder demokratischen Kontrolle und unterwerfen die Gesellschaft in Teilbereichen einer »Diktatur aus der Steckdose«. Im vollausgebauten Atomstaat sind

33 Holger Strohm, [1971]1981: *Friedlich in die Katastrophe. Eine Dokumentation über Atomkraftwerke*. Frankfurt a.M.: Zweitausendeins, 916–982.

34 Ebd.: 916.

35 Rudolf Augstein, 1977: Atomstaat oder Rechtsstaat? In: *Der Spiegel* 10, 29–34.

36 Siehe exemplarisch den späteren Essay: Robert Jungk, 1977: Vom 1000jährigen Atomreich. In: *Der Spiegel* 11, 46–47. Vgl. auszugsweise zu Jungks früherem Wirken in der linken Staats- und Technokratiekritik auch Andersson (2012).

aus zwingenden Gründen demokratische Grundrechte und bürgerliche Freiheiten nicht mehr möglich.³⁷

Aus heutiger Sicht historisch konsequenzenreicher und ideengeschichtlich resistenter als die Angst vor dem totalitären Sicherheitsstaat war die ihr zugrunde liegende Überzeugung, dass die gesellschaftliche, demokratische und ökologische Malaise, gegen die man in Umweltbewegungen und Antiatomprotest vorging, kein bloß technisches Problem war, sondern mit den Industrie- und Regelungsstrukturen in der Energieversorgung selbst zu tun hatte. Die sozialen Umwälzungen der 1970er-Jahre politisierten *die Struktur* der Energieversorgung – ob gespeist aus Erfahrungen der Machtlosigkeit im Antiatomprotest, aus den Wachstums- und Ressourcendebatten oder dem gesellschaftspolitischen Unbehagen mit dem politisch-ökonomischen System der Nachkriegszeit. Man forderte nicht weniger als Dezentralisierung und Demokratisierung der Energieversorgung selbst. Mit Ausnahme einer kleineren und weniger bekannten Bewegung im Umfeld der T.N.E.C unter der Administration Roosevelts, die staatlich errichtete Wasserkraftwerke wie die der TVA auch als Substitut für die zunehmend unrealistische Entflechtung des *Power Trust* verstand (Hawley [1966]1996: 327–337), war dies eine durchaus neuartige Forderung in den ansonsten inzwischen einhundert Jahre andauernden politökonomischen Debatten um die Regulierung von Infrastruktursektoren. Und just in der Zeit, in der sich die amerikanische *Anti-Trust*-Politik immer mehr von ihren progressiven politischen Gründungsstützen entkoppelte (überblicksweise Hofstadter [1952]1996: 212–236), konzentrierten sich progressive Rufe nach wirtschaftlicher Dezentralisierung in der Politik des Energiesektors.

Der wahrscheinlich prominenteste Vordenker der Vision einer in Eigentum und Kontrolle basisdemokratischen und in der Technik dezentralisierten Energieversorgung war Amory Lovins, ein Mitte der 1970er-Jahre bei den Friends of the Earth angestellter Physiker. Lovins hatte 1976 mit einem Artikel in *Foreign Affairs* großes Aufsehen in den USA erregt, in dem er fragte, ob es angesichts der Versorgungsprobleme mit fossilen Energieträgern nicht rationaler sei, statt nur Öl- mit Kernkraftwerken zu ersetzen, ein diversifiziertes und dezentrales Energieversorgungssystem anzustreben, auf einen, wie er ihn nannte, »soft energy path« umzuschwenken.³⁸ Anstelle des Modells kapazitätsstarker und ganze Regionen versorgender Kraftwerke und dazugehöriger Übertragungs- und Verteilungsinfrastrukturen plädierte Lovins für den Aufbau eines zerklüfteten Systems aus den verschiedensten nicht nuklearen unkonventionellen Energietechni-

37 Die Grünen, 1980: *Das Bundesprogramm*. Grundsatzprogramm. Saarbrücken, 10.

38 Siehe Amory B. Lovins, 1976: Energy Strategy: The Road Not Taken? In: *Foreign Affairs* 55(1), 65–96.

ken in zersplittertem lokalem Eigentum. Als Naturwissenschaftler begründete er diese Forderung einerseits mit technischen und wirtschaftlichen Erwägungen, etwa der hypothetisch höheren Versorgungssicherheit,³⁹ dem Schutz vor Rohstoffkrisen und dem geringeren Aufwand für Errichtung und Betrieb von Netzinfrastrukturen. Darüber hinaus, und diese Idee hält sich bis in politische Auseinandersetzungen im 21. Jahrhundert, begründete Lovins seinen Vorschlag *gesellschaftspolitisch*, als Beitrag zur Demokratisierung fortgeschrittener industrialisierter Gesellschaften:

In an electrical world, your lifeline comes not from an understandable neighborhood technology run by people you know who are at your own social level, but rather from an alien, remote, and perhaps humiliatingly uncontrollable technology run by a faraway, bureaucratized, technical elite who have probably never heard of you. Decisions about who shall have how much energy at what price also become centralized – a politically dangerous trend because it divides those who use energy from those who supply and regulate it.⁴⁰

Der Komplex aus Ideen um einen *sanften Pfad* in der Energieversorgung löste in den Energiekontroversen der zweiten Hälfte der 1970er-Jahre eine hitzige Debatte aus – von technischen und ökonomischen Kontroversen über Wertkritiken bis hin zu persönlichen Beschimpfungen und Diskreditierungen Lovins' selbst. Zusätzlich war er Anstoß für etliche kommunale Experimente und Fallstudien im Hinblick auf eine dezentrale Restrukturierung des Energiesystems.⁴¹ Die Dokumentation der Debatten, die im US-Senat 1977 zur Diskussion des *sanften Pfads* und langfristiger Energiestrategien angefertigt wurde, umfasste 2.204 Seiten (Laird 2004: 127).⁴² Das Aufsehen, das die Vorschläge erregten, hatte nicht

39 Die Frage, inwieweit ein durch klassische Kraftwerkskonzepte geprägtes und zentralisiertes Energieversorgungssystem »versorgungssicherer« ist als ein auf fluktuierenden Quellen und diversifizierten Kraftwerkspark beruhendes, dezentral strukturiertes, ist bis heute Gegenstand von Debatten und teilweise von Glaubenskämpfen. Es handelt sich dabei um ein recht komplexes Abwägungsproblem zwischen etlichen (und oft politischen statt technischer) Zielgrößen (wie werden große mit kleinen Stromausfällen verrechnet, wie viele Stromausfälle rechtfertigen einen bestimmten Kostenanstieg, wie verrechnet man »außenpolitische Mühe« zur Ressourcensicherung mit Änderungen in der Versorgungssicherheit usw.). Andererseits führt schon die bloß experimentell-technische Beantwortung dieser Frage auf Szenarioebene in die Modellierung komplexer Systeme; siehe etwa Martin Rohden et al., 2012: Self-Organized Synchronization in Decentralized Power Grids. In: *Physical Review Letters* 109(6).

40 Amory B. Lovins, 1976: Energy Strategy: The Road Not Taken? In: *Foreign Affairs* 55(1), 65–96, hier: 92.

41 Siehe die Übersicht in James Quinn/James M. Ohi, 1980: *Decentralized Energy Studies: Compendium of U.S. Studies and Projects*. Golden, CO: Solar Energy Research Institute. TR-744-450.

42 Siehe U.S. Congress 1977: *Alternative Long-Range Energy Strategies. Joint Hearing Before the Select Committee on Small Business and the Committee on Interior and Insular Affairs. U.S. Senate, Ninety-fourth Congress. Second session*. Washington, DC, 9. Dezember. Siehe auch die spätere

nur damit zu tun, dass die Publikationen in einer Zeit des Umbruchs, der allgemeinen Irritation und Ratlosigkeit erschienen, sondern damit, dass sie etlichen sozialen und politischen Bewegungen einen – obschon vagen – soziotechnischen Gegenentwurf zur Hand gab, der fast alles, was man in den Industriegesellschaften der 1970er-Jahre kritisierte, aufzugreifen versprach. Der sanfte Pfad in der Energieversorgung gab Teilen der verschmutzungs-, wachstums- und vermachtungskritischen Bewegungen in Gesellschaft und Politik eine eigene technologische Zukunftsvision.⁴³ Damit die Debatten zu Lovins' Vision – und erst recht ihre industriellen und politischen Auswirkungen – verständlich werden, ist ein genauerer Blick auf die energiewirtschaftliche, politische und industrielle Entwicklung der 1970er-Jahre notwendig.

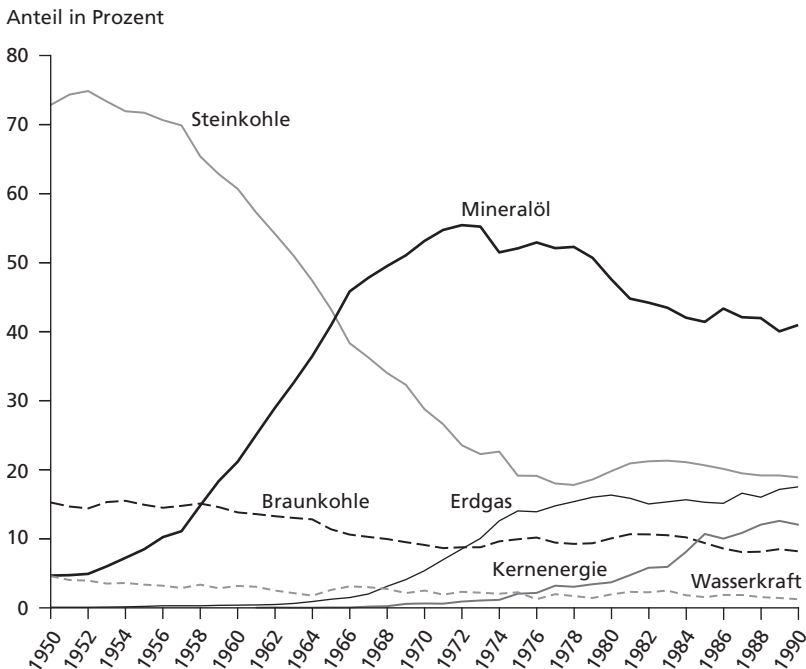
4.2 Politisierung und struktureller Wandel: Ölkrise, Energieunabhängigkeit und Handlungsunfähigkeit

Die Kernkraft war nach der Atomeuphorie Mitte der 1950er-Jahre äußerst zögerlich in westlichen Energieversorgungssystemen angekommen. Einerseits sträubten sich Energieversorger und Finanziers, das Risiko großer Demonstrationsanlagen zu tragen, während es weder in Wirtschaft noch in Politik übermäßigen Problemdruck in der Energieversorgung gab. Einen unmittelbar drängenden Grund zur riskanten Einführung neuer Kraftwerkstypen gab es nicht. Das RWE hatte seit den 1950er-Jahren die Braunkohleförderung ausgebaut und kaufte sich Ende der 1960er-Jahre in die Ölindustrie ein (Radkau 2008: 470). Der Energiemix der Bundesrepublik verschob sich allgemein von der Steinkohle auf einen zunehmenden Anteil an Mineralöl (insbesondere in der Industrie in Süd-

SERI-Bibliografie zum sanften Pfad bei James M. Ohi et al., 1980: *Decentralized Energy Studies: Bibliography*. RR-744-448. Golden, CO: Solar Energy Research Institute.

43 Mit einem weitgehend ähnlichen Argument versucht Walter Isaacson, die Entstehung des technischen Leitbilds des Personal Computers historisch nachzuzeichnen. In einer Zeit, in der Computer Großrechenanlagen in Firmen, Universitäten und Militäreinrichtungen, *Mainframes*, waren – und auch wenige einen Sinn darin sahen, dies zu ändern –, schöpfte das Milieu, das die ersten Entwürfe persönlicher Kleincomputer hervorbrachte, seine Motivation aus eben jenen gesellschaftskritischen Anstößen, die Lovins antrieben. Der PC wird in diesen Milieus zum Leitbild einer technikzentrischen Spielart progressiv-libertärer Gesellschaftsreform. Siehe Walter Isaacson, 2013: *The Culture that Gave Birth to the Personal Computer*. Prereleased Book Chapter. <https://medium.com/medium-long/e50f65132b55>. Diese technizistisch-jeffersonischen Leitbilder haben sich nach der Kommerzialisierung des PCs – abseits noch immer verbreiteter libertärer Rhetorik aus dem Silicon Valley – vor allem in der *Open-Source*-Bewegung erhalten. Vgl. exemplarisch die Geschichte des Debian-Projekts von Coleman (2013).

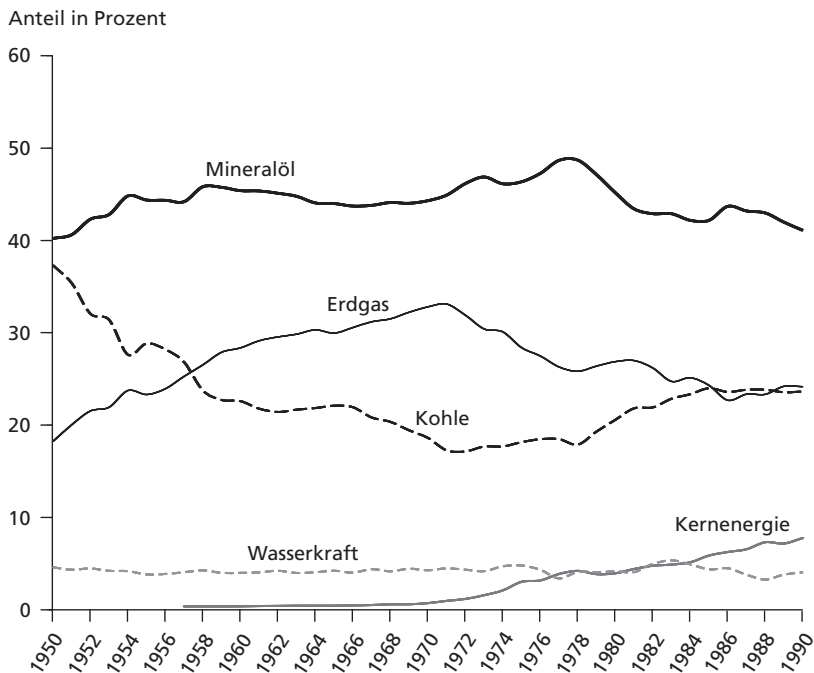
Abbildung 4-2 Prozentuale jährliche Anteile verschiedener Energieträger am Primärenergieverbrauch in Deutschland, 1950–1990



Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen.

deutschland, im Heizungsbereich und durch die Motorisierung) und über die 1960er-Jahre an Erdgas. Auch in den USA, Japan und der Mehrzahl von Industrieländern setzte sich bis zum ersten Ölpreisschock eine schon in den 1950er-Jahren angelaufene langsame relative Substitutionsbewegung von der Kohle hin zu Gas und Mineralöl fort (siehe Abbildungen 4-2 bis 4-4; Yergin 1991: 544). Ferner verblieb man in den USA bis in das Jahr 1973 bei dem schon unter Eisenhower verfestigten reaktiven Politikstil in der Energiepolitik. Konflikte vor der ersten Ölkrise, und im Fall der Administrationen Nixons und Fords darüber hinaus, drehten sich um Abwägungen zwischen Marktkräften und regulatorischen Eingriffen im Energiesektor, um Fragen der Organisation der Energieforschung und um den alten Zielkonflikt zwischen wirtschaftspolitisch erwünschten niedrigen Preisen importierten Öls und sicherheits-, regional- und strukturpolitisch erwünschten »fairen Preis- und Importniveaus«, die die weitere Rohstoffförderung in den USA motivieren sollten (De Marchi 1981a: 398–409, 413–416). Nixon und seine wissenschaftlichen Berater hatten zwar schon um das Jahr 1971

Abbildung 4-3 Prozentuale jährliche Anteile verschiedener Energieträger am Primärenergieverbrauch in den USA, 1950–1990



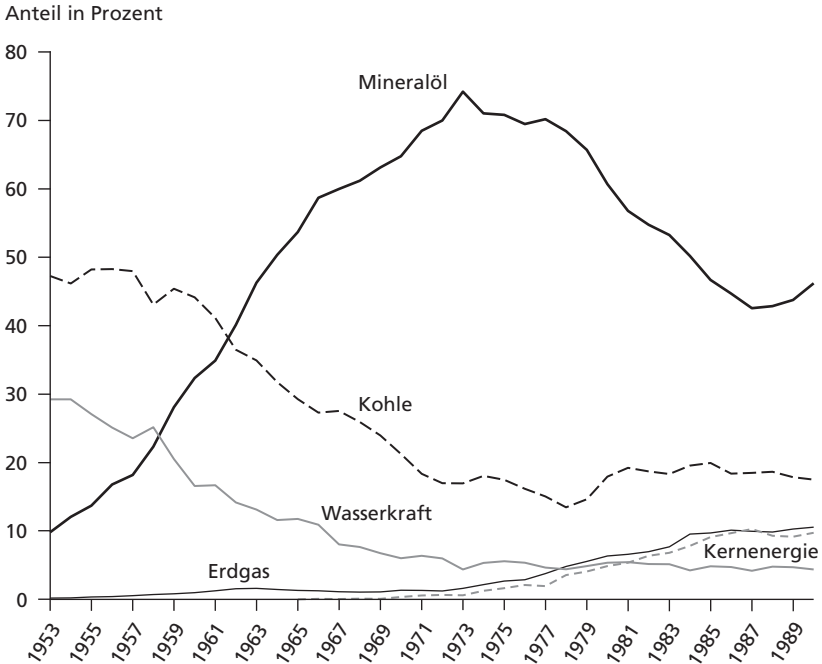
Quelle: US Energy Information Administration.

angedacht, die Grundlagen einer zukunftsgerichteten Energiepolitik zu formulieren. Nixon sprach etwa 1971 vor dem Kongress über Energie und betonte die mittelfristige Bedeutung der Kernkraft und der Erforschung synthetischer Kraftstoffe,⁴⁴ ohne den entsprechenden Problemdruck verliefen diese Initiativen jedoch im Sand (ebd.: 411).⁴⁵ In den meisten Hinsichten bis in das Jahr 1973 – und in vielen Hinsichten darüber hinaus – misslang das zögerliche amerika-

44 Bei der synthetischen Kraftstoffforschung geht es um verschiedene Techniken, zumeist um aus Kohle Flüssigkraftstoffe herzustellen. Politiker von Matthöfer bis Carter haben für diese Verfahren Unsummen ausgegeben, weil sie nach den Ölkrisen Treibstoffunabhängigkeit und Konjunkturprogramme für die jeweilige heimische Kohleindustrie bedeuteten.

45 Einen sehr guten Hintergrund zur langsamen Entdeckung der Energieproblematik in der Regierung seit 1969, inklusive der Kritik an den Importquoten, der Problematisierung nationaler Energiesicherheit und der inkrementellen Verfestigung der Diagnose der »Energiekrise«, gibt die Quellensammlung: US Department of State, 2011: *Foreign Relations of the United States, 1969–1976, Vol. XXXVI, Energy Crisis, 1969–1974*. Washington, DC.

Abbildung 4-4 Prozentuale jährliche Anteile verschiedener Energieträger am Primärenergieverbrauch in Japan, 1953–1990



Quelle: Statistics Bureau, Ministry of Internal Affairs and Communications, Japan.

nische *state building* im Energiesektor schon in der Planungsphase (siehe auch Ikenberry 1988b).

Andererseits entstand um die Nutzung der Kerntechnik zur Energieversorgung zu Beginn der 1960er-Jahre eine Situation wie später wiederkehrend um die Photovoltaik: In der Erwartung, dass kleine Reaktoren in einer natürlichen technischen Evolution von großen und Brutreaktoren abgelöst werden würden, hielten sich große Versorger zurück, überstürzt in die technische »Generation« zu investieren, die schon verfügbar war (Radkau 1983: 70, 115–123). Ein ersthafter Aufschwung in der Errichtung privatwirtschaftlich betriebener Kernreaktoren begann in den USA zaghaft in der ersten Hälfte der 1960er-Jahre und in Deutschland erst gegen Ende des Jahrzehnts, mit beschleunigter Planung und erhöhten Investitionen in beiden Ländern in den frühen 1970er-Jahren. Die Zuspitzung der Energiekrise seit Oktober 1973, dem Beginn der ersten Ölkrise, hatte die politischen und ökonomischen Grundlagen der Energieregime der Nachkriegszeit grundlegend verschoben.

Die Energiekrisen der 1970er-Jahre kamen nicht unvermittelt. Alle Anzeichen für schwerere Verwerfungen wurden allerdings vor der tatsächlich eintretenden Ölkrise 1973 und 1974 beiseitegeschoben. Die Ölindustrie hatte ihre eigenen zyklisch auftauchenden Ressourcendebatten, die schon kurz nach dem Ersten Weltkrieg wieder aufflammten. Mitte der 1950er-Jahre stieß ein Papier des Shell-Geologen King Hubbert die Sorge vor den Konsequenzen der Verlangsamung neuer Ölfunde auf ein Neues an. Hubbert leitete sein Papier mit einer anschaulichen Analogie ein, die das Problem der seit der Nutzung fossiler Rohstoffe immer wieder auftauchenden *Peak-Production*-Debatten klarmacht:

The evolution of our knowledge of petroleum since Colonel Drake's discovery of oil in Titusville, Pennsylvania, nearly a century ago, resembles in many striking respects the evolution of knowledge of world geography which occurred during the century following Columbus' discovery of America. During that period several continents, a number of large islands, and numerous smaller islands were discovered, but how many more might there be?⁴⁶

Hubbert schätzte Kurven, die abbilden sollten, ab wann damit zu rechnen sei, dass Brennstoffunde sich verlangsamen würden. Sein Ausblick klang angesichts der Zahlen im Ganzen verhalten optimistisch. Hubbert stellte sich die Entwicklung vorherrschender Energieträger als einen wellenförmigen Prozess vor: Die Abnahme im Mineralölkonsum würde langsam von der Zunahme der Kernkraftnutzung aufgefangen, wie zuvor der Mineralölkonsum die Kohlenutzung verdrängt hatte. Auch die Produktion von Kohle könnte nach Hubberts Berechnungen bis weit ins 22. Jahrhundert zunehmen. Die Ölproduktion, so berechnete er, müsste sich aber schon in den nächsten zwanzig bis fünfzig Jahren verlangsamen – und zwar in sehr naher Zukunft in den klassischen amerikanischen Fördergebieten. »[Even] if we are less than half through in our exploration for petroleum, the period of declining rates of discovery has almost arrived«, fasste er seine Ergebnisse zusammen.⁴⁷ Hubberts Papier verursachte einige Turbulenzen in der Ölindustrie. Ölkonzerne, Verbände und industrienahе Forschungsinstitute replizierten seine Studien, schulten ihre Managementabteilungen und diskutierten mögliche Diversifikationsstrategien. Auf der anderen Seite stießen

46 M. King Hubbert, 1956: *Nuclear Energy and the Fossil Fuels*. Research Publication 95. Houston, TX: Shell Development Company. Exploration and Production Research Division, hier: 1.

47 Ebd.: 23. Seit Hubberts Papier wird bis heute versucht, *peak oil* zu berechnen. Diese Voraussetzungen haben zwei wesentliche Probleme. Erstens unterliegen sie fundamentaler Unsicherheit über zukünftiges geologisches Wissen, tatsächliche geologische Gegebenheiten und technologische Entwicklungen. Zweitens reagiert die Förderindustrie auf die jeweiligen Vorhersagen nicht selten mit der Veröffentlichung neuer Funde. Siehe etwa Hubberts scherzhafte Bemerkung, dass sein Papier effektiver als jede neue Fördertechnologie darin war, Ölfunde zu beschleunigen: Ronald Doel, 1989: *Interview with Dr. M. King Hubbert, Bethesda, MD, January 27, 1989*. Transkript. College Park MD: Niels Bohr Library und Archives with the Center for History of Physics, American Institute of Physics, Session 7.

Hubberts konkrete Voraussagen auf eine Welle kritischer Stimmen und Anfeindungen, vor allem aus der amerikanischen Ölindustrie und dem National Geological Survey.

Zusätzlich zur langsam aufgekommenen *Peak-Oil*-Debatte bot die zweite Hälfte der 1960er-Jahre den Industriestaaten erneut Anschauungsmaterial dafür, dass ihre seit den 1950er-Jahren aufgebaute weitreichende Abhängigkeit von Ölimporten sie verletzlich für politische Krisen und Verwerfungen in Weltmärkten gemacht hatte. Während des Sechstagekrieges testeten die ölexportierenden Länder des Mittleren Ostens zum ersten Mal praktisch, inwieweit sie die oft sogenannte »Ölwaffe« in ihren Auseinandersetzungen mit Israel einsetzen konnten (vgl. zur Einordnung Hohensee 1996: Kap. 1.1). Am 8. Juni, dem Tag, an dem die ägyptischen Streitkräfte an Israels Grenze schon weitgehend geschlagen waren, erließen Algerien, der Irak, Kuwait, Libyen und Saudi Arabien ein Ölembargo gegen die Bundesrepublik Deutschland, Großbritannien und die USA. Wie schon während der Suez-Krise geschehen, organisierten allen voran die USA konsortienartige Zusammenschlüsse großer Ölkonzerne, um Transportstrukturen kurzfristig umzuarbeiten und die Förderung amerikanischen Öls hochzuführen, wiederum mit dem vorrangigen Ziel, die Ölversorgung Westeuropas zu sichern (Yergin 1991: 556–557). Das Embargo hielt formell für drei Monate. Statt allerdings ein Anstoß zur Besorgnis zu sein, erwies es sich als tendenziell beschwichtigend. Falls das Embargo von 1967 tatsächlich einen Test der Ölwaffe darstellte, war der gescheitert. Die arabischen Länder erhöhten ihre Fördermengen noch während des Embargos, erlagen den üblichen kollektiven Handlungsproblemen mangelhaft integrierter Kartelle und wiederholten das Schicksal etlicher vorangegangener Versuche der Kartellbildung unter rohstoffexportierenden Entwicklungsländern (siehe Krasner 1974; Spar 1994). Die konzertierte Neuorganisation von Lieferwegen schien zwar einige Zeit Krisenwahrnehmungen zu befeuern, funktionierte jedoch relativ gut, und schon nach drei Monaten waren die arabischen Exporteure derart ernüchert, dass sie ihr Interesse wieder darin sahen, die Lieferbeschränkungen aufzuheben. Schon Ende 1967 sprach man in der Ölindustrie wieder vom altbekannten Überkapazitätsproblem anstatt von Engpässen (Yergin 1991: 558). Noch im April 1973 berichtete Akins, ein früher, aber weitgehend vereinzelter Warner vor einer politisch bedingten Ölkrise in der Administration Nixons, über die Sorge, die arabischen Regierungen könnten ihre zahllosen Drohungen, die Ölwaffe erneut einzusetzen, tatsächlich wahr machen: »[T]he common response among Americans has been: ›They need us as much as we need them‹; or ›They can't drink the oil‹; or ›Boycotts never work‹.«⁴⁸

48 James E. Akins, 1973: The Oil Crisis: This Time the Wolf Is Here. In: *Foreign Affairs* 51(3), 462–490, hier: 467.

Derartige beschwichtigende Stimmen hatten mehrere schleichende Entwicklungen seit dem Jahr 1967 unterschätzt, die beide Randbedingungen der Wirkungslosigkeit früherer Embargos ausräumten: den lückenhaften Zusammenhalt im kollektiven Handeln ölfördernder Länder und die Möglichkeiten westlicher Versorgungssysteme, unerwartete Einschnitte in Öllieferungen aus dem Nahen Osten abzufedern. Die ölexportierenden Länder hatten über die Jahre zunehmend gelernt, sich in Preis- und Steuerverhandlungen gegen Ölkonzerne durchzusetzen – und oft bedeutete dies, Wege zu finden, OECD-Regierungen und westliche Ölkonzerne in Verhandlungen auseinanderzuidividieren. Akins erinnerte in seiner Warnschrift an eine paradigmatische Wende in der politischen Ökonomie arabischen Öls nach der Machtergreifung Muammar al-Gaddafis in Libyen. Anfang 1970 hatte die libysche Regierung, deren Vorgänger im Amt 1967 noch unter den wesentlichen »Embargobrechern« waren, Engpässe im Transportsystem arabischen Öls für die Durchsetzung von Steuererhöhungen für Ölkonzerne zu nutzen versucht. »After an arduous round of discussions«, fasste Akins das überraschende Resultat zusammen, »the international companies operating in Libya yielded one by one.«⁴⁹ Was sich im Vergleich zu vorherigen Verhandlungen verändert hatte – und was in den folgenden Jahren immer wieder zum Vorschein kommen würde –, war, dass die libysche Regierung den Ölkonzernen glaubhaft androhen konnte, dass sich europäische Nachfrager eher auf direkte Versorgungsbeziehungen einlassen würden, als einen temporären Einbruch in die arabischen Lieferungen zu riskieren. OECD-Staaten waren während der 1960er-Jahre zu einem solchen Grad von kontinuierlichen nahöstlichen Öllieferungen abhängig geworden, *dass sich die koalitionären Stützen des über Jahrzehnte eingespielten Käufermarktes, richtiger wäre: semi-kolonialen Ölregimes, aufzulösen begannen* (vgl. ebd.: 577–580, 606). Dasselbe galt für seine ökonomischen Randbedingungen. In früheren Konfliktsituationen zwischen arabischen Förderländern, Ölkonzernen und OECD-Staaten waren gravierende Preissteigerungen einerseits ausgeblieben, weil der Markt – offensichtlich – nicht unter Aufwärtspreisdruck stand. Wenn es einen längerfristig säkularen Druck auf Mineralölpreise gab, wies der seit den späten 1950er-Jahren real nach unten. Das machte es sowohl für ölfördernde Länder, die wie typischerweise Landwirte eher Umsätze konstant hielten, als Profite zu maximieren, schmerzhaft, Exportbeschränkungen konzertiert durchzuhalten als auch verhältnismäßig wenig bedrohlich für Konsumenten, kurzfristige Mengenbeschränkungen auszusitzen. Seit dem Jahr 1969 zeigten sich jedoch verstärkt Anzeichen, dass die Epoche real fallender Mineralölpreise sich ihrem Ende zuneigte, eine Talsohle unterschritten wurde. Seit 1969 hatten sich Probleme in der Ölversorgung wiederholt auf End-

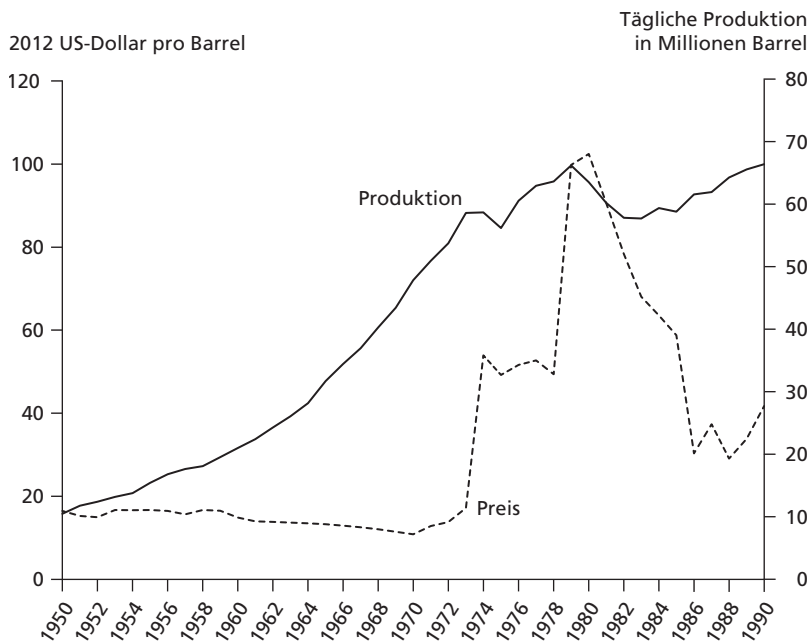
49 Ebd.: 467.

kundenpreise durchgeschlagen. Verstärkt seit 1970 gab es in der Bundesrepublik, Japan und in den USA Diskussionen um Engpässe in der Rohstoffversorgung für die Elektrizitätsproduktion und im Heizungsbereich (De Marchi 1981a: 406; Yergin 1991: 598–599). Der amerikanische Konsum von Erdgas war seit 1968 ungefähr doppelt so hoch wie die jährlichen Entdeckungen neuer Reserven (De Marchi 1981b: 476). Gleichzeitig zeigte die amerikanische Ölförderung, die über Jahrzehnte als praktische Krisenreserve der OECD-Welt funktioniert hatte, zunehmend Erschöpfung. Die amerikanische Ölförderung erreichte ihren vorläufigen Höhepunkt mit 11,3 Millionen Barrel im Jahr 1970, die allerdings im Unterschied zu vorherigen Jahren unter Bedingungen stetig anziehender Nachfrage zu großen Teilen inländisch verfeuert wurden (Yergin 1991: 567–568). Auf einem Treffen zwischen Vertretern von Ölkonzernen und OPEC-Vertretern im Oktober 1973, das mit der erzwungenen Steigerung der Ölpreise um 70 Prozent langsam die erste Ölkrise einleiten sollte, wird Yamani, der saudi-arabische Ölminister, mit den triumphierenden Worten zitiert: »The moment has come. We are masters of our own commodity« (ebd.: 606).

Mit den Embargos in Reaktion auf die US-Unterstützungslieferungen im Zuge des Jom-Kippur-Krieges stellte sich heraus, wie recht man mit dieser Einschätzung hatte. Die arabischen Exportländer verhängten mehrere gezielte Lieferstopps und vereinbarten eine Drosselung der gesamten Ölexportmenge (anfänglich formell um 25 Prozent). Und diesmal schienen sie sich entgegen ökonomischen Theorien der natürlichen Instabilität von Kartellen weitgehend daran zu halten.⁵⁰ Spätere Schätzungen gehen davon aus, dass das Embargo von 1973 Japan circa 17 Prozent, die USA circa 18 Prozent und Westeuropa circa 16 Prozent an Einschnitten in ihre Ölimporte gekostet hat (ebd.: 624). Ein bloßer Blick auf diese Zahlen unterschätzt allerdings die chaotischen Vorgänge, die das Embargo in der Weltwirtschaft, in der internationalen Diplomatie und in den ölimportabhängigen Gesellschaften des Westens auslöste. Importeure, Raffinerien, industrielle Konsumenten und später auch Staaten selbst begannen einen Bieterwettkampf um verfügbare Kapazitäten, was die Preise für Rohöl auf Auktionen innerhalb eines Monats vervierfachte. Regierungen implementierten die verschiedensten Aufsichts-, Allokations- und Rationierungssysteme. Die Ölverknappung brach in den meisten westlichen Ländern in eine ohnehin

50 Retrospektiv meint Frank Zarb, der spätere Leiter der Federal Energy Administration: »[T]he economists all predicted [OPEC] was going to come apart on its own, because these antitrust type combinations always fell apart on their own. Well, they didn't figure on the fact that the Arabs had a different view of the world, and had their own economic books that they worked with.« Siehe Timothy J. Naftali, 2007: *An Oral History Interview with Frank G. Zarb. 04 October 2007, New York*. Richard Nixon Oral History Project. Richard Nixon Presidential Library und Museum, 15.

Abbildung 4-5 Jährliche weltweite Ölpreise und Ölproduktion, 1950–1990



Quellen: Preiszusammenstellung: BP Statistical Review of World Energy.
Zusammenstellung der Produktionsmengen: Earth Policy Institute.

kritische wirtschaftliche Lage ein. Das Jahr 1973 war in vielen Gesellschaften schon Krisenjahr, bevor die Ölkrise einsetzte. Und in der verarbeitenden Industrie machte sich Verunsicherung über zukünftige Versorgungsengpässe und Kostensteigerungen breit. Über den Umfang der Exportbeschränkungen, ihre Verteilung auf verschiedene Länder und Industrien, ihre Dauer und die Risiken der Zuspitzung herrschte fundamentale Unsicherheit, was in allen westlichen Gesellschaften tief greifende Irritationen auslöste. Am Ölproblem sollte sich bis in die frühen 1980er-Jahre nicht viel ändern. Noch im Dezember 1973 zog die OPEC den panischen Marktreaktionen nach und verdoppelte den Preis von Rohöl ein weiteres Mal (ebd.: 625–626). Die Ära billigen Öls war vorerst vorbei (siehe Abbildung 4-5).

In den 1970er-Jahren kamen gewiss viele Verschiebungen der Nachkriegsordnungen demokratisch kapitalistischer Gesellschaften zusammen, die die gesamtwirtschaftliche Entwicklung unter Druck setzten (siehe zusammenfassend Doering-Manteuffel 2008). Der Ölpreisschock 1973 führte allerdings zu einem

Problemdruck neuer Art. Traditionelle makroökonomische Steuerungsinstrumente – so die breite Wahrnehmung spätestens seit Anfang 1974 – würden im Licht eines durch Energieengpässe drohenden Wachstumseinbruchs nicht greifen.⁵¹ In einem Sondergutachten zur Ölkrise im Dezember 1973 revidierte der Sachverständigenrat seine Prognosen für das Jahr 1974 mit Zahlen, die auf eine drohende Stagflation hindeuteten – 2 Prozent Beschäftigungsrückgang, 7 bis 8 Prozent Inflation und bis zu 1 Prozent reales Wachstum prophezeite er nun, und sollte damit noch zu optimistisch gewesen sein.⁵² Bedeutender noch als die pessimistischen Aussichten des Sondergutachtens war die weitgehende Ratlosigkeit der Experten, wie man den Energieproblemen zuvorkommen könnte. Ihre Empfehlungen beschränkten sich auf die selektive Rücknahme der erst im Mai zur Bekämpfung der Inflation wieder eingeführten Investitionssteuern, um den Kraftwerksbau und den Umbau öllastiger Wertschöpfungsketten zu beschleunigen, auf die öffentliche Nachfragestützung für die Bauindustrie, auf Forderungen nach Lohnmoderation und regional- und sektorpolitische Maßnahmen in der Automobil- und der Textilindustrie.⁵³ Um es zusammenzufassen, auch die ökonomischen Experten wussten nicht, was mittelfristig zu tun war, und klangen in ihrem Fazit beinahe fatalistisch:

Mag der Weg zur billigen Kernenergie noch weit sein, auch vor Erreichen dieses Zieles wird man nicht aus Energiemangel auf wirtschaftliches Wachstum verzichten müssen. Erst einmal herausgefordert, haben Menschen immer wieder vollbracht, was zunächst unmöglich schien. [...] Dringlicher scheint, dass man sich, mit oder ohne Hilfe des Staates, durch langfristige Verträge oder Beteiligungen Rohstoffquellen sichert [...]. Wichtig ist ferner, sich an Forschungsprojekten zur Verbilligung der Energiegewinnung und zur Erschließung neuer und neuartiger Energiequellen zu beteiligen. So können die Risiken für die Zukunft erheblich gemindert werden.⁵⁴

Allein durch die Rationierungs- und Verteilungsinitiativen wurden Regierungen dazu gebracht, sich intensiver und umfassender mit der Energieversorgung auseinanderzusetzen. Außerdem ist es der Ratlosigkeit geschuldet, die die Ölkrise in der OECD-Welt bewirkte, dass alle betroffenen Staaten in der folgenden Dekade versuchten, mit den verschiedensten Mitteln ihre Energieversorgung so

51 Siehe etwa die Stimmen in: Öl kann man nicht durch Geld ersetzen. In: *Der Spiegel* 48, 1973, 23–24.

52 Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, [1973]1974: Zu den gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen der Ölkrise. Sondergutachten vom 17. Dezember 1973. In: *Vollbeschäftigung für Morgen. Jahresgutachten 1974/1975*. Stuttgart: Kohlhammer, 183–198, hier: 193.

53 Ebd.: 194–197.

54 Ebd.: 198. Ich widerspreche damit tendenziell der Lesart des Gutachtens bei Hohensee (1996: 219–220), der dem beschwichtigenden Ton des Rats angesichts der Aussagen etwas zu weit folgt.

umzugestalten, dass sie nicht wieder vor derart ausweglose Regelungsprobleme gestellt würden. In den USA führte der Ölpreisschock zu einer neuen Welle populistischer Rhetorik bezüglich der Gefahren ausländischer Fremdbestimmung über den Weg der Ölversorgung, die fast durchgängig bis in die Gegenwart anhält. Richard Nixon verkündete noch Anfang November 1973, offenbar trotz Hinweisen seiner Berater, dass dies schlicht nicht zu machen sein würde (De Marchi 1981a: 448), was er Project Independence nannte:

Today the challenge is to regain the strength that we had earlier in this century, the strength of self-sufficiency. Our ability to meet our own energy needs is directly limited to our continued ability to act decisively and independently at home and abroad in the service of peace, not only for America but for all nations in the world. [...] Let us set as our national goal, in the spirit of Apollo, with the determination of the Manhattan Project, that by the end of this decade we will have developed the potential to meet our own energy needs without depending on any foreign energy sources.⁵⁵

Das politische Motiv der Energiesicherheit durch begrenzte Importsubstitution bei Energieträgern war keinesfalls neu. Es tauchte schon in der unmittelbaren Nachkriegszeit, etwa im Report der Paley Commission, in der Politik des Mandatory Oil Import Quota Program seit Eisenhower und im Umfeld der Atom euphorie auf. Versuche, die amerikanische Gesellschaft zu einem konzertierten Unabhängigkeitskampf im Umbau der Energieversorgung zu mobilisieren, spitzten sich aber seit der Ölkrise rasant zu. Noch 1966 spielte das Unabhängigkeitsmotiv eine wesentlich weniger wichtige Rolle. In einem auch ansonsten äußerst zuversichtlichen Abschlussbericht zu einer Studie zur Energieforschung, die von John F. Kennedy in Auftrag gegeben worden war, meinten Energieexperten: »Since no true emergency nor compelling opportunity is foreseen, the total energy R & D expenditures look reasonable. Of course, if heavier reliance were to be placed on imported resources, the level of R & D expenditures should undoubtedly *decrease*.«⁵⁶ Der Wandel in der Rhetorik gegenüber dem Import von Energieträgern nach der Ölkrise ist bemerkenswert. 1976 verkündete Frank Zarb, ein relativ marktgläubiger Beamter, im Hinblick auf erste Erfolge der von Nixons Project Independence angestoßenen Maßnahmen, als sei es vollkommen natürlich:

Two years ago, this nation faced the prospect of importing twelve million barrels of foreign oil every day by 1985. Today, as a result of those parts of the program that are now law, that

55 Richard M. Nixon, 1973: *Address to the Nation About Policies to Deal With the Energy Shortages*, 7. November.

56 Energy Study Group, 1966: *Energy R&D and National Progress: Findings and Conclusions. An Interdepartmental Study*. Washington, DC, 14; zitiert nach Lambright/Teich (1979: 142).

prospect has been reduced by four to five million barrels daily. That's barrels of oil we won't import: that's American dollars that will stay in our own economy; that is, in short, progress.⁵⁷

Energy Independence wurde von jedem amerikanischen Präsidenten seit Nixon vergeblich öffentlich versprochen – und das Schicksal seines Vorstoßes zeigt, warum dem so ist. Sowohl in Nixons Administration als auch zwischen Regierung, dem Kongress, der Zivilgesellschaft und der Wirtschaft kam es zu sehr vertrackten Auseinandersetzungen über die prospektive Neuordnung der Energieversorgung. Einen Monat nach seiner Ankündigung von Project Independence 1980 erreichte Nixon eine im Juni 1973 in Auftrag gegebene Studie der Atomic Energy Commission, die ausmalte, wie ein staatlich koordiniertes Entwicklungsprogramm auszusehen habe, das Nixons Versprechen, wenngleich verspätet (nun im Jahr 1985), verwirklichen könnte. Sie gab fünf wesentliche Empfehlungen, die sich weitgehend mit den folgenden Regierungszielen deckten: das Vorantreiben energiesparender Maßnahmen, die Erweiterung der amerikanischen Ölförderkapazitäten, insbesondere auf See und in Alaska, den massiven Wiederaufbau der Kohlenutzung, die Beschleunigung des Atomkraftprogramms und – langfristig – die Erforschung regenerativer Energietechnologien.⁵⁸ Keiner dieser Vorschläge wurde schließlich in einem Ausmaß umgesetzt, wie von Nixon 1973 und von Gerald Ford seit 1974 angepeilt. Beide Präsidenten waren ohnehin verhältnismäßig schwach. Beide regierten gegen einen von Demokraten dominierten Kongress. Nixon war mit den Watergate-Skandalen und hartnäckigen Vorwürfen der Nähe seiner Regierung zum Big Business auf dem Höhepunkt der Anfeindungen gegen die großen Ölkonzerne geschwächt. Ford regierte mit dem Legitimationsdefizit, nicht gewählt worden zu sein – auch nicht zum Präsidentschaftskandidaten – und der Aussicht auf Wahlen zwei Jahre nach Amtsantritt. Spätestens unter der Regierung Ford wurde ein Großteil der Initiativen des konservativen Unabhängigkeitsprogramms in Regierung, Kongress und Zivilgesellschaft zerpfückt, hinterfragt und unterwandert (De Marchi 1981b: 533–545). Innerhalb der Regierungen Nixons und Fords herrschte ein Paradigmenkonflikt, ob die jahrzehntealte Praxis, Märkte für Energieträger – oft aufgrund von nationalen Sicherheitserwägungen – tief greifend staatlich zu regeln, im Licht der Energiekrise weitergeführt und sogar noch ausgebaut werden müsse (Jacobs 2008). Dieser Konflikt spitzte sich zwischen progressiv dominiertem Kongress und den konservativen Regierungen insbesondere in den Auseinandersetzungen um Preiskontrollen für Öl zu. In der Administration sowie bei

57 Frank G. Zarb, 1976: *Remarks Prepared for Delivery Before the Illinois Solar Energy Conference*. Chicago Circle Auditorium, University of Illinois Chicago, October 9, 2.

58 Atomic Energy Commission, 1973: *The Nation's Energy Future. A Report to Richard M. Nixon*. Washington, DC.

Nixon selbst herrschte die konservative Deutung der Krisen der 1970er-Jahre als Ausdruck einer Art Anspruchsinflation im Energieverbrauch wie im Umweltschutz vor (Laird 2004: 105). »[I]n prosperity what were once considered luxuries are now considered necessities«, stellte Nixon seiner Ankündigung von Project Independence voran.⁵⁹ Statt nach Wegen zu suchen, die Wirkungen der Energiekrise energiepolitisch abzufedern, wollten zahlreiche einflussreiche Regierungsangehörige ihr angebotsseitig mit der weitreichenden Deregulierung der Gas- und Ölversorgung begegnen, um Restrukturierungsprozesse zu beschleunigen und die dann zu erwartenden Preissprünge mit neuen Steuern abzuschöpfen (De Marchi 1981a: 466–467; Laird 2004: 100, 103–108).

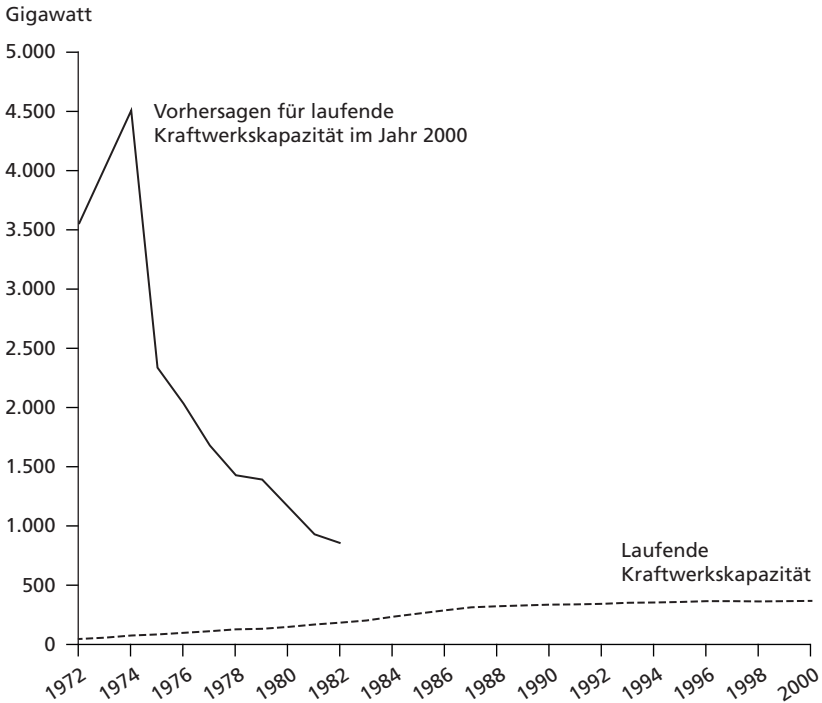
Das Problem mit diesen ökonomisch, aber nicht politisch geschulten Regelungspräferenzen war, dass sie in der wirtschaftlich angespannten Situation und im Licht des verteilungspolitisch hochkomplexen amerikanischen Energieversorgungssystems nicht durchsetzbar waren, aber dennoch die Initiativen der Regierung prägten. Letztlich landete man in einem zweigleisigen System aus hauptsächlich vom Kongress durchgesetzten Preiskontrollen, mit freien Preisen für *new oil*, das aus Quellen stammt, deren Förderung nach 1972 erhöht wurde, um die Erweiterung der heimischen Förderung zu motivieren, und Preiskontrollen für *old oil*. Zur Formulierung eines echten dritten Weges zwischen situationsgerecht steigenden Energiepreisen und der kompensatorischen Abfederung konnte sich die Regierung Nixon nicht durchringen. »In a free economy it's very hard to do, and you can't do it«, meinte etwa Fords Energy Czar Frank Zarb retrospektiv.⁶⁰ Trotz der etlichen – insbesondere unter den Engpassängsten Ende 1973 und Anfang 1974 angestoßenen – regionalen und bundesstaatlichen Ansätze, Rationalisierungs- und Einsparungsmaßnahmen zu beschleunigen, tat sich am Primärenergieverbrauch der amerikanischen Gesellschaft nicht viel. Die Handlungsempfehlungen der AEC hatten noch Einsparmöglichkeiten von 4,7 Millionen Barrel Öläquivalenten pro Tag bis 1980 für möglich gehalten (bei einem geschätzten jährlichen Gesamtenergieverbrauch von 47 Millionen Barrel Öläquivalenten pro Tag).⁶¹ Der amerikanische Primärenergieverbrauch nahm zwar über zwei Jahre um jeweils ungefähr 3 Prozent ab, was wohl nicht weniger mit der Rezession zu tun hatte als mit Einsparungsprogrammen. Im Jahr 1976 überstieg er jedoch schon wieder das Niveau von 1973. In vieler Hinsicht hatte dies damit zu tun, dass jegliche Vorschläge, die zu höheren Energiepreisen füh-

59 Richard M. Nixon, 1973: *Address to the Nation about Policies to Deal with the Energy Shortages*, 7. November.

60 Timothy J. Naftali, 2007: *An Oral History Interview with Frank G. Zarb*. 4. Oktober 2007, New York. Richard Nixon Oral History Project. Richard Nixon Presidential Library and Museum, 17.

61 Atomic Energy Commission, 1973: *The Nation's Energy Future. A Report to Richard M. Nixon*. Washington, DC, 10.

Abbildung 4-6 Vorhersagen zum globalen Kernenergieausbau bis in das Jahr 2000 und tatsächlich laufende Kernenergiekapazität



Quellen: Vorhersagen zusammengestellt aus den Jahresberichten der IAEA für 1972–1973 (33); 1974–1975 (32); 1975 (30); 1976 (20); 1977 (20); 1978 (16); 1979 (16); 1981 (29) und IAEA 1982: *Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2000*. Wien, Tabelle 4. Mittelwerte für Schätzungen mit mehreren Szenarien. Daten zur laufenden Kraftwerkskapazität aus: IAEA 2011: *Nuclear Power Reactors in the World. 2011 Edition*. Wien, 21. Die Abbildung ist in Teilen eine Nachbildung einer Abbildung aus: Klaus Traube, 1999: *Kernspaltung, Kernfusion, Sonnenenergie: Stadien eines Lernprozesses*. Vorlesungsskript, 29. November, Philipps-Universität Marburg, 7.

ren konnten, aufgrund ihrer erwarteten Verteilungswirkungen und Inflationswirkung oder der ohnehin kritischen gesamtwirtschaftlichen Lage bekämpft wurden (De Marchi 1981b: 480). In der Neuorganisation der Ölversorgung konnte sich die Regierung Nixon nicht durchringen, preisdämpfende Maßnahmen zu verhindern, es waren schlicht zu viele Interessen berührt (De Marchi 1981a: 466–473). Ohne merklich höhere Ölpreise ließ sich allerdings weder die Erweiterung der amerikanischen Ölförderung noch die Substitution von Gas und Öl durch Kohle in dem Maß beschleunigen, das man anfangs vorgesehen hatte. Um die Erweiterung der Ölerkundung im Outer Continental Shelf bra-

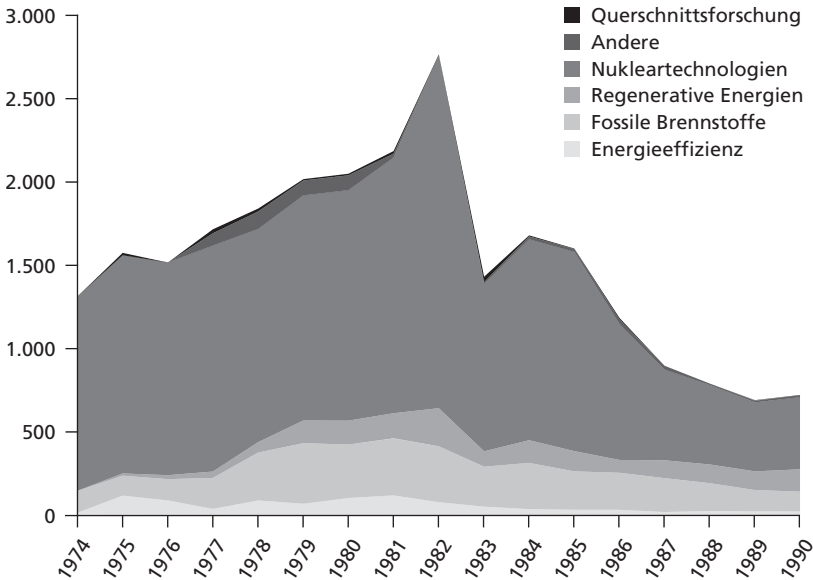
chen Verteilungskonflikte zwischen der Bundesregierung und den anliegenden Bundesstaaten aus (De Marchi 1981b: 535–536). Gegen die Substitution von Öl- mit stärker umweltbelastenden Kohlekraftwerken – der im Licht der Ölkrise gelockerte Clean Air Act von 1970 hatte erst geholfen, deren Zahl zu reduzieren – protestierten sowohl Energieversorger als auch Umweltschutzbewegungen (ebd.: 535). Die Energiekrise hatte zwar zu einer Reihe von Rücknahmen im Umweltschutz geführt, das Budget der Environmental Protection Agency etwa wurde um drei Viertel gekürzt, Abgasgrenzwerte gelockert und die Rolle der EPA bei der Festlegung von Grenzwerten für den Bau von Kernkraftwerken geschwächt, Umweltschutzbewegungen blieben jedoch auch nach dem Ölembargo aktiv und durch eine Reihe von Kongressabgeordneten und Bürgerinitiativen einflussreich (Liu 2010: 75–89). In der Kernkraft wurden Mitte der 1970er-Jahre einerseits die ausufernden Hoffnungen auf einen günstigen Schnellen Brüter immer fraglicher (Kitschelt 1983: 262). Andererseits führten die Antiatomproteste, ihr Widerhall in Politik und Verwaltung, Kostensteigerungen im Anlagenbau sowie ein zunehmender *profit squeeze* unter Energieversorgungsunternehmen bis 1980 zu einem ersten Abflauen der Euphorie um die nukleare Energieunabhängigkeit (De Marchi 1981b: 520–523; Kitschelt 1983: 233–234). Von einem im Jahr 1974 212 Reaktoren umfassenden geplanten Kraftwerkspark waren bis 1980 lediglich 73 Reaktoren in Betrieb (Kitschelt 1983: 234; siehe zum Niedergang ausufernder Erwartungen zum Kernenergieausbau Abbildung 4-6).

4.3 Ein erneuter Anlauf: Photovoltaik und die Energiekrise

Zum Teil erklären politische Ratlosigkeit und die mittelfristige Reformunfähigkeit der amerikanischen Energieversorgung, das Fehlen eines regelungstechnischen *easy fix*, wie über das folgende Jahrzehnt die Forschungs-, Technologie- und Industriepolitik in das Zentrum der amerikanischen Energiepolitik gelangte. Dazu kam, dass die Energiepolitik schon im Nachhall der Neuen Sozialen Bewegungen politisiert wurde; sie hatte sich zu einem Feld entwickelt, in dem Wertkonflikte und konfligierende Vorstellungen über die gegenwärtigen Probleme und zukünftige Struktur der amerikanischen Gesellschaftsordnung eine Rolle spielten. Inkrementell hatte sich in immer breiteren Schichten die Wahrnehmung verfestigt, an einem Epochenbruch in der Energieversorgung zu stehen, eine historische Wasserscheide strategisch langfristig gestalten zu müssen. Ähnlich verlaufende Prozesse vom Restrukturierungsstau in die Energieforschung finden sich in beinahe jeder Industriegesellschaft nach der ersten Ölkrise. Die meisten Industriestaaten begannen Mitte der 1970er-Jahre, dezidierte Ener-

Abbildung 4-7 Jährliche Energieforschungs- und Entwicklungsausgaben in Deutschland nach Technologiefeldern, 1974–1990

Mio. 2012 US-Dollar

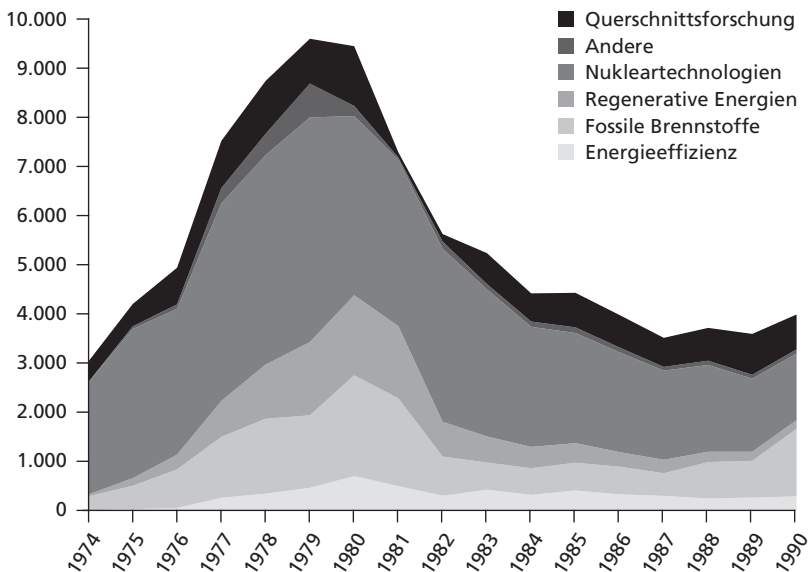


Quelle: Internationale Energieagentur.

gieforschungs- und Entwicklungsprogramme einzurichten. Bis in die Gegenwart gilt es in OECD-Ländern als selbstverständlich, dass der Staat die Energieforschung massiv unterstützt und leitet – eine Entwicklung, die in dieser Breite in vielen Hinsichten auf die Kernenergieförderung und die späten 1960er- und frühen 1970er-Jahre zurückgeht. Bis Mitte der 1970er-Jahre wurde in den neuen Energieforschungsprogrammen vor allem eines deutlich: Konventionelle Kern- und Kohlekraftwerke, die Erdgasnutzung im Wärmebereich und die »nächsten Generationen« der Kerntechnik sollten die Zukunft der Energieversorgung sichern. Die breitflächige Nutzung verschiedener Solartechnologien, ob im Wärme- oder Strombereich, ordneten die ersten Energieforschungsprogramme zumeist ebenso weit in der Zukunft ein wie die Nutzung der Kernfusion, mit entsprechenden Konsequenzen für die jeweiligen Forschungsbudgets (siehe Abbildungen 4-7 bis 4-9).

Abbildung 4-8 Jährliche Energieforschungs- und Entwicklungsausgaben in den USA nach Technologiefeldern, 1974–1990

Mio. 2012 US-Dollar



Quelle: Internationale Energieagentur.

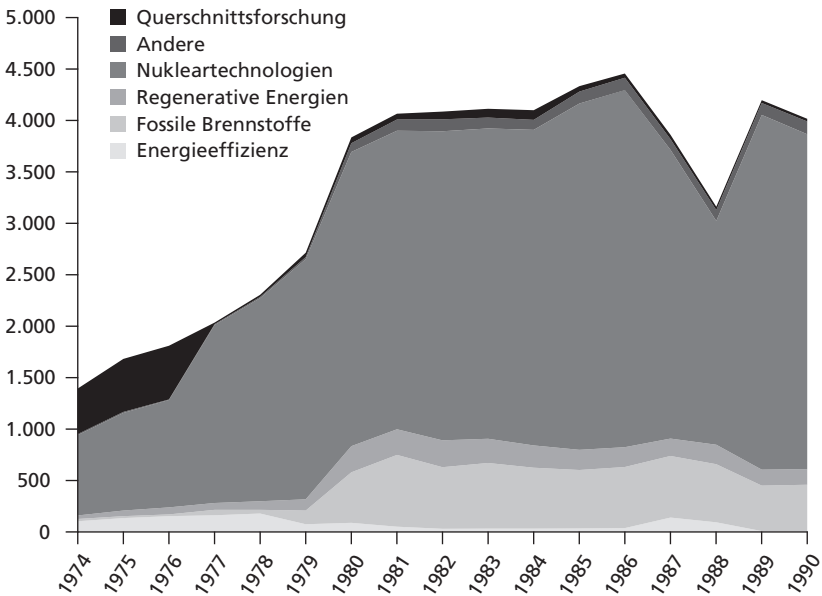
Der Aufbau der amerikanischen Energietechnologiepolitik

In den USA war die Interessenlage in der Forschungs- und Technologiepolitik genauso unübersichtlich wie im energiepolitischen Tagesgeschäft. Allerdings hatten Forschungsschwerpunkte weniger gravierende Verteilungswirkungen – im Vergleich zu vorherigen Zeiten war die Energieforschung in den 1970er-Jahren abseits von einigen Zuständigkeitskonflikten ein Feld der »Förderung mit der Gießkanne« und entsprechendem »Wildwuchs«, was etwas mehr planerische Beweglichkeit zuließ. Nixon hatte seit Juni 1971 mehrmals Energieforschungsprogramme angekündigt und den Kongress spätestens seit April 1973 darin unterstützt, die in die Kritik geratene Atomic Energy Commission aufzulösen, die sowohl für die Forschungs-, Industrie- und Technologiepolitik als auch für die regulatorische Aufsicht des Kernkraftwerksausbaus und teilweise für die Kernwaffenprogramme zuständig war.⁶² Die Auflösung der AEC sollte einerseits

62 Richard M. Nixon, 1971: *Special Message to the Congress on Energy Resources*, 4. Juni; Richard M. Nixon, 1973: *Statement Announcing Additional Energy Policy Measures*, 29. Juni.

Abbildung 4-9 Jährliche Energieforschungs- und Entwicklungsausgaben in Japan nach Technologiefeldern, 1974–1990

Mio. 2012 US-Dollar



Quelle: Internationale Energieagentur.

die Forschungs- und Technologieförderung für die Energieversorgung breiter aufstellen und andererseits die Atomaufsicht von der Atomförderung trennen (einen historischen Überblick gibt Jasper 1990: Kap. 3).⁶³ Waren Nixons Vorschläge 1973 noch in einem Zuständigkeitskonflikt zwischen Innen- und Atomausschuss blockiert worden (De Marchi 1981a: 435), gelang es der Administration Gerald Fords Ende 1974 die Reorganisationspläne und damit auch die Gründung der Energy Research and Development Administration (ERDA) umzusetzen, die seit 1975 große Teile der Technologiepolitik für die zukünftige Gestaltung des Energieversorgungssystems koordinieren sollte.

Die ERDA, von der Ausstattung und Stellung durchaus nicht nur rhetorisch vergleichbar mit dem Manhattan-Project, vereinigte die gesamten Forschungs- und Produktionsabteilungen der Atomic Energy Commission, das Office of Coal Research des Department of the Interior, die Entwicklungsarme des Bu-

⁶³ Tom Alexander, 1976: ERDA's Job Is to Throw Money at the Energy Crisis. In: *Fortune*, Juli, 152–162.

reau of Mines, die Solar- und Geothermieprojekte der National Science Foundation und die Forschungsprojekte zu alternativen Antrieben der Environmental Protection Agency und war bei ihrer Gründung mit 7.200 direkten Mitarbeitern und einem Budget von 3,6 Milliarden US-Dollar ausgestattet.⁶⁴ Die Gründung der Energieforschungsadministration war Teil einer seit der zweiten Hälfte 1974 verhältnismäßig breit unterstützten und länger geforderten Zentralisierung der Kompetenzen in der amerikanischen Energiepolitik durch den Energy Reorganization Act 1974. Die Verteilung der Verantwortung in der Energiepolitik auf über vierzig bundesstaatliche administrative Einheiten und unzählige weitere auf regionaler Ebene, so die Problemwahrnehmung, hielt den Staat in der Energiekrise in der kurzen Frist gefangen, nahm ihm die Möglichkeit, langfristig ausgerichtete Programme anzugehen, sie gegen eventuell betroffene Interessen durchzusetzen und Handlungsfähigkeit zu demonstrieren.⁶⁵ Die Förderschwerpunkte der ERDA lagen, wie aus ihrer Geschichte nicht anders zu erwarten, auf Nukleartechnologien, alternativen Förder- und Verbrennungsanlagen für Kohle und Gas und – nach ausdrücklicher Forderung der Administration Fords – der Forschung zur Herstellung und Verarbeitung von Synthetic Fuels, von Flüssigkraftstoffen aus Kohle (siehe Tabelle 4-1).

Im Unterschied zu den alten entwicklungsstaatlichen Einrichtungen der amerikanischen Regierung, etwa DARPA, NASA und den angeschlossenen Laboratorien, hatte die ERDA, wie Lambright und Teich (1979: 145) bemerken, eine durchaus neuartige politisch-ökonomische Rolle. Sie war nicht eingerichtet, um den Privatsektor für die Erfüllung staatlicher Ziele einzuspannen, sondern ihm in eine bestimmte Richtung zuzuarbeiten und zu technischen Durchbrüchen und neuen Geschäftsfeldern zu verhelfen.⁶⁶ Die ERDA sah sich von Beginn an Vorwürfen ausgesetzt, eine Einrichtung zur Kernkraftförderung mit erweiterten Kompetenzen zu sein. Bei ihrer Gründung standen in der Organisation beinahe 6.000 ehemalige Angestellte der Atomic Energy Commission gegen 8 Angestellte, die aus der Forschung an der Solarenergie kamen (Laird 2004: 90). In Begleitung der Einrichtung der ERDA erließ der immer mehr von den oben dargestellten Ideen um eine basisdemokratische grüne Energiepolitik durchgezogene

64 Alice Buck, 1982: *A History of the Energy Research and Development Administration*. Washington, DC: US Department of Energy, 2–3.

65 Siehe zur Krisendiagnose exemplarisch: U.S. Congress, 1974: *Federal Energy Organization: An Organizational Study. Prepared for Public, Congressional, and Agency Comment by the Federal Regulation Study Team*. Washington, DC, Kap. 4.

66 Diese oft wiederholte Einschätzung muss relativiert werden. Die Gründung der NSF ging unter anderem auf klassische industriepolitische Ziele zurück, und das *Atoms-for-Peace*-Programm und die Förderung der Kernkraft waren von Beginn an darauf ausgerichtet, dass der Privatsektor das, was im Militärbereich erforscht wurde, in der Energieversorgung einsetzt, vermarktet und exportiert.

Tabelle 4-1 US Energy Research and Development Administration: Forschungs- und Entwicklungsbudget, 1975–1977

	1975	1976	1977
Nuklearer Stoffzyklus und Reaktorschutz	120(118)	163(173)	282(347)
Energieeinsparung	21(36)	55(75)	91(120)
Geothermie	21(28)	32(31)	50(100)
Kernfusion	151(183)	224(250)	304(392)
Kernspaltung	538(567)	522(602)	709(823)
<i>Solar Energy</i>	15(42)	86(115)	116(160)
davon Photovoltaik	2,6(5,2)	16,4(22,4)	24,3(32,8)
Fossile Brennstofftechniken	138(335)	333(398)	442(447)
Umwelttechniken	7(8)	12(13)	16(16)
Gesamt (Technologieförderung)	1.011(1.317)	1.427(1.657)	2.009(2.435)
Gesamt (inklusive Grundlagenforschung)	1.324(1.679)	1.800(2.060)	2.413(2.865)

Outlays in Millionen US-Dollar, *Authority* in Klammern. Der Posten *Solar Energy* umfasst alle nicht nuklearen regenerativen Energietechniken in der Wärme- und Elektrizitätsproduktion.

Quellen: US Energy Research and Development Administration, 1976: *A National Plan for Energy Research, Development and Demonstration: Creating Energy Choices for the Future*, Vol. 1: *The Plan*. Washington, DC, 15. April, 37; US Energy Research and Development Administration, 1976: *A National Plan for Energy Research, Development and Demonstration: Creating Energy Choices for the Future*, Vol. 2: *Program Implementation*. Washington, DC, 30. Juni, 103.

Kongress eine Reihe gesonderter Gesetze, die einzelne – häufig regenerative – Energietechnologien in der neuen Forschungspolitik festschrieben und der Forschungsadministration Berichtspflichten zur Arbeit an neuen Technologien, zur Energieeinsparung und zur Umweltverträglichkeit der Energieforschung im Ganzen aufbürdeten, unter ihnen der Federal Nonnuclear Energy Research and Development Act, der Solar Heating and Cooling Act, der Geothermal Energy Research, Development and Demonstration Act und der Solar Energy Research, Development, and Demonstration Act. In der Administration schien es durchaus gewollt zu sein, verschiedene Energietechnologien innerhalb der ERDA konkurrieren zu lassen, in ihr gewissermaßen einen Markt zu simulieren und konkurrierende Ansprüche zu schlichten. »In this way, scientists of all disciplines who are interested in and committed to the solar dream will be able to form a community dedicated to that goal. Only the best science can survive in such a setting; solar energy research deserves nothing less«, bemerkte etwa Sawhill, Direktor der Federal Energy Administration unter Ford, zynisch im Hinblick auf einen vor dem Energy Reorganization Act vom Kongress eingebrachten Entwurf

für den Solar Energy Research, Development, and Demonstration Act, der die Verankerung eines dezidiert der Kommerzialisierung regenerativer Energien gewidmeten Instituts im ERDA-Komplex festschrieb, dem späteren Solar Energy Research Institute (SERI).⁶⁷ In den Auseinandersetzungen um die anfängliche Ausrichtung der ERDA kündigten sich bereits Ansätze jener Konflikte an, die die Politik der Entwicklung regenerativer Energien im Allgemeinen und die Politik der Sonnenenergie im Besonderen über das nächste Jahrzehnt immer wieder prägen sollten. Etwas wie eine einheitliche Vision, wie die amerikanische Energiezukunft auszusehen habe, gab es nicht.

Die Photovoltaik in der amerikanischen Energietechnologiepolitik

Die Erforschung der Photovoltaik im terrestrischen Einsatz hatte noch Anfang der 1970er-Jahre zunehmend Unterstützer gefunden. Der Anstoß zu einem neuen Versuch, sie für die Energieversorgung der USA bereit zu machen, entstammte im Kern einer losen Interessenkoalition aus drei ebenfalls lose gekoppelten Gruppen: industriellen Akteuren aus der Photovoltaikfertigung, mehreren Forschungsorganisationen und der Umweltbewegung nahestehenden Kongressabgeordneten. Schon Ende der 1960er-Jahre entstand neues Interesse mehrerer Industrietaeure am terrestrischen Einsatz der Photovoltaik. Mener (2001: 306) präsentiert Hinweise, dass es in den Forschernetzwerken um das amerikanische Weltraumprogramm schon Mitte der 1960er-Jahre vermehrt zu Austausch über die Möglichkeiten der Photovoltaiknutzung auf der Erde kam. Industrielle Anstöße, dies auch wirklich anzugehen, entwickelten sich erst Anfang der 1970er-Jahre.

Einer der wesentlichen Pioniere dieser Bewegung in der Industrie war Elliot Berman, ein Chemiker. Wie Perlin (1999: 52) berichtet, ergab sich Bermans Interesse für die Photovoltaik auf der Suche nach einem neuen, länger ausgelegten Forschungsprojekt für seinen Arbeitgeber, einen für den amerikanischen Verteidigungskomplex produzierenden Hersteller von Kameratechnik. Er entwickelte einen Vorschlag, nach Möglichkeiten zu suchen, Kosten für Photovoltaikanlagen so weit zu senken, dass sie sich auf der Erde nutzen lassen sollten. Dieser Vorschlag wurde von seinem Arbeitgeber sogleich abgelehnt. Berman schaffte es noch 1969, den Ölkonzern Exxon von seinem Forschungsprojekt zu überzeugen, der seine Entwicklungsarbeit und damit die erste ausschließlich auf die Energieerzeugung auf der Erde fokussierte Photovoltaikabteilung der

67 U.S. Congress, 1974: *Solar Energy Research, Development, and Demonstration Act of 1974. Hearings before the Subcommittee on Energy of the Committee on Science and Astronautics, U.S. House of Representatives, Ninety-third Congress. Second session on H.R. 15612.* Washington, DC, 30.

1970er-Jahre finanzierte (ebd.: 53). Seit 1973 vermarktete Berman mit seiner Solar Power Corporation Solarzellen und forschte an Möglichkeiten, das *over-engineering* der Weltraumzelltechnik abzubauen. Bermans Unternehmen legte in den ersten Jahren seines Bestehens wichtige technische Weichenstellungen, experimentierte etwa mit Siliziumscheiben, deren Reinheit für die Halbleiterindustrie und die Weltraumprogramme nicht ausreichte, die für günstige Solarzellen aber durchaus Potenzial versprachen. Es versuchte, statt mit der Anbringung einer Antireflexionsschicht auf den Modulen mit angerauten Oberflächen zu arbeiten, die beim Sägen der Scheiben aus Siliziumkristallen ohnehin entstanden, und arbeitete daran, die Zellfläche zu vergrößern. Bis 1973 konnte Berman, nach eigenen Behauptungen, Solarmodule statt für die noch zwei Jahre zuvor für üblich gehaltenen 100 US-Dollar pro Watt (634,76 für 2013 CPI-bereinigt) für 20 US-Dollar pro Watt anbieten (ebd.: 54–55).

Ähnliche Fälle, in denen Ingenieure Kleinfirmen im Bereich der Photovoltaikentwicklung mit der Hilfe finanzkräftiger Ölkonzerne gründeten, häuften sich bis Mitte der 1970er-Jahre. 1974 etwa gründete Mobil Oil einen Ableger, der ein von der Universität Harvard und den Tyco Laboratories, einer Firma in der Halbleiter- und Materialforschung, entwickeltes Verfahren zum »Ziehen« von kristallinen Siliziumscheiben entwickelte, genannt *edge-defined film-fed growth* (EFG; Mener 2001: 305). Gewichtige Kostenpunkte in der Herstellung von Silizium solarzellen bleiben bis in die Gegenwart die Produktionsschritte vom aufbereiteten Silizium bis zu den für die Zellproduktion benötigten kristallinen Scheiben (genannt *Wafer*). Noch heute wird ein Großteil dieser Scheiben aus Kristallen oder Siliziumblöcken (genannt *Ingots*) gesägt, was einerseits äußerst schwer zu automatisieren ist und wobei andererseits, insbesondere bei der Sägetechnik der frühen 1970er-Jahre, oft ebenso viel kristallines Material verloren ging, wie am Ende in Form von Scheiben übrig blieb. Verschiedene Techniken der direkten Scheibenherstellung für die Weiterverarbeitung, in den 1970er-Jahren sprach man gerne von »sand in, cells out«,⁶⁸ entwickelten sich zu einer der wesentlichen Zukunftshoffnungen in der Produktionstechnik für Solarzellen (sowie für die Halbleiterteilung).

Karl Böer, langjähriger Leiter einer Forschungsgruppe für Dünnschichtmodule an der Universität Delaware, der derart lange mit Solarzellen gearbeitet hatte, dass er schon an Experimenten mit Selenzellen beteiligt war, gründete in Verhandlungen mit Shell 1973 einen Hersteller für Cadmiumsulfidmodule und rüstete in Delaware ein Demonstrationshaus mit seinen Photovoltaikanla-

68 Siehe etwa: *Photovoltaic Conversion of Solar Energy for Terrestrial Applications. Workshop Proceedings, Vol. I: Working Group and Panel Reports*, 23–25 October 1973. Cherry Hill, NJ: JPL, California Institute of Technology, NSF, 19.

gen aus (ebd.: 309–311).⁶⁹ Das Solar One genannte Haus, das zumindest den Berechnungen nach ausreichend Wärme und Elektrizität erzeugen konnte, um zu einem Drittel mit Sonnenenergie betrieben zu werden, erzeugte ein breites Medienecho und schaffte es nach Angaben Böers bis ins deutsche Fernsehen.⁷⁰ Bis in die zweite Hälfte der 1970er-Jahre hatten die meisten namhaften Ölkonzerne Beteiligungen oder Abteilungen in der Photovoltaik; es »gehörte [...] in der US-amerikanischen Ölindustrie schon fast zum guten Ton, an einer Solarfirma beteiligt zu sein« (ebd.: 305). Neben *Corporate-Greening*-Motiven, Überresten der wilden amerikanischen Diversifizierungsbewegung der Nachkriegszeit, einem gewissen Grad an institutionellem Isomorphismus und den in der Ölindustrie diskutierten Ideen, im Licht der Energiekrise in Zukunftstechniken vertreten zu sein, hatten Ölkonzerne in den 1970er-Jahren einen viel praktischeren Grund, der Photovoltaik aufgeschlossen gegenüberzustehen. Sie nutzten Photovoltaikanlagen in der abgelegenen Exploration und zum Korrosionsschutz an Leitungen und Bohrstellen und seit den 1980er-Jahren zur Beleuchtung von Hochseeplattformen (Perlin 1999: Kap. 7).

Eine weitere Bewegung hin zur Photovoltaik stammte aus den amerikanischen Weltraumprogrammen. Das Budget der NASA wurde schon seit dem Jahr 1965 langsam, aber kontinuierlich real gekürzt. Auch wenn sich die großtechnischen Fantasien um die amerikanischen Weltraumprogramme bis in die 1980er-Jahre hielten, zeigte sich seit den späten 1960er-Jahren, wie die NASA selbst, ihr nahestehende Forschungseinrichtungen und assoziierte Firmen und Forscher nach neuen Betätigungsfeldern suchten. Einige der wichtigsten Hersteller von Photovoltaikanlagen der 1970er-Jahre stammten direkt oder indirekt aus dem amerikanischen Weltraumkomplex. Joseph Lindmayer und Peter Varadi, leitende Ingenieure der Communications Satellite Corporation, waren 1972 von einigen Konferenzpräsentationen und an ihren Arbeitgeber gerichteten Regierungsanfragen für Photovoltaiksysteme, die netzferne Telefonkomponenten betreiben können, zur Idee gekommen, sich in der terrestrischen Photovoltaik zu versuchen. Nachdem ihr Arbeitgeber ihren Antrag auf Förderung abgelehnt hatte, gründeten sie 1973 Solarex und begannen, an kostengünstigen Herstellungsverfahren für den Einsatz der Photovoltaik auf der Erde zu arbeiten. Solarex machte wichtige Fortschritte im Einsatz unreineren polykristallinen Siliziums – und damit prospektiv darin, von den direkten Lieferketten der äußerst volatilen Halbleiterindustrie unabhängig zu werden – und schaffte es, seine Zel-

69 Karl Wolfgang Böer, 2011: Bringing the Oil Industry into the Picture. In: Wolfgang Palz (Hg.), *Power for the World. The Emergence of Electricity from the Sun*. Singapur: Pan Stanford, 159–163.

70 Karl Wolfgang Böer, 2010: *The Life of a Solar Pioneer. Karl Wolfgang Böer*. Bloomington, IN: iUniverse, 203.

len in Nischenmärkten, insbesondere für den Einsatz an Leuchttürmen, Bojen, Wetterstationen und später in elektronischen Kleingeräten, abzusetzen (Jones/Bouamane 2012: 25–27; Margolis 2002: 194–196).⁷¹

Bill Yerkes gründete, nachdem er von Spetrolab, dem lange Zeit wichtigsten Hersteller von Photovoltaikzellen für Satelliten, im Rahmen einer Restrukturierung entlassen worden war, Solar Technology International und arbeitete an der Herstellungstechnik für Solarzellen (Margolis 2002: 159). STI machte bedeutende Fortschritte in der Herstellungstechnik, führte Laufbänder in die Produktion ein, wandte Siebdruckverfahren für das Anbringen von Leiterbahnen an die Zellen an und begann, Module mit Glasabdeckungen und Aluminiumrahmen zu fertigen (ebd.: 159–160). Die neue Welle an Firmengründungen und praktischen Versprechen für den Einsatz der Photovoltaik auf der Erde schaffte es wiederum in die Medien. Eine Popular-Science-Ausgabe im Dezember 1974 widmete der neuen Photovoltaikindustrie ihre Titelgeschichte mit dem Zusatz »Dramatic technical developments can bring free energy into our big power systems« und wiederholte sämtliche Hoffnungen, die schon die früheren Wellen der Euphorie um die Solarenergie getragen hatten. Im Licht der Energiekrise fügte sie nun hinzu: »[W]orking systems [...] provide the technology to conserve billions of dollars worth of fossil fuels.«⁷²

Bei den Forschungsorganisationen aus dem Weltraumprogramm zeigte sich seit den späten 1960er-Jahren Interesse, den Einsatz der Photovoltaik in der Energieversorgung zu unterstützen. Ein Treiber dieser Erwägungen bei der NASA war eine Wiederbelebung eines technischen Traums aus den 1920er-Jahren durch den Ingenieur Peter Glaser, im Weltraum stationierte Solarkollektoren für die Energieversorgung auf der Erde einzusetzen (Mener 2001: 306). Glasers Konzept, das er 1968 im Magazin *Science* öffentlich bewarb, bestand aus einer im Weltraum positionierten Photovoltaikanlage und einer Konstruktion, die die gewonnene Energie per Strahlentechnik auf eine Empfängerstation auf der Erde übertragen sollte.⁷³ So realitätsfern Glasers Projekt aus heutiger Sicht wirken mag, wurde es in der NASA trotz einiger kritischer Stimmen gefördert. Noch im Jahr 1977 erhielt es Unterstützung durch den Kongress (ebd.: 306–307) und wurde in jenem ersten größeren Report des Solarenergiepanels von NSF und NASA detailliert vorgestellt und beworben, der gewissermaßen den formellen

71 Peter F. Varadi, 2011: Terrestrial Photovoltaic Industry – The Beginning. In: Wolfgang Palz (Hg.), *Power for the World. The Emergence of Electricity from the Sun*. Singapur: Pan Stanford, 555–567.

72 Solar Cells. When Will You Plug Into Electricity From Sunshine. In: *Popular Science* 205, 52–55, 1931, 120–121, hier: 121.

73 Peter E. Glaser, 1968: Power from the Sun: Its Future. In: *Science* 162(3856), 857–861.

Startschuss für den wissenschaftlich-industriellen Komplex zur Erwägung der Arbeit an der Photovoltaik für die terrestrische Energieversorgung gab.⁷⁴

Cherry Hill und das Problem koordinierter Industrialisierung

Zwischen NASA und NSF kam es zu Unstimmigkeiten darüber, wer für den geplanten staatlichen Anlauf, neue nicht nukleare Energietechniken zu fördern, verantwortlich sein sollte. Beide Stellen versuchten ihre Zuständigkeiten seit den frühen 1970er-Jahren in diese Richtung zu erweitern und förderten regenerative Energietechniken, noch bevor sie dafür einen politischen Auftrag hatten (Kitschelt 1983: 286; Mener 2001: 316–317, 320–321). In der Folge wurde bei beiden Organisationen im Bereich der regenerativen Energietechniken gearbeitet und universitäre sowie privatwirtschaftliche Forschung gefördert. Ein offensichtlicher Grund für dieses Engagement war, dass die regenerativen Energietechnologien einen wichtigen Weg für diese Forschungsorganisationen darstellten, in den neuen energiepolitischen Technologieprogrammen Fuß zu fassen – die Forschung zur Atomenergie war durch die AEC und später die ERDA abgedeckt, die Forschung zu fossilen Rohstoffen war am Argonne National Laboratory und den früheren Forschungszentren des Department of the Interior, dem Bartlesville Energy Research Center, dem Morgantown Energy Research Center und dem Pittsburgh Energy Research Center konzentriert.⁷⁵

74 Siehe NSF/NASA Solar Energy Panel, 1972: *An Assessment of Solar Energy as a National Energy Resource*. Washington, DC, 60–65. Die Gruppe schlug 388 Millionen US-Dollar Förderung für die Weltraumstation gegenüber 210 Millionen für die Zellforschung, 6 Millionen für Anlagen auf Häusern und 76 Millionen für Photovoltaikkraftwerke für einen Zeitraum von 10 bis 15 Jahren vor (ebd. 80). Wie aus einem späteren Bericht hervorgeht, hatten sich diese Vorschläge ein Jahr später auf 528 Millionen US-Dollar für die Raumstation gegenüber 161 Millionen Dollar für Photovoltaikkraftwerke und 91 Millionen Dollar für Photovoltaikanlagen auf Häusern für 15 Jahre erhöht. Siehe *Terrastar. Terrestrial Application of Solar Technology and Research. Final Report*. NGT-01-003-044, 1973. Auburn, AL: Auburn University Engineering Systems Design, 8–2. In einem späteren Interview beschreibt Glaser den Weg seines Projekts und deutet vorsichtig den Vorwurf an, die Fusionsphysiker in der ERDA seien der ernsthaften Förderung seiner Vision in den Weg gekommen. Siehe John Elder, 1994: *Interview with Dr. Peter Glaser*, Lexington, MA, May 16 1994. Transkript. College Park MD: Niels Bohr Library and Archives with the Center for History of Physics, American Institute of Physics. Der Photovoltaiksatellit wurde nicht nur in den USA diskutiert. Noch im Jahr 1977 bestimmte die Idee Vortrag und Debatte auf einer Sitzung der Rheinisch-Westfälischen Akademie der Wissenschaften zu den Potenzialen der Solartechnik für die Energieversorgung. Siehe Hans Brand, 1977: Möglichkeiten und Grenzen einer technischen Nutzung der Sonnenenergie. In: *Rheinisch-Westfälische Akademie der Wissenschaften. Natur-, Ingenieur und Wirtschaftswissenschaften. Vorträge, N 267*. Opladen: Westdeutscher Verlag, 7–30.

75 Die späteren Reports zur Forschung um fossile Rohstoffe des 1977 gegründeten Department of Energy bieten einen guten Überblick zur Struktur der staatlichen Forschung im Bereich fossiler

Der von NSF und NASA erstellte Report zur Vorbereitung von Nixons Energieforschungsplänen 1972 fiel sehr zuversichtlich aus. Er enthielt die über die nächsten Jahrzehnte verbreitete Vision, dass die vergleichbar hohen Kosten unkonventioneller Energietechniken letztlich eine Folge der Produktionsmengen seien. Neben der Beschreibung von Glasers Satellitenstation enthielt der Bericht im Bereich der Photovoltaik Beschreibungen für größere Photovoltaikkraftwerke sowie, und das ist in dieser Weise bemerkenswert, Entwürfe für auf Wohnhäuser gebaute, aber ans Stromnetz gekoppelte Solarthermie- und Photovoltaikanlagen, inklusive einer Art Systemplan, wie regenerative Energietechniken mit Invertern, Speichern und einem Electric Car um ein Wohnhaus kombiniert werden könnten.⁷⁶ Visionen für derartige Energieversorgungsstrukturen, die um das typische Einfamilienhaus herum gebaut sind, sollten sich in den nächsten Jahrzehnten zu einem der wesentlichen systemtechnischen Leitbilder der Förderung der Photovoltaik entwickeln. »One can indeed imagine«, schrieb das Panel in das Executive Summary des Reports, »designing ›optimum size‹ environmentally oriented communities which would meet most of its energy needs from direct solar energy and the solar derived fuels from the local waste treatment plant.«⁷⁷

Die Vorstellung, dass die Kostennachteile der Photovoltaik vornehmlich eine Frage der Produktionsmenge und damit zusammenhängend der Produktionstechnik seien, findet sich in einer Reihe von Diskussionen und Publikationen der Jahre 1973 und 1974. Während der Report von 1972 die Potenziale der regenerativen Energien noch vornehmlich technologisch und mit Bezug auf den Umweltschutz diskutierte, nahmen spätestens Mitte 1973 Veröffentlichungen zu, die den Einsatz regenerativer Energien im Hinblick auf eine drohende Energieknappheit diskutierten. Der Komplex um NSF und NASA stellte im September 1973 einen weiteren Bericht zusammen, der Materialien zur Application of Solar Energy to the Energy Crisis versammelte. Die Gruppe präsentierte darin neben technischen Daten und Projektionen einen Public Opinion Survey zum Vertrauen in die Energiesicherheit der USA und zur Akzeptanz der regenerativen Energietechniken, einen Survey zum Unterstützungswillen von Kongressabgeordneten und eine Sammlung möglicher koalitionstechnischer »Schlachtpläne«, wie man die Förderung politisch ausbauen könnte.⁷⁸ Der Te-

Brennstoffe. Siehe etwa US Department of Energy, 1978: *Fossil Energy Program Report, 1 October 1976–30 September 1977*. Washington, DC: Department of Energy.

76 NSF/NASA Solar Energy Panel, 1972: *An Assessment of Solar Energy as a National Energy Resource*. Washington, DC, 57.

77 Ebd.: 11.

78 *Terrastar. Terrestrial Application of Solar Technology and Research. Final Report*. NGT-01-003-044, 1973. Auburn, AL: Auburn University Engineering Systems Design; zur Befragung: 9-15–9-16; zur Unterstützung im Kongress: 9-13.

nor der Dringlichkeit des Reports speiste sich einerseits aus den zunehmenden Anzeichen für Stromausfälle und Heizölverknappungen seit dem Jahr 1970. Andererseits rechneten Forscher der frühen 1970er-Jahre, ganz im Stil der *Limits-to-Growth*-Debatten, mit teilweise extremen Voraussagen über den Energieverbrauch in der Zukunft, und das, obwohl sie die aufziehende Energiekrise in ihre Berechnungen einpreisten und damit unter den Projektionen der 1960er-Jahre blieben. Für das Jahr 2000 etwa entwarfen sie Energieverbrauchsszenarien, die – im schlimmsten Fall – 206 Milliarden BTU in den USA erreichen könnten (es waren schließlich 98,8 Milliarden BTU, was allerdings noch über den zurückhaltenderen Schätzungen des Reports lag).⁷⁹ »Solar energy must be developed for two main reasons«, schlossen die Forscher, »(1) fossil fuels are finite, and (2) fusion may not be technically feasible for many years after 2020.«⁸⁰

Im Jahr 1973 fanden ferner zwei zentrale Konferenzen für die folgende Entwicklung der Photovoltaik statt. Im Juli 1973 veranstaltete die UNESCO mit CNRS-Unterstützung eine internationale Konferenz in Paris unter dem Titel *The Sun in the Service of Mankind*, an der über eintausend Vertreter teilnahmen und auf der Wernher von Braun in einem Grußwort mit dem Ausspruch zitiert wird: »I believe we are at the dawn of a new age, one which might be called the ›Solar Age.«⁸¹ Zweitens versammelten NASA und NSF Ende Oktober in Cherry Hill beinahe die gesamte Prominenz der amerikanischen Photovoltaikforschung, Vertreter von Energieversorgungsunternehmen und von angrenzenden industriellen Feldern zur Auslotung der Chancen eines terrestrischen Entwicklungsprogramms für die Technologie. Die Cherry-Hill-Konferenz wurde einhellig als Startschuss der Dynamik jenes Komplexes aus Forschungsorganisationen, Universitäten und Firmen beschrieben, der sich im folgenden Jahrzehnt in den USA um die Photovoltaik bildete.⁸² Die Konferenzdiskussionen grenzten streckenweise an kollektive Euphorie, und es wirkt in den Konferenzprotokollen häufig so, als hätten sich die Teilnehmer mit Projektionen für Kostensenkungen über die nächsten zehn Jahre gegenseitig überbieten wollen.⁸³ Der Grund dafür

79 Ebd.: 1-5-1-11.

80 Ebd.: 1-13.

81 Wolfgang Palz, 2011: *The Rising Sun in a Developing World*. In: Wolfgang Palz (Hg.), *Power for the World. The Emergence of Electricity from the Sun*. Singapur: Pan Stanford, 1-58, 15.

82 Henry W. Brandhorst, 1984: *Photovoltaics – The Endless Spring*. Kissimmee, Florida: Seventeenth Photovoltaic Specialists Conference, 1-4 May; Paul D. Maycock, 1986: *The Jet Propulsion Laboratory Low-Cost Solar Array Project, 1974-1986*. Pasadena, CA: JPL, California Institute of Technology, Proceedings of the 26th Project Integration Meeting, 91-95.

83 Eindrucksvolle Beispiele finden sich in Paul Rappaports (RCA) Vortrag, der errechnete, er könne bis 1985 Zellen mit 19 Prozent Konversionseffizienz für 0,50 Dollar produzieren. Siehe *Photovoltaic Conversion of Solar Energy for Terrestrial Applications. Workshop Proceedings, Vol. I: Working Group and Panel Reports, 23-25 October 1973*. Cherry Hill, NJ: JPL, California Insti-

lag nicht nur darin, dass das Feld nach einem Jahrzehnt der Routine in den Weltraumprogrammen innerhalb weniger Jahre massiv an Dynamik gewann, sondern auch darin, dass man ein relativ überzeugendes Narrativ dafür hatte, warum Photovoltaikanlagen nach zwei Jahrzehnten der angewandten Forschung noch immer derart teuer waren. Neben der regelmäßigen Selbstvergewisserung, mit genügend Mühe hinlänglich weitreichende technische Weiterentwicklungen hervorbringen zu können, zielte die Mehrzahl der Stellungnahmen darauf ab, dass die Entwicklung der Photovoltaik an einem fehlenden Markt krankte. Auf eine Teilnehmerfrage, wie er auf fünf US-Dollar momentane Kosten für seine Zellen gekommen sei, antwortete Paul Rappaport: »I don't care if it is \$20 a watt at the present time. We feel that prices now are artificial because demand is too limited.«⁸⁴ Schon im Report des NSF/NASA Panels tauchte diese technologiepolitische Argumentation auf. Sie stellte darauf ab, dass die Industrie die für ihre Entwicklung nötigen Kostensenkungen nicht ohne weitreichende Automatisierung und *economies of scale* erlangen würde. Für die Automatisierung und den Bau größerer Fabriken hingegen musste ein Markt vorhanden sein:

To make extensive application of silicon solar arrays for terrestrial consumption economically feasible, their price will have to be reduced by a factor of at least 100 from present levels [...]. A significant part of this is expected to be gained through the required million-fold expansion of production rates and attendant automation.⁸⁵

Diese Argumentation fand sich nicht nur mit Bezug zur Zell- und Modulproduktion, sondern auch mit Bezug zur Produktion von Vorprodukten. Die Photovoltaikindustrie der 1970er-Jahre bezog ihr (fast vollständig monokristallines) Silizium größtenteils von Chemiekonzernen, die für die Halbleitertechnik produzierten – mit entsprechend hohen Kosten und entsprechender Volatilität angesichts des bis in die 1990er-Jahre unter extremen Zyklen leidenden Marktes für Halbleiter. Bei der Idee, dass man sich in einer Entwicklungsfalle zwischen unzureichenden Kapazitäten, zu hohen Kosten und einem fehlenden Markt befand, hatten die Akteure

tute of Technology, NSF, 9. Siehe auch die Zusammenstellung der Arbeitsgruppe zu monokristallinen Zellen, ebd.: 14–16. Ralph von Heliotek präsentierte Milestones, die 2,50 Dollar pro Watt Zellkosten bis 1978 und 0,30 Dollar bis 1983 schätzten. Siehe *Photovoltaic Conversion of Solar Energy for Terrestrial Applications. Workshop Proceedings, Vol. II: Invited Papers*, 23–25 October 1973. Cherry Hill, NJ: JPL, California Institute of Technology, NSF, 8. Und Lindmayer von Solarex erklärte, er könne sofort Zellen für 10 US-Dollar pro Watt herstellen, wenn er ausreichend Nachfrage hätte; siehe ebd.: 9.

84 *Photovoltaic Conversion of Solar Energy for Terrestrial Applications. Workshop Proceedings, Vol. I: Working Group and Panel Reports*, 23–25 October 1973. Cherry Hill, NJ: JPL, California Institute of Technology, NSF, 11.

85 NSF/NASA Solar Energy Panel, 1972: *An Assessment of Solar Energy as a National Energy Resource*. Washington, DC, 52.

um die Photovoltaik einerseits die Erfolgsgeschichte der Halbleiterindustrie im Blick. Die dort erreichten Kostensenkungen in der Mengenproduktion tauchten in den Vorträgen in Cherry Hill immer wieder auf. »[D]efinitely the government has got to do some pump priming«, bemerkte etwa William Cherry, der mittlerweile vom Militär zur NASA gewechselt war:

The semiconductor industry got started in the same way. [...] [I]f you would look at the cost of semiconductors, you could see that there wasn't much of a reduction over the years during the fifties. But as soon the large amounts of government expenditures dropped off, the prices started coming down; the competition went up; and those who could make it for the price stayed in the field. The same thing is going to happen with us.⁸⁶

Andererseits, und diese Idee wird für die folgenden Projekte der NASA prägend sein, sticht aus den Diskussionen recht deutlich heraus, dass die Teilnehmer eindeutig erkannten, dass das Problem der Industrie vor allem in der *kollektiven Abstimmung und Ordnung* lag statt in der Technik selbst, den prinzipiell verfügbaren Ressourcen oder dem Entwicklungspotenzial einzelner Wertschöpfungsschritte. Einige Schlaglichter dieses über die nächsten Jahre immer wieder auftauchenden Problems: Energieversorgungsunternehmen investierten nicht in die Photovoltaik, solange sie nicht erstens günstiger und zweitens bewiesenermaßen verlässlicher war. Zell- und Modulhersteller investierten nicht in ausreichende Fabrikkapazitäten ohne die Erwartung, diese auch auslasten zu können, und konnten ihre Herstellungsprozesse ohne ausreichende Auslastung nicht stabilisieren, um günstig und qualitativ verlässlich zu produzieren. Ferner beschwerten sie sich, dass die Chemieindustrie nicht genügend in Kapazitäten für solches kristallines Silizium investierte, das zwar rein genug für die Zellerstellung, aber nicht rein genug für die Halbleiterei war – mit entsprechend möglichen Kostensenkungen. Vertreter der Chemieindustrie deuteten zwar an, dass eine günstige Herstellung von Silizium mit entsprechenden Kapazitätsinvestitionen überhaupt kein Problem sei, wollten diese Kapazitäten allerdings nicht errichten, solange sie über dessen längerfristigen Absatz nicht sicher waren. Die Problembeschreibungen der Konferenz von Cherry Hill führten seit 1975 zu einem groß angelegten Versuch von NASA, NSF und ERDA, die Industrie aus ihrer Entwicklungsfalle zu befreien. Obwohl über die Jahre durchaus abweichende Projektionen für die Entwicklung der Industrie bis in 1980er-Jahre auftauchten, maß man sich lange Zeit vor allem an den Zielen, die in Cherry Hill diskutiert worden waren. Bis Mitte der 1980er-Jahre sollte die Industrie bis auf 500 bis 1.000 Megawattpeak

86 *Photovoltaic Conversion of Solar Energy for Terrestrial Applications. Workshop Proceedings, Vol. I: Working Group and Panel Reports*, 23–25 October 1973. Cherry Hill, NJ: JPL, California Institute of Technology, NSF, 57.

(MWp) jährliche Produktion anwachsen und dadurch Kostensenkungen auf 30 bis 50 Cent pro Wp in der Modulproduktion erreichen.⁸⁷

Ein Großteil dieses neuen entwicklungsstaatlichen Projekts fand in einem seit Januar 1975 von der ERDA geleiteten größeren Verbundprojekt statt, dem National Photovoltaic Program. Das wachsende Interesse an der Photovoltaik in der ERDA seit 1975 ist durchaus überraschend. Ende 1974 erschien der *solar electric approach* in vielen Stellungnahmen, die nicht aus dem NSF/NASA-Umfeld stammten, noch als eher ferne Zukunftstechnik, während vor allem das *solar water heating and cooling* als unmittelbar zu kommerzialisierendes Feld dargestellt wurde.⁸⁸ Das Plandokument der ERDA zum Programm für regenerative Energien enthielt jedoch schon alle Begründungen für ein ambitionierteres Entwicklungsprogramm, die in Cherry Hill diskutiert wurden, etwa die Modularität von Photovoltaikanlagen, ihr Kostensenkungspotenzial, falls man in die Massenproduktion vorstoßen könne, und die Exportchancen, die eine prosperierende Photovoltaikindustrie bieten würde.⁸⁹ Leiter der Photovoltaikdivision in der ERDA wurde Morton Prince, der bei den Bell Labs nach der Entwicklung der Siliziumzelle wesentlich für deren Verständnis verantwortlich war und später die Forschungslabors von Hoffman Electronics geleitet hatte, während man Vanguard mit Solarzellen ausrüstete. Das Photovoltaikprogramm war praktisch in drei bis vier administrativen Ebenen aufgebaut, mit der ERDA als leitender Ebene, darunter angesiedelten *lead centres*, anfangs insbesondere dem Jet Propulsion Laboratory (JPL) in Pasadena und später zusätzlich den Sandia National Laboratories in Albuquerque und dem 1974 ins Leben gerufenen und 1977 errichteten Solar Energy Research Institute in Golden, Colorado. Diese Zentren vergaben Aufträge an etliche kleine Forschungs- und Universitätslabors, die wiederum Firmen und Forschungsstellen für einzelne Entwicklungsaufträge unter Vertrag nahmen (Pegram 1989: 21–22). Neben schlichten administrativen Überlegungen entsprach diese Struktur dem Geist der ERDA-Förderung – mit massiver Staatsunterstützung sollte die Entwicklung der verschiedensten

87 Siehe etwa Henry W. Brandhorst, 1984: *Photovoltaics – The Endless Spring*. Kissimmee, Florida: Seventeenth Photovoltaic Specialists Conference, 1–4 May. Elmer Christensen, 1985: *Electricity from Photovoltaic Cells: Flat-Plate Solar Array Project. 10 Years of Progress*. Washington, DC: US Department of Energy, JPL, NASA, 53. *Photovoltaic Conversion of Solar Energy for Terrestrial Applications. Workshop Proceedings, Vol. I: Working Group and Panel Reports*, 23–25 October. 1973. Cherry Hill, NJ: JPL, California Institute of Technology, NSF, 16, 86–97.

88 Vergleiche etwa die Kommentare im frühen Schlussreport des zentralen Planungsdokuments der Regierung: US Federal Energy Administration, 1974: *Project Independence Blueprint: Final Task Force Report*. Washington, DC, 85–86.

89 US Energy Research and Development Administration, 1975: *National Solar Energy Research, Development and Demonstration Program: Definition Report*. ERDA-49. Washington, DC: Energy Research and Development Administration, Division of Solar Energy, III-14.

neuen Energietechniken angetrieben werden, um dann die nach diversen Kriterien erfolgreichsten in die Energieversorgung der Zukunft zu integrieren.⁹⁰ Ökonomisch war die ERDA, unter anderem deswegen hatte man die AEC zerschlagen, ein simulierter Markt für neue Energietechnik. Genau diese Struktur fand sich ausgeprägt zwischen den *lead centres*. Die Sandia National Laboratories, ein zuerst von AT&T und später von Lockheed betriebenes Forschungslabor mit starken Beziehungen zum AEC- und Verteidigungskomplex, spezialisierte sich auf verschiedene Spielarten großer Photovoltaikkraftwerke, bei denen zumeist Spiegelanlagen und Linsensysteme die Sonnenstrahlung auf Hochleistungszellen konzentrierten, sogenannte *concentrators*, die dem Prinzip nach jenen Anlagen ähnelten, die Mouchot, Shuman und andere entwickelt hatten.⁹¹ Das SERI, das 1977 in ein teilweise besetztes Feld kam, koordinierte in der Photovoltaik vornehmlich die Arbeit an neuen Zellmaterialien, vergab vor allem Aufträge für die Entwicklung verschiedener Dünnschichttechniken. Das Jet Propulsion Laboratory der NASA verwaltete ein elfjähriges Projekt zur Massenproduktion in der Siliziumphotovoltaik, das zuerst sogenannte Low-Cost Silicon Solar Array Project (LSSA). Alle drei Zentren arbeiteten in der zweiten Hälfte der 1970er-Jahre zusätzlich an zahllosen Systemstudien, Marktanalysen, Demonstrationsprojekten und rechtlich-institutionellen Fragestellungen zur Integration der Photovoltaik in das Energieversorgungssystem der USA. Zusätzlich beteiligte sich eine zunehmende Anzahl an Energieversorgungsunternehmen an Demonstrations- und Prüfprojekten für die drei Zentren.

Die industriepolitischen Großpläne von Cherry Hill gingen vor allem in dem vom JPL geleiteten Projekt auf, das bis in die Gegenwart die gewichtigsten Wirkungen auf die Industrie haben sollte. Das LSSA-Programm war vollständig auf die Diskussionen der Konferenz in Cherry Hill gemünzt. Es sollte Abhilfe bei genau jenen Entwicklungsproblemen leisten, die aus den kollektiven Handlungsproblemen der Industrie entlang der Wertschöpfungskette und durch redundante Entwicklungsversuche zwischen ähnlich positionierten Akteuren entstanden. Es war im Effekt eine Art durch Staatsförderung zusammengehaltenes und von Forschungsinstituten verwaltetes technologiepolitisches Spezialisierungskartell für die Industrialisierung der Technik. Praktisch bestand das LSSA-Programm anfangs aus vier Komponenten, einem Programm zum regelmäßigen Blockkauf von Photovoltaikmodulen, um die Kapazitäten von Fertiggern besser

90 Tom Alexander, 1976: ERDA's Job Is to Throw Money at the Energy Crisis. In: *Fortune*, 152–162.

91 Eine Einordnung der grünen Forschung in den Sandia Labs gibt Schrank (2011). Ein Überblick der Arbeit Sandias in den 1970er-Jahren findet sich in: Sandia National Laboratories, 1978: *Status of the DOE Photovoltaic Concentrator Technology Development Project*. Washington, DC: 13th Photovoltaic Specialists Conference, June 5–8, 1978.

auszulasten; einem Prüf- und Evaluationsprogramm für die aufgekauften Module, um Fertiger einerseits von unsinnigen technologischen Pfaden abzubringen und andererseits Lerneffekte und Standardisierung zwischen ihnen zu beschleunigen; einem systematischen Forschungs- und Entwicklungsprogramm zur Förderung und Abstimmung von Entwicklungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette (von Fertigungsanlagen und Vorprodukten über die Zellherstellung und Modulfertigung bis hin zum Anlagenbetrieb und der Systemintegration) und unzähligen bereichsspezifischen und übergreifenden Workshops und Konferenzen.⁹²

Schon Mitte der 1970er-Jahre hatte das Programm eine beeindruckende Liste technologieorientierter Unternehmen für die terrestrische Siliziumphotovoltaik mobilisiert. Große Chemiekonzerne wie Dow Corning forschten in der Siliziumproduktion und -verarbeitung für die Photovoltaik. Rüstungs- sowie Luft- und Raumfahrtkonzerne wie Boeing und Lockheed und Hersteller von Industrieanlagen wie Honeywell führten für das JPL Machbarkeitsstudien für automatisierte Fertigungsanlagen aus. Elektronik- und Halbleiterkonzerne wie General Electric, IBM, Motorola, Texas Instruments und Westinghouse betätigten sich entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Und annähernd sämtliche früheren Zellhersteller für das US-Weltraumprogramm und die neue, von der Ölindustrie gestärkte Szene kleiner terrestrischer Photovoltaikhersteller arbeiteten in dem Projekt (siehe zum JPL-Projekt Tabelle 4-2).⁹³ Ferner übernahm die neue terrestrische Siliziumphotovoltaikindustrie die institutionellen Infrastrukturen, die sich in der Militär- und Weltraumforschung gebildet hatten. Die seit 1961 jährlich durchgeführte Photovoltaics Specialists Conference, die sich während der 1960er-Jahre fast ausschließlich auf die Forschung für den Weltraum orientiert hatte, richtete eigene Panels für die terrestrische Nutzung ein und entwickelte sich in den folgenden Jahrzehnten zu einer der zentralen Plattformen für die Photovoltaikindustrie (Mener 2001: 308).

92 Neben den jährlichen Fortschrittsreporten hat das Jet Propulsion Laboratory 1986 einen nach Wertschöpfungsschritten gegliederten umfassenden Abschlussbericht in acht Bänden zu dem Projekt veröffentlicht. Eine Zusammenfassung zur Entwicklung des Projekts findet sich in: Jet Propulsion Laboratory, 1986: *Flat-Plate Solar Array Project Final Report. Volume I: Executive Summary*. Pasadena, CA.

93 Beinahe alle hier genannten Unternehmen finden sich schon in den Vertragslisten des ersten Jahresreports des LSSA Project. Siehe Jet Propulsion Laboratory, 1976: *Low-Cost Silicon Solar Array Project. First Annual Report, January 1975–May 1976*. JPL 5101-3. Pasadena, CA, 1-6, 4-4, 4-27-4-29, 4-62-4-65. Das Projekt von Lockheed setzt später ein. Siehe Lockheed Missiles and Space Company, 1978: *Phase 3, Automated Array Assembly, Task IV, Low-Cost Solar Array Project. Final Report*. DOE/JPL/954898-4. Sunnyvale, CA. Die Liste erweitert sich, wenn man die bereichsspezifischen Listen der Vertragspartner im Abschlussbericht des Projekts betrachtet. Siehe Jet Propulsion Laboratory, 1986: *Flat-Plate Solar Array Project Final Report. 8 Volumes*. Pasadena, CA.

Tabelle 4-2 Kennzahlen des ERDA/DOE National Photovoltaic Program und des JPL Low-Cost Silicon Solar Array Project, 1971–1988

	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
Förderung (Mio. 2012 US-Dollar)	1,72	3,96	11,18	34,00	85,69	233,32	265,45	379,09	440,56	373,03	184,89	139,25	116,43	127,14	88,48	85,22	71,25	70,32
davon Anteil LSSA					2,79	46,11	113,63	110,84	106,65	90,81	78,24	41,91	32,13	34	34			
NPP Vertragspartner					41		106	156	173	176	139	131	135	141				94
Blockkäufe (1980 US-Dollar/ Wp)					29,4	19,18	14,56					4,24						
Blockkäufe (kWp)					54		127		259		26							
EVUs mit PV-Projekten					5	5	10	23	24	32	40	41	41					
PV-Projekte von EVUs					1	5	12	30	32	48	68	74	74					
US-Produktion (MWp)					0,37	0,80	1,22	1,65	2,07	2,50	4,46	5,05	5,63	6,27	7,80	7,25	8,85	11,55

Quellen: Zahlen zu Gesamtförderung, Vertragspartnern, der EVU-Kooperation und den Preisen in den Blockkäufen I-III zusammengestellt von Pegram (1989: 10, 11, 28, 65) nach Regierungsberichten; Anteil der Förderung für das LSSA nach Jet Propulsion Laboratory, 1986: *Flat-Plate Solar Array Project Final Report*, Vol. I: *Executive Summary*, Pasadena, CA, 12; Umfang der Blockkäufe nach Jet Propulsion Laboratory, 1986: *Flat-Plate Solar Array Project Final Report*, Vol. VI: *Engineering Sciences and Reliability*, Pasadena, CA, 37–38; Produktionsmengen nach Alan C. O'Connor/Ross J. Loomis/Fern M. Braun, 2010: *Retrospective Benefit-Cost Evaluation of DOE Investment in Photovoltaic Energy Systems*, Washington, DC: US Department of Energy, 3-2. CPI-Bereinigungen durch den Autor. Rundungsfehler enthalten.

Im Ganzen bauten ERDA und JPL um die Siliziumphotovoltaik einen anfangs beeindruckenden und sehr gut verwalteten technologiepolitischen Entwicklungskomplex auf. Das war keineswegs überraschend. Die jeweiligen Institutionen hatten zumeist seit den 1950er-Jahren Erfahrung damit, der Industrie Großforschungsergebnisse abzurufen, die im Kongress und in Fernsehansprachen von Präsidenten ausgegeben wurden. Fragt man nach den Gründen, warum eine derart große Anzahl etablierter Konzerne sich augenscheinlich willfährig die neue Verwaltungseuphorie um völlig unsichere Zukunftstechniken zu eigen machte, lohnt ein Blick auf die Erfahrungen öffentlicher Entwicklungsprogramme in der Halbleitertechnik. Wie Block (2011: 9) erinnert, fanden Verwaltung und Kongress über die 1960er-Jahre insbesondere mit der DARPA zunehmend Hebel, auf die technische Innovationsbereitschaft etablierter Konzerne Einfluss zu nehmen, indem es ihnen mehrmals öffentlichkeitswirksam gelang, hervorragendes technisches Personal mit der Aussicht auf staatliche Entwicklungsförderung aus Großkonzernen abzuwerben und zur Kleinfirmengründung zu bewegen:

Large firms had to worry that their best scientists and engineers might leave to pursue their research interests in another setting. This meant that when DARPA expressed interest in providing funding to a research group at established firms such as IBM or Xerox, management had strong reasons to endorse the project even if it did not fit with the firm's priorities.

Eben ein solcher Druck auf die Forschungsabteilungen aus früheren Technologieprogrammen und der Industrie entstand um die ERDA. »But for White House restraints«, erklärte ein früherer Pressebericht, »ERDA would be stealing all the best technical people from once glamorous areas like advanced weaponry and space.«⁹⁴ Es waren die frühen Erfolge bei der Mobilisierung und technischen Entwicklung des LSSA, die während der Zuspitzung der Energiekrise in den späten 1970er-Jahren einen zentralen Anstoß zu noch viel ehrgeizigeren Zielvorgaben zur Kommerzialisierung der Photovoltaik gaben. Bevor ich auf diese zweite Phase des amerikanischen Entwicklungsprogramms zu sprechen komme, stelle ich zuerst die deutsche Spielart der Photovoltaikförderung nach der ersten Ölkrise vor; in ihr sollte es bis in die 1990er-Jahre nie zu einer ernsthaften zweiten Phase kommen.

Photovoltaik in der frühen bundesdeutschen Energietechnologiepolitik

Auch in der Bundesrepublik wurde die neue Hochzeit energiepolitischer Technologieförderung formell schon vor der ersten Ölkrise eingeleitet. Auch wenn sie nicht eine vergleichbare Dynamik wie in den USA gewann, entstanden in

⁹⁴ Tom Alexander, 1976: ERDA's Job Is to Throw Money at the Energy Crisis. In: *Fortune*, 152–162, 153.

Deutschland bereits in den 1970er-Jahren für die Entwicklung der Photovoltaik wesentliche Strukturen. Im September 1973 erließ die Bundesregierung ihr erstes Energieprogramm. In mehreren Passagen deutete es schon darauf hin, dass sich die Risiken in der Rohstoffversorgung im Laufe der nächsten Jahre erhöhen könnten. Schließlich nahm man noch um die 4 Prozent mittleres jährliches Wirtschaftswachstum und, nicht zufällig dazu passend, eine etwa 4-prozentige jährliche Zunahme des Energieverbrauchs an, was zu einer Verdopplung des Energieverbrauchs bis in das Jahr 1985 führen sollte. Dass die Versorgungssituation noch einige Wochen später kritisch gefährdet sein würde, ahnte man nicht.⁹⁵ Neben Projektionen zur zukünftigen Energieversorgung beschrieb das Programm vier Arbeitsschwerpunkte: regional- und strukturpolitische Abfederungsmaßnahmen des erwarteten weiteren Niedergangs der Steinkohleförderung, gerechnet wurde noch mit einer Abnahme ihres Beitrags zur Primärenergieerzeugung von 23,6 auf 8 Prozent bis 1985; die Beschleunigung internationaler Abkommen zur Sicherung der Gas-, Uran- und Ölversorgung; den Ausbau und die Modernisierung des Raffinerie- und Kraftwerksparks und der Übertragungssysteme und – in der Energieforschung – die Förderung der »fortgeschrittenen Reaktorlinien«, des Schnellen Brütters, des Hochtemperaturreaktors sowie der Kernfusion, und die Erforschung synthetischer Kraftstoffe.⁹⁶ Zu den regenerativen Energietechnologien bemerkte das Programm beschwichtigend, die »Bundesregierung untersucht darüber hinaus die Nutzungsmöglichkeiten weiterer neuer umweltfreundlicher Energiequellen (unter anderem auch Sonnenenergie oder geothermische Energie), deren technische oder wirtschaftliche Reife heute jedoch noch nicht abzusehen ist.«⁹⁷ Die Skepsis hinsichtlich der unkonventionellen regenerativen Energien im Allgemeinen und der Sonnenenergie im Besonderen blieb bis in die zweite Hälfte der 1970er-Jahre, zumindest materiell, tonangebend in der sozialliberalen Energieforschungspolitik. Nach der Ölkrise änderte die erste Fortschreibung des Energieprogramms vor allem den Stellenwert der Steinkohle im zukünftigen Energiemix, erhöhte ihren geschätzten Beitrag zum Primärenergieverbrauch im Hinblick auf Industriezusagen, bis 1980 zehn neue Kraftwerksblöcke ans Netz zu bringen, auf 14 Prozent im Jahr 1985.⁹⁸

95 Dessen ungeachtet rühmte sich die sozialliberale Regierung in der Folge gerne, dass man das Energieprogramm *vor* der Energiekrise beschlossen habe. Siehe etwa Hans Friedrichs, 1974: Erklärung der Bundesregierung zur Lage der Energieversorgung. In: *Deutscher Bundestag. Stenographischer Bericht, 73. Sitzung, Donnerstag, den 17. Januar 1974*. Bonn, 4539–4544.

96 Deutsche Bundesregierung, 1973: *Die Energiepolitik der Bundesregierung. Unterrichtung durch die Bundesregierung*. 7/11057. Bonn.

97 Ebd.: 18.

98 Deutsche Bundesregierung, 1974: *Erste Fortschreibung des Energieprogramms der Bundesregierung*. 7/2713. Bonn, 6,13.

In der Energieforschung wurde das hauptsächlich durch das Vierte Atomprogramm bestimmte Budget um weitere Mittel für die Forschungsförderung in der Kohlewirtschaft ergänzt. Neben dem Interesse an effizienteren Fördertechnologien und Verstromungstechniken wurden spätestens seit 1975, wie auch in den USA, weitreichende Hoffnungen in die Kohleverflüssigung und -vergasung gesetzt, um einerseits weitere Substitutionsspielräume im Energiebereich zu schaffen und andererseits langfristig den Mineralölkonsum der Chemieindustrie für die Kohlewirtschaft zu erschließen.⁹⁹ Während seit der Übernahme des Forschungsministeriums durch Hans Matthöfer Mitte 1974 zunehmend interne Überlegungen zur Förderung regenerativer Energien in der Regierung kursierten (Mener 2001: 424), blieben die Initiativen bis in das Jahr 1976 mehrheitlich symbolisch (Kitschelt 1983: 311). Ein Referat für regenerative Energietechnologien wurde im Forschungsministerium erst 1976 eingerichtet (ebd.: 313). Auf eine Anfrage im Bundestag 1976, inwieweit geplant sei, neue nicht nukleare Energietechniken in der Breite zu fördern, antwortete das Forschungsministerium: »Im Vordergrund des Programms steht die einzige in der Bundesrepublik reichlich vorhandene Energiequelle, die Kohle.«¹⁰⁰ Der Photovoltaik traute man bis in das Jahr 2000 überhaupt keinen wirtschaftlichen Beitrag zur Energieversorgung zu. In Niedertemperaturkollektoren zur Heizungs- und Warmwasserunterstützung schien man noch das größte Potenzial zu sehen – insbesondere vor dem Hintergrund der mittelfristigen Möglichkeiten zur Ölsubstitution im Wärmebereich.¹⁰¹ Zusätzlich entwickelten sich hier seit Anfang der 1970er-Jahre zahlreiche universitäre und industrielle Aktivitäten, hauptsächlich bei Philips und einer Reihe von Unternehmen aus den deutschen Weltraumprogrammen (Mener 2001: 419–423). Die Herstellung von Solarwärmanlagen galt im Forschungsministerium zunehmend als potenzielles Entwicklungshilfelinstrument und als mögliche Exporttechnik in sonnenreiche Länder (Kitschelt 1983: 318–319). Im Ganzen verliefen die Aushandlungen zur Förderung regenerativer Energien nach der ersten Ölkrise hinsichtlich der Budgets und hinsichtlich öffentlicher Debatten wesentlich zurückhaltender und unaufgeregter als in den USA seit 1974. Kitschelt (1983: 310–311) meint, der deutschen Gesellschaft habe wohl einfach das »kleinbürgerlich-libertäre Element eines alternativen Solarkapitalis-

99 Siehe Deutscher Bundestag, 1975: *Bericht und Antrag des Ausschusses für Wirtschaft zum Energieprogramm der Bundesregierung*. 7/13539. Bonn, 5; Deutsche Bundesregierung, 1975: *Bundesbericht Forschung V*. 7/13574. Bonn, 27.

100 Deutsche Bundesregierung, 1976: *Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage betr. neue Primärenergiequellen*. 7/15313. Bonn, 1.

101 Ebd.: 3–4; mit derselben Argumentation noch: Deutsche Bundesregierung, 1984: *Bericht der Bundesregierung über die Nutzung der Solartechnik für die Niedertemperatur-Wärmeversorgung in der Bundesrepublik Deutschland*. 10/1090. Bonn, 4.

mus« gefehlt, das in den USA in der Debatte um die Energieforschung immer einflussreicher wurde, und verweist auf die relativ weitreichende Abgeschlossenheit der deutschen Forschungsverwaltung vom parlamentarischen Betrieb und auf die im Vergleich zu den USA geringere Ausstattung und Autonomie der staatlichen Forschungsförderung in ihrer Beziehung zur Industrie. Ein weiterer struktureller Grund ist, dass das Autarkiemotiv in der deutschen Energiepolitik nie in dem Ausmaß Fuß gefasst hat wie in den USA (Graf 2014: 205–208). Bis 1976 wurden durch die Bundesregierung etwa 27 Millionen Mark in die Forschungsförderung für Wärmekollektoren investiert, bis 1983 sind insgesamt um die 177 Millionen Mark Bundesmittel in die Förderung der Technik investiert worden.¹⁰² Ein Großteil dieser Gelder wurde für Demonstrations- und Versuchsanlagen aufgewandt. Zwischen 1976 und 1984 wurden 24 Versuchsanlagen an Konzepthäusern, Fertighäusern, Schwimmbädern und Sporthallen und knapp über 100 Anlagen auf öffentlichen Gebäuden gefördert.¹⁰³

Es waren, wie größtenteils auch in den USA, die Landes- und Bundesprogramme zur Kollektorförderung, die in den 1970er-Jahren eine Grundlage für die Konsolidierung von Bürgerinitiativen und zivilgesellschaftlichen Organisationen um die Sonnenenergie schufen, häufig im Verbund mit dem Antiatomprotest und der Umweltschutzbewegung. Die 1975 in Bayern gegründete Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, die bis in die Gegenwart Informationskampagnen, Konferenzen, Plattformen zum Wissensaustausch und Ausbildungs- und Standardisierungsprogramme organisiert, war in den ersten Jahren ihres Bestehens, betrachtet man die Arbeitskreise und Tagungen, trotz eines umfassenden Selbstverständnisses vor allem ein Verein zur Förderung der Nutzung und Installation von Solarwärmeanlagen.¹⁰⁴ Die DGS hatte bis Mitte 1976 schon 1.200 Mitglieder, die sie außer aus engagierten Segmenten der Wissenschaft und kleinerer Firmen nicht selten aus dem Antiatomprotest und der Umweltbewegung rekrutierte. Noch 1981 ging es im ersten Abstimmungspunkt unter einem gerade neu berufenen Präsidenten der Gesellschaft um die Entscheidung, ob man denn »eine Vereinigung für die Sonnenenergie oder gegen die Kernkraft

102 Siehe Deutsche Bundesregierung, 1984: *Bericht der Bundesregierung über die Nutzung der Solartechnik für die Niedertemperatur-Wärmeversorgung in der Bundesrepublik Deutschland*. 10/1090. Bonn, 5. Mener (2001: 425, Fn. 21) meint, dass die Schätzung von 27 Millionen Mark bis 1976 wohl noch etwas zu gering sei.

103 Eine Übersicht der Projekte gibt: Deutsche Bundesregierung, 1984: *Bericht der Bundesregierung über die Nutzung der Solartechnik für die Niedertemperatur-Wärmeversorgung in der Bundesrepublik Deutschland*. 10/1090. Bonn, 36–43.

104 Siehe Sigrid Jannsen, 2005: 30 Jahre Gesellschaft für Sonnenenergie. In: Sigrid Jannsen (Hg.), *30 Jahre DGS. Auf dem Weg in die solare Zukunft*. München: DGS, 7–17, 8–11. Vgl. auch die Argumente in Pitter Gräff, 1976: Was ist zu tun? In: *Sonnenenergie* 1(1), 3; Pitter Gräff, 1976: Wirtschaftlichkeitsfragen. In: *Sonnenenergie* 1(2), 9–12.

sei«. ¹⁰⁵ Trotz der anfänglichen praktischen Konzentration auf schon kommerziell verfügbare und staatlich geförderte Sonnenwärmeanlagen verbreitete die DGS schon früh Wissen über die ambitionierten ERDA-Programme für die Photovoltaik in den USA und lud den Leiter der Photovoltaikabteilung der AEG zu Vorträgen über Fortschritte in der Massenproduktion ein. ¹⁰⁶ Zusätzlich tauchten in ihren Publikationen immer wieder vage Systempläne auf, die an die Pläne aus dem Umfeld von NASA und NSF erinnern, Pläne für Energieversorgungssysteme, die auf einer Kombination aller bekannten regenerativen Energietechniken zur Wärme- und Stromversorgung – »aber«, so ein Autor für das Vereinsblatt, »nicht der Geothermie« – beruhen sollten. ¹⁰⁷ Über die aus Bürgerinitiativen hervorgegangenen Verbindungen hinaus gründeten sich schon Mitte der 1970er-Jahre institutionelle Plattformen für den Austausch in den verschiedenen Förderkomplexen und Verbände für an der Erforschung regenerativer Energien interessierte technologieorientierte Unternehmen. In den Jahren 1975 und 1977 veranstaltete das Forschungsministerium Statusseminare mit Vertretern von Industrie und Wissenschaft, die noch heute abgehalten werden. Ebenfalls seit 1975 versammelten sich mehrere Großunternehmen als Arbeitsgemeinschaft Solarenergie, die in der Folge – wie nicht selten in der politischen Ökonomie der Bundesrepublik – auf Druck des Forschungsministeriums zu einem ordentlichen Verband geformt wurde, des vor allem große Komponentenhersteller koordinierenden Bundesverbands Solarenergie (Mener 2001: 434). Ferner begann das Forschungsministerium, Stellen für die Projektträgerschaft staatlich geförderter Forschung im Bereich regenerativer Energien aufzubauen, eine *street-level bureaucracy* (Piore 2011; Sabel 2012) für die anlaufenden technologiepolitischen Aktivitäten – im Bereich der Solarenergie später insbesondere die KFA Jülich.

Die Entwicklung des deutschen Fördersystems für die Photovoltaik wurde in den 1970er-Jahren zum Teil abseits von öffentlichen Debatten und zivilgesellschaftlichen Bewegungen bestimmt – in der Ministerialbürokratie und der beteiligten Industrie. Zwischen der Wacker Chemie, auch in den 1970er-Jahren einer der größten Hersteller von kristallinen Siliziumprodukten für die Halbleitertechnik, und AEG/Telefunken, dem wesentlichen Zentrum mit Kompetenzen in der Photovoltaik in den Raumfahrtprogrammen, gab es seit 1972 Gespräche, zur Einrichtung eines gemeinsamen Forschungsprojekts zur Entwicklung von kostengünstigeren Siliziumfabrikaten für die terrestrische Photovoltaik (Mener

105 Horst Selzer, Albert Haas und Thomas Lanz, 2005: Aufbruch in eine dauerhafte Energieversorgung. In: Sigrid Jannsen (Hg.), *30 Jahre DGS. Auf dem Weg in die solare Zukunft*. München: DGS, 19–39, hier: 19.

106 Siehe etwa Klaus Vanoli, 1976: Sonnen-Elektrizität. In: *Sonnenenergie* 1(4), 12–14.

107 Siehe Ulf Bossel, 1976: Perspektiven der Solartechnik. In: *Sonnenenergie* 1(3), 5–9.

2001: 419–420). Wie etwas später in den USA im Umfeld von Solarex stießen die Forscher bei Wacker bei ihrer Arbeit mit Silizium für Anwendungen in der Infrarot-Optik auf Möglichkeiten, weniger reine und weniger regelmäßig kristalline Siliziumblöcke kostengünstiger zu »gießen« als in den für die Halbleiterei angewandten Kristallherstellungsverfahren.¹⁰⁸ Auch in Deutschland fuhr man in den Entwicklungsvorhaben mehrgleisig. Einerseits setzte das Forschungsministerium im Ausloten staatlich geförderter Projekte Hoffnungen in Verfahren, mit denen sich Siliziumscheiben unmittelbar aus Schmelze ziehen, walzen oder pressen ließen.¹⁰⁹ Andererseits arbeitete man an der realistischeren, wenn auch weniger »innovativen« Entwicklung von Gussverfahren für Siliziumblöcke (genannt *casting*), die dann mit neu entwickelten Mehrblattsägen zu Scheiben verarbeitet wurden (ebd.: 429–431).¹¹⁰ Vornehmlich die letztere Variante wurde in dem seit 1974 vorbereiteten und 1977 formell begonnenen, vom Forschungsministerium geförderten Gemeinschaftsprojekt verfolgt. Bei Wacker arbeitete man an einer Pilotfertigung und der Stabilisierung des Prozesses und lieferte seit 1976 multi-kristalline Vorprodukte an die Photovoltaikindustrie.¹¹¹ Bei AEG/Telefunken wurden alle Fertigungsschritte von der Siliziumscheibe bis zum Modul mit den Proben von Wacker und in Richtung Kostensenkung für den terrestrischen Absatz weiterentwickelt.¹¹² In Teilen diskutierte der deutsche Entwicklungskomplex ebenso überschwängliche Kostensenkungshoffnungen wie der amerikanische. Unter der Bedingung, dass sich Bänderziehverfahren für Siliziumscheiben entwickeln lassen würden, ging man von 1,30 DM per Wattpeak Modulkosten bei einer jährlichen Produktion von 500 Megawatt bis in das Jahr 1985 aus.¹¹³

108 Siehe zur Forschung bei AEG/Telefunken und Wacker: Horst Fischer und Willi Pschunder, 1977: *Low-Cost Solar Cells Based on Large-Area Unconventional Silicon*. In: *IEEE Transactions on Electronic Devices* 24(4), 438–442; Dieter Helmreich, 1987: *The Wacker Ingot Casting Process*. In: Chandra P. Khattak und Kramadhathi V. Ravi (Hg.), *Silicon Processing for Photovoltaics II*. Amsterdam: Elsevier, 97–151.

109 Siehe den späteren Überblick zu sägefremigen Herstellungsverfahren von Siliziumscheiben bei Wacker: Andreas Beck, Joachim Geißler und Dieter Helmreich, 1987: *Siliziumbandziehverfahren für die Photovoltaik*. In: *Zentrale und dezentrale Energieversorgung. VDE/VDI/GFPE-Tagung in Schliersee am 7./8. Mai*. Berlin: Springer, 65–76. Vgl. den kurzen Überblick zu frühen Erwägungen bei Mener (2001: 419–420).

110 Siehe überblicksweise Erhard Sirtl, 1980: *The Wacker Approach to Low-Cost Silicon Material Technology*. In: Wolfgang Palz (Hg.), *Photovoltaic Solar Energy Conference, Proceedings, Cannes, France, 27–31 October 1980*. Dordrecht: Reidel Publishing, 236–243.

111 Martin A. Green, 2005: *Silicon Photovoltaic Modules: A Brief History of the First 50 Years*. In: *Progress in Photovoltaics. Research and Applications* 13, 447–455, hier: 450.

112 Eine Übersicht des Projekts bei AEG/Telefunken gibt Rolf Buhns, 1987: *Entwicklungsstand und Aussichten der Solarzellentechnik mit polykristallinen Zellen*. In: *Zentrale und dezentrale Energieversorgung. VDE/VDI/GFPE-Tagung in Schliersee am 7./8. Mai*. Berlin: Springer, 38–50.

113 Bundesministerium für Forschung und Technologie (Hg.), 1976: *Energiequellen für morgen? Teil II, Nutzung der solaren Strahlungsenergie*. Frankfurt a.M.: Umschau Verlag, 288–289.

Eine größere *Demand-pull*-Komponente vergleichbar den amerikanischen Blockkäufen und späteren Regierungsanschaffungen entstand im deutschen Förderregime nicht. Die industrielle Forschungsförderung verlief jedoch anfangs wesentlich konzentrierter und fokussierter.

Die Projektionen der deutschen Regierung zum Anteil der regenerativen Energien an der Energieerzeugung der Zukunft blieben auch in der zweiten und dritten Fortschreibung des Energieprogramms äußerst zurückhaltend. Die beauftragten Institute schätzten den Anteil der Kategorie *Sonstige* am Primärenergieverbrauch inklusive der Wasserkraft im Jahr 1977 auf 6,5 Prozent für das Jahr 2000, im Jahr 1981 gaben sie je nach Szenario einen Anteil von 1,4 bis 1,9 Prozent am Stromverbrauch und 1,1 Prozent am Primärenergieverbrauch für das Jahr 1995 ohne die Wasserkraft aus.¹¹⁴ Die etwas breitere staatliche Förderung regenerativer Energien, die man unter der sozialliberalen Regierung seit 1975 plante und 1977 einführte, hatte nur zu geringen Teilen mittelfristige energiepolitische Zwecke. Es war vielmehr eine Kombination aus den Initiativen der Industrie, den international viel beachteten amerikanischen Förderprogrammen um die ERDA, dem auf Rohstoffkrisen, Umweltproblematik und Strukturbrüche zurückgehenden generellen Aufschwung modernisierender Sektor- und Technologiepolitik und dem zunehmenden innenpolitischen Druck von Antiatomkraft- sowie Umweltbewegungen und von Teilen der konservativen Opposition, die den Forschungsprogrammen wesentlich zugrunde lag (Kitschelt 1983: 310–319).¹¹⁵ Das aufgestockte Programm Energieforschung und Energietechnologien von 1977 folgte zumindest dem Geist nach dem amerikanischen Beispiel, verstreute Energieforschungsaktivitäten in umfassenden, auf die Energiepolitik zugeschnittenen Technologieförderprogrammen zusammenzufassen. Im Bereich der regenerativen Energien formulierte das Forschungsministerium erstmals ein zusammenhängendes Unterprogramm für Technologien zur Nutzung der Sonnenenergie. Das Forschungsbudget des Programms sah bis in das Jahr 1980 119 Millionen Mark für die technische Nutzung der Sonnenenergie, 18 Millionen für die Windkraft, 29 Millionen für Biomasse und 30 Millionen für Demonstrationsprojekte und Beschaffungsprojekte für öffentliche Gebäude vor.¹¹⁶ Die Photovoltaik hatte in den Forschungsprogrammen

114 Siehe Deutsche Bundesregierung, 1977: *Zweite Fortschreibung des Energieprogramms der Bundesregierung*. 8/1357. Bonn, 14; Deutsche Bundesregierung, 1981: *Dritte Fortschreibung des Energieprogramms der Bundesregierung*. 9/1983. Bonn, 34–35.

115 Eine gute Einsicht in die deutschen technologiepolitischen Debatten der 1970er-Jahre erlaubt der zeitgenössische Band von Hauff und Scharpf (1975). Siehe auch die darin enthaltenen Abschnitte zu neuen Energietechniken, ebd.: 80–86. Vgl. auch die Forschung Nick Zieglers (1997) zur Innovationspolitik in Deutschland und Frankreich.

116 Bundesministerium für Forschung und Technologie, 1977: *Programm Technologien zur Nutzung der Sonnenenergie, 1977–1980*. Bonn, 85.

der 1970er-Jahre eine gewisse Sonderstellung. Vor 1976 flossen ihr Fördermittel aus den Weltraumprogrammen zu. 1977 wurden dem Projekt von Wacker und AEG/Telefunken 20 Millionen Mark aus dem Budget für die Förderung der Elektronik des Programms Zukunftsinvestitionen zugewiesen. Auch der Sechste Forschungsbericht der Bundesregierung 1978 führte die Arbeiten an Fertigungsverfahren für die polykristalline Siliziumphotovoltaik noch in einem technologiepolitischen Unterprogramm für Halbleitertechnologien zu »Verfahren der Größenintegration«. ¹¹⁷ Die anfängliche Begutachtung des Projekts von Wacker und AEG/Telefunken fand dazu passend durch den Leiter des Referats für Nachrichtentechnik im BMFT statt, anstelle durch Vertreter des Referats für nicht nukleare Energieforschung (Mener 2001: 431). Wie in Japan und den USA war die Beschäftigung mit der Photovoltaik in Politik wie Industrie durch strategische oder technische Verbunderwägungen zu anderen mit Halbleitern operierenden industriellen Feldern geprägt. Insgesamt wurden für die Förderung des AEG/Wacker-Projekts bis 1985 140 Millionen Mark bewilligt, auch wenn man von den anfänglich noch ausufernden Hoffnungen auf Kostensenkungen über die Jahre abrückte und nun als Ziel ausgab, bis 1985 Module für 5 DM pro Wattpeak produzieren zu können (Kitschelt 1983: 324). Zumindest von den amerikanischen Programmmanagern angeforderte Konkurrenzanalysen bescheinigten dem Projekt durchaus gute Fortschritte. 1979 schätzte eine Unternehmensberatung den Vorsprung des deutschen Projekts vor der amerikanischen Industrie immerhin auf ein Jahr Entwicklungsarbeit. ¹¹⁸

Gegen Ende der 1970er-Jahre begannen auch in Deutschland weitere Unternehmen, in den Förderprogrammen für terrestrische Photovoltaik ihre Aktivitäten aus der Weltraumforschung wiederzubeleben. Nukem, ein Unternehmen im nuklearen Brennstoffgeschäft mit Beteiligung des RWE, versuchte seit 1980, mit Stuttgarter Forschern verschiedene Dünnschichttechniken auf Cadmium-Basis in die Produktion zu überführen, und stieg später in die Fertigung von Modulen aus Siliziumzellen ein (Mener 2001: 468–469). Seit 1979 wurde bei Bölkows Nachfolgeunternehmen MBB, bei Siemens und der AEG erneut angewandte Forschung an Dünnschichttechniken, vor allem in der amorphen Siliziumphotovoltaik durchgeführt, teilweise auf Initiative des Forschungsministeriums hin (ebd.: 469–470). Module auf amorpher Siliziumbasis waren bei der RCA und einigen anderen amerikanischen Unternehmen in den amerikanischen Förderprogrammen entwickelt worden. Einerseits versprachen sie niedrigere Herstel-

117 Deutsche Bundesregierung, 1979: *Bundesbericht Forschung VI*. 8/3024. Bonn, 118.

118 Science Applications, 1979: *Characterization and Assessment of Potential European and Japanese Competition in Photovoltaics*. SERI/TR-8251-1. Golden, CO: Solar Energy Research Institute, 3–43.

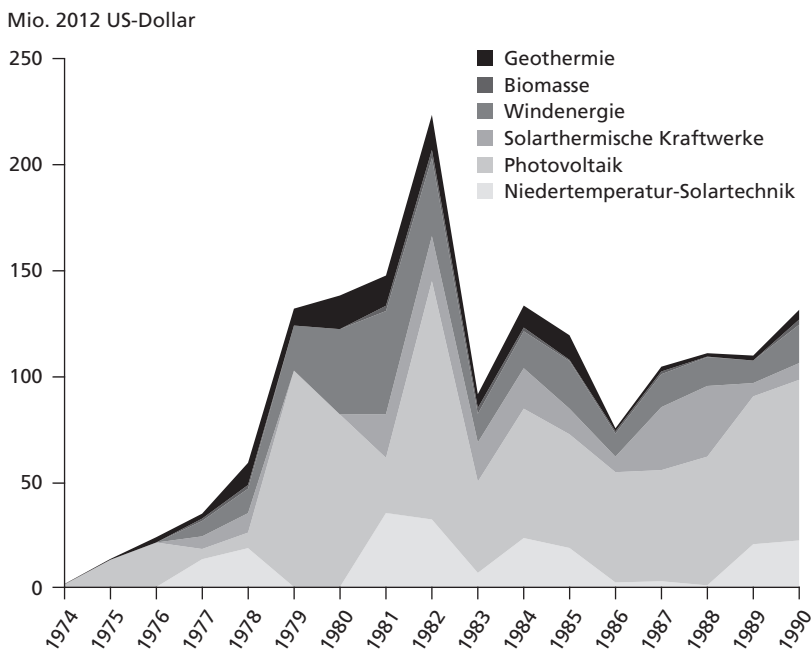
lungskosten. Mit amorphem Silizium ließen sich wesentlich dünnere Module herstellen als mit kristallinen Materialien. Außerdem entfielen mit ihm die seit Erfindung der Siliziumzelle problematischen Prozessschritte von Blockherstellung und dem Zersägen in Scheiben, die die Automatisierung der Fertigung behinderten und äußerst energie- und kostenintensiv waren. Andererseits hatten Module auf amorpher Basis dasselbe Problem wie die meisten günstigen Dünnschichttechniken: Sie hatten einen wesentlich geringeren Wirkungsgrad als kristalline Fabrikate und ihre Leistung fiel relativ schnell ab. Wie Mener (2001: 470) auf Basis interner Korrespondenzen zeigt, galt die amorphe Siliziumphotovoltaik sowohl im Forschungsministerium als auch in den beteiligten Firmen durchaus als gleichberechtigter Konkurrent zu kristallinen Techniken. Ein weltweiter Anstoß für die Beschäftigung mit der amorphen Siliziumphotovoltaik war, dass japanische Firmen, die die Technik anfangs aus den USA lizenziert hatten, seit der zweiten Hälfte der 1970er-Jahre zunehmend in ihre Fertigung investierten, da sie sich aus verschiedenen technischen Gründen sehr gut zum Betrieb von kleinen elektronischen Geräten wie Armbanduhren und Taschenrechnern eignete (Jones/Bouamane 2012: 25–28, 41–43). Im Gesamtbudget der regenerativen Energieforschung nahm die Photovoltaik über die Jahre einen immer wichtigeren Anteil ein (siehe Abbildung 4-10), der mit wenigen Einbrüchen bis in die 1990er-Jahre verhältnismäßig hoch blieb. Ein Großteil der Mittel für die Industrie ging an AEG/Telefunken. In einer späteren Auskunft schätzte das Forschungsministerium, dass seit Beginn der Energieforschungsprogramme für die Photovoltaik 381,3 Millionen DM an die AEG und ihre Nachfolgeorganisationen, 120,4 Millionen an Siemens und 97 Millionen an Wacker gegangen seien.¹¹⁹

Neben der direkten Förderung wurden seit Ende der 1970er-Jahre Überlegungen angestellt, ein Forschungsinstitut um die neue Industrie zu schaffen. In Bayern gab es noch bis 1979 Bemühungen, ein Max-Planck-Institut für Solarforschung zu errichten, die von gleichzeitig verhandelten Plänen der Fraunhofer-Gesellschaft für ein Institut in Baden-Württemberg durchkreuzt wurden (Trischler/vom Bruch 1999: 357). In der Fraunhofer-Gesellschaft hatte Adolf Goetzberger, Direktor am Fraunhofer-Institut für angewandte Festkörperphysik in Stuttgart, seit Anfang der 1970er-Jahre mit einer Forschungsgruppe im Bereich der Sonnenenergie gearbeitet – nach eigenen Angaben unmittelbar in Reaktion auf die Ölkrise und die Studie des Club of Rome Anfang der 1970er-Jahre.¹²⁰ Gegen einigen Widerstand und mit einigen glücklichen verwaltungs-

119 Deutsche Bundesregierung, 1996: *Antwort der Bundesregierung auf die Große Anfrage, Unterstützung der Photovoltaik durch die Bundesregierung*. 13/6393. Bonn, 4.

120 Hans-Jochen Luhmann, 2011: *Von klugen Köpfen und Katastrophen: die Entwicklung der Photovoltaik in Deutschland*. Interview mit Gerd Eisenbeiß und Adolf Goetzberger. In: *GAIA* 20(4), 236–242, hier: 236.

Abbildung 4-10 Jährliche Energieforschungs- und Entwicklungsausgaben für nicht nukleare neue Energietechnologien in Deutschland, 1974–1990



Vor 1976 gehen die Mittel für die Photovoltaik vermutlich auf die Weltraumprogramme zurück. In einer Antwort auf eine Kleine Anfrage im Bundestag 1976 weist das Forschungsministerium keine bewilligten Mittel für die Photovoltaik in der Energieforschung aus, erwähnt aber 7 Millionen Mark Förderung in der Weltraumforschung; siehe Deutsche Bundesregierung, 1976: *Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage betr. neue Primärenergiequellen. 7/5313*. Bonn: Deutscher Bundestag, 9. Eine genauere Diskussion der Ausgaben findet sich bei Mener (2001: 425, Fn. 21).

Quelle: Internationale Energieagentur.

technischen Fügungen gelang es 1981, ein eigenständiges Institut für die markt-nahe Erforschung der Nutzung der Sonnenenergie um Goetzberger herum aufzubauen, das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (Fraunhofer-ISE) in Freiburg (Mener 1999: 114–117).¹²¹ Die Fraunhofer-Gesellschaft durchlebte in den 1970er-Jahren zusammen mit den Großforschungszentren und der deutschen Industriepolitik im Ganzen einen Wandel. Sie sollte vor allem das ameri-

121 Schilderungen der Geschichte der Institutsgründung findet man in: Adolf Goetzberger, 2011: The Role of Research Institutes for the Promotion of PV: The Case of Fraunhofer ISE (Institute of Solar Energy Systems). In: Wolfgang Palz (Hg.), *Power for the World. The Emergence of Electricity from the Sun*. Singapur: Pan Stanford, 323–328.

kanische Modell der marktnahen *contract research* in der deutschen politischen Ökonomie institutionalisieren (Trischler 2001: 54–55). Jene Wirren in der industriepolitischen Neuorientierung waren mit ein Grund dafür, dass nach einem Betätigungsfeld in der unkonventionellen Energieforschung gesucht wurde. Die Arbeiten des Instituts in der Photovoltaik erstreckten sich in den 1980er-Jahren von der Grundlagenforschung an neuen Materialien über Vertragsprojekte im Siliziumbereich für Wacker, Siemens und die AEG bis hin zu – und dieser Bereich war insofern zentral, als ihn die Förderung durch das Forschungsministerium lange Zeit ausgeblendet hatte – Fragen der System- und Netzintegration (Mener 1999: 119–121; Trischler/vom Bruch 1999: 357–360).

Trotz des wachsenden Interesses an alternativen Zelltechniken über die 1980er-Jahre verliefen die deutschen Photovoltaikprogramme im Vergleich zur späteren Entwicklung der amerikanischen Förderung wesentlich enger, was geförderte Unternehmen und technische Pfade anging, und wesentlich zurückhaltender hinsichtlich der Zielformulierungen (zur ersten Eigenheit noch sehr kritisch: Kitschelt 1983: 325). Das Projekt zwischen der AEG und Wacker wurde bis in die späten 1980er-Jahre verfolgt, war im Verlauf durchaus erfolgreich, endete aber in Ernüchterung, als beide Firmen auf Versuche, von der Konzeptstudie in die tatsächliche Massenproduktion überzugehen, keine Unterstützung erhielten. Sowohl AEG/Telefunken als auch Wacker waren nach einigen Jahren mit Absatz an internationale Entwicklungsorganisationen seit Anfang der 1980er-Jahre wiederholt daran gescheitert, ausreichend Nachfrage zu generieren (dazu und zum Folgenden: Mener 2001: 471–480). Der internationale Markt war zunehmend stärker umkämpft, als in erster Linie die früheren amerikanischen Kleinfertiger aggressiver versuchten, ihre Kapazitäten am Weltmarkt auszulasten. Im Inlandsmarkt scheiterten beide Firmen an der Zurückhaltung von Energieversorgungsunternehmen, der Politik und später auch der Forschungsverwaltung, Abnahmezusagen oder Zuschüsse zum Aufbau einer Massenfertigung zu geben. Wacker zog sich in Reaktion auf die gescheiterten Pläne und angesichts einer schweren Depression in der Halbleiterei (1989–1992) aus dem Projekt zurück und übergab die Arbeiten an dem Projekt an das Fraunhofer ISE (Trischler/vom Bruch 1999: 360). 1989 gingen die Aktivitäten von AEG/Telefunken nach dem endgültigen Niedergang des AEG-Konzerns und der Übernahme durch Daimler in der DASA auf.¹²²

122 Richard Epple, Willi Pschunder und Josef Wolf, 2003: Die Telefunken-Solarzelle. In: Erdmann Thiele (Hg.), *Telefunken nach 100 Jahren. Das Erbe einer deutschen Weltmarke*. Berlin: Nicolai, 162–170, 169.

Wenn auch in der Forschungsförderung durchweg anders kommuniziert, gab es, betrachtet man die energiepolitischen Stellungnahmen sowohl der zweiten sozialliberalen und der konservativen Regierungen seit 1982, für den hohen Förderanteil der Photovoltaik in der deutschen Forschung zu regenerativen Energien auch in den 1980er-Jahren keine unmittelbaren energiepolitischen Gründe. Vielmehr verstärkte sich die anfängliche Rhetorik, dass es mit der Förderung der Photovoltaik um die »Schaffung neuer exportfähiger Technologien« gehe.¹²³ In einer Antwort auf eine Große Anfrage im Bundestag 1984 stellte das Forschungsministerium klar, momentan sinnvolle Anwendungen seien »Campingbedarf, Yachten, Spielzeug, Notbeleuchtungen, Bojen, Versorgung eines Fernsehsenders sowie Demonstrationsanlagen in der Wasser- und Dorfstromversorgung sowie für Ferienhäuser«; Zukunftsmärkte in der Energieversorgung Deutschlands seien »autarke Stromversorgungsanlagen in kleinen und kleinsten Leistungsbereichen. Dazu gehören u. a. Messstationen für den Land- und See-Einsatz, nachrichtentechnische Anlagen, verkehrstechnische Signalanlagen.«¹²⁴ Noch im Jahr 1987 sah der Festkörperphysiker Hans Queisser Anwendungsmöglichkeiten für die Photovoltaik in »sonnenreichen äquatorialen Gegenden oder weit weg von Kraftwerken – auf Bergen, Bojen, in Oasen zum Beispiel.«¹²⁵ Obwohl die Photovoltaik technologiepolitisch gefördert wurde und – vor allem in den Jahren unmittelbar nach der Reaktorkatastrophe in Tschernobyl – auch in der zweiten Hälfte der 1980er-Jahre noch phasenweise energiepolitisches Interesse an ihr bestand, kam es vor der zweiten Hälfte der 1990er-Jahre nie so weit, dass sie ernsthaft *und entsprechend zielgerichtet* als Teil der Energieversorgung der nächsten dreißig Jahre in Deutschland erwogen wurde. Wie unten am Fall der Förderprogramme der USA dargestellt, verlor der Umbau der Energieversorgung in den 1980er-Jahren trotz des anhaltenden Widerstands gegen die Kernkraft aufgrund fallender Rohstoffpreise etwas von seinem Problemcharakter, mit entsprechenden Folgen für die Geschlossenheit der Koalitionen, die die regenerativen Energien in die Energieversorgungssysteme entwickelter Gesellschaften hieven wollten.

Am nächsten war die Bundesrepublik einem Ansatz zu einer ökologischen Restrukturierung der Energieversorgung noch 1981 und 1982 gekommen. Die Pläne Hans Matthöfers, eine weitere Steuer auf den Mineralölverbrauch einzu-

123 Hans Matthöfer, 1977: Eine Herausforderung an die Forschungspolitik. In: *Sozialdemokratischer Pressedienst* 32(246), 1–2, hier: 2.

124 Deutsche Bundesregierung, 1984: *Antwort der Bundesregierung auf die Große Anfrage, Umweltfreundliche Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland, hier: Maßnahmen zur Energiegewinnung aus Sonne und Umwelt*. 10/1767. Bonn, 16.

125 Hans Queisser, [1985]1987: *Kristalline Krisen. Mikroelektronik – Wege der Forschung, Kampf um Märkte*. München: Piper, 291.

führen, um die SPD vor den aufstrebenden Grünen zu schützen, fiskalpolitische Spielräume wiederzugewinnen, den Strukturwandel der deutschen Wirtschaft zu beschleunigen, ausreichend schlagkräftige Beschäftigungsprogramme anzustoßen und – letztlich – einen »Schritt zur Versöhnung von Ökologie und Ökonomie« zu gehen, waren in der angespannten wirtschaftlichen und politischen Lage Anfang der 1980er-Jahre und teilweise in Erwartung bald wieder sinkender Ölpreise nie Realität geworden (Abelshauser 2009: 516–527). Wie etliche Initiativen von Regierungen seit den 1970er-Jahren zeigen, war einerseits die Verlockung, den Energieverbrauch über die Ignoranz gegenüber externen Effekten zu subventionieren (hier: der Importabhängigkeit und der Verschleppung industrieller Restrukturierung), wiederholt zu groß. Andererseits, und auch das zieht sich wie ein roter Faden durch die Geschichte industriegesellschaftlicher Energiepolitik, fehlte es immer dann, wenn Krisen oder Katastrophen ausreichend Problemdruck erzeugten, an den gesamtwirtschaftlichen Spielräumen für langfristige Maßnahmen; existierten diese Spielräume hingegen, fehlte es an Problemdruck und politisch-ökonomischem Mobilisierungspotenzial. Ein früher ernsthafter Anlauf, die regenerativen Energien in die Energieversorgung entwickelter Gesellschaften zu integrieren, fand in Deutschland bis zur Jahrhundertwende nicht statt – stattdessen aber in den USA.

4.4 Hoffnung auf die Versöhnung von Ökologie und Ökonomie

Bemerkenswert an den amerikanischen Solarförderprogrammen der zweiten Hälfte der 1970er-Jahre sind zwei Aspekte: einerseits die Breite, in der eine noch drei Jahre zuvor als exotisch geltende Technologie plötzlich als ernst zunehmende kommerzielle Alternative für die Energieversorgung entwickelter Gesellschaften in den späten 1980er- und 1990er-Jahren gelten konnte, und andererseits – dies führt zurück in die dreifache Krise aus Umweltverschmutzung, Institutionenkritik und Energieknappheit der 1970er-Jahre – die Menge an gesellschaftlichen Ideen und Interessen, die die Solarförderung vereinte. Ab 1976 erschienen in den USA unzählige Berichte und Stellungnahmen, die die mögliche Bedeutung der Sonnenenergie im Energieversorgungssystem der USA einzuschätzen versuchten. Ein wichtiges Dokument dieser Debatten, ein Bericht des Office of Technology Assessment aus dem Jahr 1977 namens *Application of Solar Technology to Today's Energy Problems*, systematisierte als eine der ersten offiziellen Quellen die vorher verstreut in sozialen Bewegungen, Kongressausschüssen, Wissenschaft und Wirtschaft existierenden Vorstellungen,

inwieweit kostengünstige Solartechniken Antworten auf einen Großteil der gesellschaftlichen Probleme der 1970er-Jahre versprochen. Im Unterschied zu vielen vorherigen Querschnittsberichten zu den Potenzialen regenerativer Energietechniken beschränkte er sich auf *onsite equipment*, auf technische Lösungen, die Energie dort erzeugen, wo sie verwendet wird – und damit vornehmlich auf verschiedene Formen von Anlagen zur direkten Nutzung der Sonnenenergie. Unter den etlichen Vorteilen eines auf regenerativen Quellen basierenden Energiesystems nannte der Bericht ihren möglichen Beitrag zur Linderung der wachsenden Arbeitslosigkeit: »Jobs would be created because imported oil would be replaced with energy from domestically produced solar equipment and because solar energy is more labor intensive than energy from conventional sources.«¹²⁶ Solartechnologien würden im Betrieb keine Umweltverschmutzung erzeugen, ihr einziges »environmental problem« sei der Verbrauch von Land, der allerdings bei auf Hausdächern angebrachten oder in Gebäuden integrierten Anlagen minimiert würde.¹²⁷ Die Weiterentwicklung der Solartechnik würde die amerikanische Handelsbilanz beidseitig entlasten, die USA politisch unabhängig von ausländischen Interessen machen, die weltweite Ressourcenausbeutung und damit internationale Konflikte lindern, die Proliferation von Kernwaffen erschweren und Direktinvestitionen in die amerikanische Wirtschaft erhöhen.¹²⁸ Weil die Herstellung und Installation von *Onsite*-Anlagen verhältnismäßig geringer Vorabinvestitionen bedürfe, könne bei entsprechender Gestaltung der Förderprogramme ein neues Betätigungsfeld für kleine und mittelgroße Unternehmen geschaffen werden.¹²⁹ Weil Entwicklungsländer von Verwerfungen in internationalen Ressourcenmärkten zumeist am härtesten getroffen würden, gleichzeitig aber auch wenig ausgebaute Energieversorgungssysteme und eine hohe mittlere Sonneneinstrahlung haben, wäre die Entwicklung amerikanischer Solartechnik ein optimales Entwicklungshilfeprogramm.¹³⁰ Zuletzt, und hier zeigt sich der Einfluss der Vermachtungsdebatten und von Amory Lovins' *soft energy path*, könne die Solartechnik als politisch-ökonomisches Demokratisierungsprogramm wirken:

If energy can be produced from onsite solar energy systems at competitive prices, the increasing centralization which has characterized the equipment and institutions associated with energy industries for the past 30 years could be dramatically altered; basic patterns of energy consumption and production could be changed; energy-producing equipment could be owned by

126 U.S. Congress, Office of Technology Assessment, [1977]1978: *Application of Solar Technology to Today's Energy Needs*. Vol. 1. Washington, DC, 6, siehe auch: 210–218.

127 Ebd.: 6, 231.

128 Ebd.: 6, 199–208.

129 Ebd.: 99–100.

130 Ebd.: 202–203.

many types of organizations and even individual homeowners. Given the increasing fraction of U.S. industrial assets which are being invested in energy industries, tendencies toward centralization of many aspects of society could also be affected.¹³¹

Es ist dieses Bündel an Versprechen, das erklärt, wie Aktivisten, soziale Bewegungen, Parlamentarier, Wissenschaftler und schließlich Regierungen in der zweiten Hälfte der 1970er-Jahre zur Unterstützung der staatlichen Kommerzialisierung der Solartechnik kamen. In verschiedenen Spielarten und Kombinationen durchziehen die Gründe für die regierungsgestützte Kommerzialisierung regenerativer Energien, die das OTA zusammenfasste, beinahe jede zustimmende Stellungnahme zur Solarförderung der zweiten Hälfte der 1970er-Jahre, ob in den Medien, in unzähligen Kongressanhörungen oder in offiziellen Reden. Auch wenn sich durchaus schon in der ersten Hälfte der 1970er-Jahre Forderungen häuften, die Kommerzialisierung der Technik nun im großen Stil anzugehen (Mener 2001: 327–332), entstanden ernsthafte Kommerzialisierungsprogramme, die über die angewandte Forschung und Demonstration hinausgingen, erst unter der Regierung Jimmy Carters.

In Carters Präsidentschaftswahlkampf 1976 standen energiepolitische Themen bemerkenswerterweise nicht auf dem Programm (Cochrane 1981: 547–550). Obwohl seine Präsidentschaft mit einer Krise in der Gasversorgung begann, als es erneut zu Winterengpässen kam, schien die Regierung davon auszugehen, dass Öffentlichkeit und Kongress für ein ambitioniertes Energieprogramm das nötige Problembewusstsein fehlte. Kurz vor der Ankündigung ihres ersten Energieprogramms veröffentlichte sie einen CIA-Report, der das geo- und energiepolitische Schreckensszenario ausmalte, wonach der Warschauer Pakt noch in den 1980er-Jahren sein *peak oil* überschreiten würde und dann ebenfalls von OPEC-Lieferungen abhängig sein werde, womit ein weiterer Preisschock Anfang der 1980er-Jahre gedroht hätte (ebd.: 558–559).¹³² Experten wie Politiker gingen bis Anfang der 1980er-Jahre oft davon aus, dass sich Mitte des Jahrzehnts eine gravierende Energieknappheit einstellen würde (Graf 2014: 224–226). Das erste Energieprogramm der Regierung Carter setzte die Schwerpunkte in der Energieeinsparung, in der Substitution von Gas und Öl mit Kohle und Kernkraft, in der Entwicklung unkonventioneller Energietechniken für das »nächste Jahrhundert« und einem vorsichtigen Bekenntnis, die Preiskontrollen für Öl und Gas aufzuheben. Reichlich ambitioniert gab die Regierung ferner die Ziele aus, Mineralöleinfuhren um 60 Prozent und den Ölkonsum um 40 Prozent zu senken, die Kohleförderung um 400 Millionen Tonnen jährlich zu erhöhen,

131 Ebd.: 3; siehe auch: 115–118.

132 US Central Intelligence Agency, 1977: *The International Energy Situation: Outlook to 1985*. ER 77-10240 U. Washington, DC, siehe: 13, 18.

90 Prozent aller amerikanischen Wohnhäuser energetisch zu sanieren und die Benutzung von *solar energy* in 2,5 *million homes* zu fördern.¹³³ Zusätzlich hielt Carter eine Fernsehansprache, die – dies wird sich durch seine gesamte Präsidentschaft ziehen – die Lösung des *energy problem* zur moralisch-charakterlichen Prüfung der amerikanischen Gesellschaft erhob, ihre kollektive Handlungsfähigkeit zu sichern, in der Energiefrage ein *moral equivalent of war* zu führen:

I know that some of you may doubt that we face real energy shortages. The 1973 gas lines are gone, and with this springtime weather, our homes are warm again. But our energy problem is worse tonight than it was in 1973 or a few weeks ago [...]. [...] The oil and natural gas that we rely on for 75 percent of our energy are simply running out. [...] If we wait and do not act, then our factories will not be able to keep our people on the job with reduced supplies of fuel. [...] We will feel mounting pressure to plunder the environment. We will have to have a crash program to build more nuclear plants, strip mine and burn more coal, and drill more offshore wells than if we begin to conserve right now. Inflation will soar; production will go down; people will lose their jobs. Intense competition for oil will build up among nations and also among the different regions within our own country. [...] If we fail to act soon, we will face an economic, social, and political crisis that will threaten our free institutions.¹³⁴

Auch wenn die Regierung Carter in keiner ihrer frühen Veröffentlichungen zum Energieproblem vergaß, die Chancen der *solar energies* zu erwähnen, muss zwischen materialen Plänen und Rhetorik unterschieden werden. In den Projektionen des Energieplans für das Jahr 1985 tauchten die regenerativen Energien in den Produktionsbilanzen nicht auf und die Kategorie *Other* blieb in den Szenarien mit und ohne Planumsetzung unverändert.¹³⁵ Die verschiedenen regenerativen Energien wurden vornehmlich in einem vagen Abschnitt namens »The Future Beyond 1985« diskutiert, der sich Zukunftstechniken widmete.¹³⁶ Immerhin verschob sich die Bewertung diverser Zukunftstechniken im Vergleich zu früheren Plandokumenten stark in Richtung regenerativer Energien und weg von den »nächsten Generationen« der Kerntechnik. Zum Fusionsreaktor enthielt der Plan zurückhaltend kritische Passagen und in der Diskussion des Schnellen Brüters ging der Entwurf ausführlich auf Proliferationsrisiken ein.¹³⁷ Das Brüterdemonstrationsprojekt der TVA entwickelte sich zu einem jahrelan-

133 U.S. Congress, 1977: *National Energy Program. Fact Sheet on the President's Program*, 20. April 1977. Washington, DC.

134 Jimmy Carter, 1977: *The Energy Problem. Address to the Nation on Energy*. 18. April 1977.

135 US Office of Energy Policy and Planning, 1977: *The National Energy Plan*, 29. April. Washington, DC: Executive Office of the President, 95–96. Häufiger scheint allerdings durch, dass man *Solar Heating and Cooling*, das als sofort zu kommerzialisierende Technik galt und für dessen Einsatz 100 Millionen US-Dollar vorgesehen waren, der Energieeinsparung statt der Energieerzeugung zugerechnet hat, siehe etwa ebd.: 43.

136 Ebd.: 98–103.

137 Ebd.: 70, 102.

gen Streitpunkt zwischen Senat und Regierung (Cochrane 1981: 581, 584). Während einige Teile der neuen Energiepolitik noch im Jahr 1977 verabschiedet wurden, im August etwa zog man ERDA und FEA im neu gegründeten Department of Energy (DOE) zusammen, dauerte der Kampf der Regierung für ihren Energieplan mit Wirtschaftsinteressen, Interessenverbänden und dem Kongress, insbesondere mit den regionalen Interessen im Senat, achtzehn Monate (ebd.: 578–584). In der Förderung von Kollektoranlagen zur Heizungs- und Warmwasserunterstützung wurden noch 1977 weitreichende direkte öffentliche Ausgaben und Steuererleichterungen verabschiedet. Ebenso gelang die Durchsetzung einer Reihe von Steuerreformen im Bereich der Energieeinsparung und der energetischen Sanierung. Zusätzlich verabschiedete man Verpflichtungen für Energieversorger, Informationen über regenerative Energien zu verbreiten und eingespeiste Elektrizität diskriminierungsfrei nach *avoided costs* zu vergüten (eine institutionelle Innovation, die dem Prinzip nach für den deutschen Fall im 21. Jahrhundert sehr wichtig werden sollte). Die vorgesehene Beschleunigung der Kohleförderung krankte an mehreren Stellen an offensichtlich unzureichenden Preisanreizen und an weiterhin bestehenden Umweltschutzbestimmungen, die aus Sicht der Industrie nicht genügend gelockert wurden. Die Deregulierung der Ölpreise musste die Regierung vorerst völlig aufgeben, die der Gaspreise gelang ihr formell – aus einem Regelungssystem mit vier Höchstpreisen machte der Kongress ein System mit siebzehn Höchstpreisen (Cochrane 1981: 584–586; Mener 2001: 337–339). In der Regierung schien man es bei diesem mäßigen Erfolg belassen zu wollen. Initiativen und Reden zur Energiepolitik nahmen bis 1979 ab, und die Administration begann, sich stattdessen der Inflationsbekämpfung, der Sektorpolitik, Wohlfahrtsstaats- und Steuerreformen und internationalen Problemstellungen zu widmen (Yager 1981: 601–603).¹³⁸

Dieser geordnete Rückzug aus der ambitionierten Energiepolitik wurde von der zweiten Ölkrise ab Januar 1979 durchkreuzt. Die zweite Ölkrise wurde durch eine Serie aus fünf Einschnitten in die neue Ruhe in der weltweiten Energie-

138 Aus den Aufzeichnungen von Carters Staatschef Hamilton Jordan geht relativ deutlich hervor, dass die Regierung das Energiethema einerseits aufgegriffen hatte, um Momentum in ihrer Interaktion mit dem Kongress für weitere politische Vorhaben zu entwickeln und Handlungsfähigkeit zu demonstrieren. Siehe Hamilton Jordan 1977: *Memorandum on Political Strategy for Passage of Energy Bill*. Carter Library, Hamilton Jordan' Confidential Files, Container 34a. Andererseits sorgte sich die politische Führung später darum, dass 1977 ein Ungleichgewicht entstanden sei. Während sich Bürger in Umfragen in erster Linie um die Arbeitslosigkeit und Inflation zu sorgen schienen, berichteten die Medien überdurchschnittlich häufig über Carters Energiepolitik. Siehe Hamilton Jordan, 1977: *Administration Review, Goals and Priorities*. First Draft of December 1977. Carter Library, Hamilton Jordan' Confidential Files, Container 33. Hamilton Jordan, 1979: *Memorandum on Economic Decision Making*. 14. März. Carter Library, Hamilton Jordan' Confidential Files, Container 34a.

versorgung ausgelöst. Revolten und Streiks in der iranischen Ölförderung Ende 1978 führten erstens zum Abzug ausländischer Ingenieure aus den iranischen Ölfeldern, was einen mehrmonatigen Abfall der iranischen Förderung um beinahe 80 Prozent nach sich zog (ebd.: 603). Im Januar wurde zweitens der iranische Schah gestürzt, was die Auflösung der Förderverträge mit jenen Firmen bedeutete, die im Iran aktiv waren, worauf diese mit massiven Weltmarktkäufen reagierten, um ihre Produktionsketten zu erhalten (Yergin 1991: 685). Drittens reagierte die OPEC auf die neuen Turbulenzen. Noch im März gab sie vorübergehend die Kartelldisziplin auf und wechselte zu »freien Preisen«, um die Panik der Märkte abschöpfen zu können, zu einem *Free-for-all*-Regime, wie es der saudi-arabische Ölminister ausgedrückt haben soll (ebd.: 689–699). Ende März zog die OPEC für das Jahr 1979 geplante Preiserhöhungen vor. Viertens ereignete sich Ende März der Reaktorunfall in Harrisburg, wodurch weitere Unsicherheit über die zukünftige Energieversorgung entstand, insbesondere über den mittelfristigen Ausweg aus der Energiekrise mittels Kernkraft. Der Unfall in Harrisburg bedeutete ferner erneute Unterstützung für die Antiatombewegung und Kernkraftkritik. Der letzte, fünfte Einschnitt bestand in der abermaligen Erhöhung der Rohölpreise durch die OPEC im Juni 1979, womit die neuen Preisniveaus zumindest kurzfristig festgeschrieben wurden. Die Zuspitzung der Ereignisse 1979 führte zu einer erneuten Beschäftigung mit der Energieversorgung und einer erneuten Erweiterung der Förderung der Solartechnik.

Der wesentliche innenpolitische Druck zur Formulierung, Durchsetzung und Erweiterung der Programme zur Förderung der regenerativen Energien seit 1977 entstammte hauptsächlich drei gesellschaftlichen Gruppen. Erstens waren die jahrelangen Forschungsförderprogramme nicht ohne Spuren im wissenschaftlich-wirtschaftlichen Komplex geblieben. Im Jahr 1974 etwa hatte sich die Solar Energies Industries Association gegründet, die sowohl im Kongress als auch in der Regierung für eine Erweiterung der Förderung warb. Etliche Vertragsprogramme und Forschungsprojekte an Universitäten und Forschungsinstituten im ganzen Land hatten außerdem den Rückhalt für die Techniken in der Wissenschaft wachsen lassen. Die Photovoltaik wurde gegen Ende der 1970er-Jahre wiederkehrend als der nächste technische Kandidat für jenes »explosive Wachstum« gehandelt, das die Halbleiteranwendung in die Datenverarbeitung gebracht hatte.¹³⁹ Zweitens hatte sich im 95. Kongress eine parteiübergreifende lose Interessengemeinschaft aus ungefähr einhundert Abgeordneten gebildet, die auf eine Erweiterung der Förderung von Solartechniken drängte und die mit

139 Siehe etwa: The Semiconductor Revolution Comes to Solar. In: *Science* 197, 1977, 445–447.

der Regierung um *issue leadership* in der Förderung der Solarenergie kämpfte.¹⁴⁰ Insbesondere im House of Representatives des 95. Kongresses wurde auf fast jedes für die Solarförderung angefragte Budget ein – oft gewichtiger – Aufschlag beschlossen (Dawkins/Troutman 1979; Pegram 1989: 94). Die Fürsprecher weiterer Programme und Fördermaßnahmen aus dem Kongress sowie Lokalpolitiker sprachen sich zusätzlich im Weißen Haus für aggressivere Förderprogramme aus (Laird 2004: 146). Außerdem war aus den Umweltbewegungen über die 1970er-Jahre eine beachtliche Zahl von Aktivisten und Initiativen zur Förderung der Sonnenenergie hervorgegangen, die der Regierung wiederholt vorwarfen, die Förderung der Solarenergie nicht ausreichend ernst zu nehmen, und die mit Informationskampagnen, Vorsprachen im Weißen Haus, der Bündnisbildung mit Industriegewerkschaften und einer großen Zahl an Publikationen Druck aufzubauen versuchten (ebd.: 137, 145).¹⁴¹ Im Mai 1978 organisierte eine Gruppe um Denis Hayes, den Organisator des Earth Day 1971 und späteren Direktor des SERI in Golden, den landesweiten Sun Day mit »solar fairs and conferences, ›Sundances‹, sunrise celebrations, and sidewalk rallies and demonstrations« in 150 Städten.¹⁴² Den Organisatoren gelang es, mit einer Resolution des Kongresses Jimmy Carter dazu zu bewegen, den 3. Mai 1978 offiziell als Sun Day zu proklamieren.¹⁴³ In seiner Rede am SERI erklärte Carter ganz im Sinn von Aktivisten: »Nobody can embargo sunlight. No cartel controls the Sun. Its energy will not run out. It will not pollute the air; it will not poison our waters. It's free from stench and smog. The Sun's power needs only to be collected, stored, and used.«¹⁴⁴

Im Bereich der Photovoltaik gingen erhöhte Förderleistungen im Jahr 1977 vor allem auf von einzelnen Kongressabgeordneten eingebrachte Ergänzungartikel zurück, die insgesamt 40 Millionen US-Dollar für den öffentlichen Kauf von Photovoltaikanlagen autorisierten. Im Jahr 1978 kamen zusätzlich Autorisierungen über 13 Millionen für die Installation von Photovoltaikanlagen auf öffentlichen Gebäuden und 98 Millionen US-Dollar für Ankaufprogramme des Department of Energy (DOE) hinzu. Das Kernstück der neuen Förderpolitik in der Photovoltaik war der im November 1978 verabschiedete Solar Photovoltaic

140 Ottinger Puts Some Heat on Federal Energy Policy. In: *New York Times*, 11. Februar 1979, WC2; siehe abwägend zu den oft bemerkten frühen Konflikten zwischen Legislative und Exekutive in der Förderung der Photovoltaik: Mener (2001: 340–344).

141 Ein wesentliches Dokument dieser Bewegung war der von der Gruppe um Denis Hayes veröffentlichte *Blueprint*. Siehe Solar Lobby, 1979: *Blueprint for a Solar America*. Washington, DC.

142 Sun Day Seen as More Potent Politically than Earth Day. In: *Science* 200(14), 185–187, 1978, hier: 185.

143 Jimmy Carter, 1978: *Proclamation 4558 – Sun Day, 1978*. Washington, DC.

144 Jimmy Carter, 1978: *Remarks at the Solar Energy Research Institute on South Table Mountain*, 3. Mai, Golden, CO.

Energy Research, Development and Demonstration Act, mit dem die Industrialisierungseuphorie aus Cherry Hill auch formell unter den Befürwortern regenerativer Energiequellen aufgenommen wurde. In ihm wurden 1,5 Milliarden US-Dollar für ein zehnjähriges Programm unter Leitung des DOE mit dem Zweck vorgesehen, »to hasten the general commercial use of [photovoltaic] technologies«. Ferner enthielt er Bestimmungen für die Verbindung der Photovoltaikförderung mit anderen Regierungseinrichtungen, etwa mit dem Department of Defense. Die Programme von 1978 führten in der Forschungsförderung zwischen DOE und NASA zu enormer Dynamik (Margolis 2002: 70–73). Noch im Jahr 1978 wiederholte das DOE, trotz einiger Skepsis hinsichtlich eines *Demand-pull*-Programms, die Meilensteine der Cherry-Hill-Konferenz; 500 MWp Produktionskapazität mit 50 Cent (\$2,36 für 2013 CPI-bereinigt) Produktionskosten pro Wattpeak sollten bis 1986 erreicht werden.¹⁴⁵ Teils als symbolische Maßnahme, teils als internen Ordnungsversuch stieß die Carter-Administration ferner ein Domestic Policy Review zur Kommerzialisierung regenerativer Energien an (zur Einordnung: Mener 2001: 342–344). Diese neue Form der Regierungsplanung war zur ressortübergreifenden und gesellschaftlichen Abstimmung zentraler innenpolitischer Fragestellungen eingeführt worden. Sie zielte teilweise darauf, durch den Einbezug möglichst vieler politischer, privater und zivilgesellschaftlicher Positionen, direktdemokratische Elemente in die Planungsprozesse der Regierung zu integrieren (Laird 2004: 141). Das letztlich im Februar 1979 intern veröffentlichte Domestic Policy Review enthielt argumentativ im Wesentlichen alle Positionen, die schon in den vorherigen Berichten auftauchten.¹⁴⁶ Neu war ein quantitatives Förderziel, in dem die regenerativen Energien bis in das Jahr 2000 20 Prozent des amerikanischen Primärenergieverbrauchs decken sollten, das in der Folge Grundlage erneuten Drucks auf die Regierung wurde, aggressivere Förderpläne zu initiieren (ebd.: 147–149). Im Licht der Zuspitzung der zweiten Ölkrise im Juli 1979 verpflichtete sich Carter – Umfragen zufolge im Angesicht von Arbeitslosigkeit, Inflation und Energiekrise mittlerweile unbeliebter als Richard Nixon auf dem Höhepunkt des Watergate-Skandals (Yager 1981: 623) – in seiner *Crisis-of-Confidence*-Rede öffentlich auf das 20-Prozent-Ziel und übersandte dem Kongress erneute Gesetzesinitiativen, diesmal zur Einrichtung einer im DPR vorgeschlagenen Solar Bank, die verbilligte Kredite für regenerative Energieanlagen bereitstellen sollte, und zur Erweiterung der steuer-

145 Siehe etwa US Department of Energy, 1978: *Photovoltaic Energy Systems Program Summary*. Washington, DC: US Department of Energy, 4.

146 US Department of Energy, 1979: *Domestic Policy Review of Solar Energy. A Response Memorandum to the President of the United States. February 1979*. TID-22834. Washington, DC.

lichen Förderung regenerativer Energien.¹⁴⁷ In der Folge dieser Reihe an Förderinitiativen sorgten die USA Anfang der 1980er-Jahre nach Schätzungen für etwa 80 Prozent der weltweiten Installation regenerativer Energietechnik und für ungefähr 85 Prozent der weltweiten Fertigung (Jones/Bouamane 2012: 21).

4.5 Kollektives Handeln und das verfrühte Ende der solaren Transformation

Auf dem Markt für Solarkollektoren zur Warmwasser- und Heizungsunterstützung führten die Programme der Regierung Carter um das Jahr 1980 zu beträchtlichem Wachstum. Im Jahr 1981 wurden circa 1,9 Millionen Quadratmeter Kollektorfläche hergestellt. Wie schon einmal brach die Industrie Mitte der 1980er-Jahre wieder zusammen, als mehrere der Steuervergünstigungen der Carter-Programme ausliefen. Ferner ging es im sehr früh nachfrageseitig geförderten Kollektormarkt in vielen Belangen recht anarchisch zu. Im Gegensatz zur technisch etwas komplexeren Photovoltaik tummelten sich in der Industrie für Kollektoranlagen zahllose neu gegründete Kleinfirmen mit teilweise zweifelhaften technischen Kompetenzen. Trotz staatlicher Normungs-, Prüf- und Forschungsprogramme litt die Industrie unter fehlenden Qualitätsstandards. Erst recht konnte sie die Förderung offensichtlich nicht nutzen, um ein kollektiv halbwegs stabiles Geschäft aufzubauen (zu diesen und weiteren Problemen der Kollektorindustrie im Detail: Mener 2001: 346–374).

In der Photovoltaik fiel man Mitte der 1980er-Jahre praktisch dahin zurück, wo man 1973 angefangen hatte – auf technisch sicherlich sehr viel fortgeschritteren Niveau kehrte die Industrie zurück in die Grundlagenforschung und in vereinzelte Suchbewegungen nach einem Material- oder Zellkonzept, das das Kostenproblem der Technik lösen konnte. Ambitioniertere Entwicklungsprogramme, die auf das in Cherry Hill formulierte kollektive Ziel – die Überwindung von Entwicklungsfallen und Koordinationsproblemen entlang der gesamten Wertschöpfungskette der kristallinen Siliziumphotovoltaik – ausgerichtet waren, entstanden in den USA erst wieder in den 1990er-Jahren. Die 1973 erhoffte jährliche Verdopplung der Produktionskapazitäten inklusive der entsprechenden Kostensenkungen hat nie stattgefunden. Statt der erhofften 500 MWp Produktionsleistung stellte man 1986 – dem ersten Jahr seit Cherry Hill,

147 Siehe Jimmy Carter, 1979: *Solar Energy Message to the Congress*, 20. Juni. Washington, DC: U.S. Congress; U.S. Congress, 1979: *Fact Sheet on the President's Import Reduction Program*. Washington, DC: U.S. Congress, 24–29.

in dem Produktionsleistung *abgebaut* wurde – Panele mit circa 7 MWp Leistung her. Statt bei einem Modulpreis von 50 Cent pro Watt war man bei mittleren Produktionskosten von circa 5 US-Dollar angekommen (für 2013 CPI-bereinigt 10,15 US-Dollar). Statt die Haltbarkeit der Module von geschätzten 2 bis 3 Jahren auf 25 Jahre zu erhöhen, gaben Hersteller Mitte der 1980er-Jahre 10 Jahre Garantie auf Module auf kristalliner Siliziumbasis.¹⁴⁸

In der Forschungsliteratur zur Entwicklung der Photovoltaikindustrie wird für das Abebben der Industriedynamik vor allem eine Erklärung gegeben: die Regierungsübernahme Ronald Reagans und die konservative Mehrheit im Kongress. Das Ende der Amtszeit Carters 1981 bedeutete in vielerlei Hinsicht auch das Ende jenes Typs von Förderpolitik für regenerative Energien, der sich über die 1970er-Jahre allmählich entwickelt hatte. Zwar begann unter Reagan die von allen drei Administrationen vor ihm verfolgte, schließlich von der Regierung Carter unter internationalem Druck weitgehend durchgesetzte und lange Zeit auch von Umweltbewegungen geforderte Deregulierung der Ölpreise.¹⁴⁹ Dies geschah allerdings vor dem Hintergrund, dass die Mineralölindustrie über die 1980er-Jahre in eine tiefe Überkapazitätskrise geriet. Die absurd hohen Ölpreise in den 1970er-Jahren hatten zu einem extremen Anstieg neuen Angebots geführt und Rezessionen, Einsparungs- und Restrukturierungsprogramme in den Industriestaaten hatten die Nachfrageseite entlastet (Yergin 1991: 715–724). Es stellten sich bis 1986 Mineralölpreise ein, wie es sie seit 1973 nicht mehr gegeben hatte (siehe oben Abbildung 4-5) – mit einer entsprechenden Minderung der politischen Salienz des Energieproblems. Die Reagan-Administration kürzte zusätzlich drastisch bei Mitteln für die anwendungsnahe Forschung, für Demonstrations- und für Installationsprogramme für regenerative Energietechnologien.¹⁵⁰ Die neue Administration hatte mehrmals vorgeschlagen, das Department of Energy (zusammen mit dem ebenfalls von Carter eingerichteten Department of Education) völlig aufzulösen, gleichzeitig aber schon Initiativen

148 Alan C. O'Connor, Ross J. Loomis und Fern M. Braun, 2010: *Retrospective Benefit-Cost Evaluation of DOE Investment in Photovoltaic Energy Systems*. Washington, DC: US Department of Energy, 3-1–3-2.

149 Die Politik der Deregulierung des amerikanischen Ölhandels wird bei Ikenberry (1988a) mit einem Fokus auf internationale Verhandlungen insbesondere mit der Regierung Helmut Schmidts und bei Hughes (2009: 278–320) mit einem Fokus auf Interessengruppen und die Innenpolitik aufgearbeitet.

150 Die Energieforschungsprogrammatik der Administration, die aus einem beharrlichen Betonen der heilenden Kräfte freier Märkte, aber einem unzweideutigen Bekenntnis zur Fusionsforschung und einer Rückbesinnung der staatlichen Technologiepolitik auf die Grundlagenforschung bestand, findet sich schon in ihrem hastig zusammengestellten ersten Energieplan. Siehe US Department of Energy, 1981: *The National Energy Policy Plan. A Report to the Congress*. DOE/S-0014. Washington, DC.

an den Kongress gesandt, die die anwendungsorientierten Teile der seit 1973 aufgebauten Förderlandschaft zurückschneiden sollten.¹⁵¹ Bis 1985 hatte das Photovoltaikprogramm des DOE circa 80 Prozent seiner Mittelgarantien verloren. Die Solar Bank wurde allmählich finanziell ausgetrocknet (Mener 2001: 365). Die Förderung über Steuernachlässe ließ man auslaufen und die öffentlichen Anschaffungsprogramme wurden stückweise zurückgeschraubt. Der Grund dafür lag nicht nur in einer Art konservativ-neoliberaler Reaktion gegen ein zentrales technologiepolitisches Projekt von progressiven Reform- und Umweltbewegungen. Die kollektivorientierte politische Rhetorik zur konzertierten Problembewältigung nahm seit Anfang der 1980er-Jahre im Gefolge der Neuerfindung der republikanischen Partei generell ab und die Forschungs- und Technologiepolitik wurde in Teilen neu ausgerichtet. Während der 1960er- und 1970er-Jahre war es vor allem im Luftfahrt-, Elektronik- und Energiebereich einigermaßen salonfähig geworden, Sektor- und industrielle Entwicklungspolitik zu betreiben. Das neue alte Paradigma der Technologiepolitik legte Reagan 1981 mit Bezug zu den DOE-Programmen so dar, dass es ihm um eine Verschiebung der Förderpolitik ginge: »away from costly near-term, development, demonstration and commercialization efforts, and into longer-range research and development«; »It will be the free market place – and not government – which will be expected to support the commercial introduction of new technologies« (Reagan im Jahr 1981, zitiert in Frankel 1986: 64). Zwischen 1980 und 1990 erhöhten sich die Grundlagenforschungsausgaben des DOE um 140 Prozent, während die Ausgaben für die Entwicklungsprogramme für die Verarbeitung fossiler Rohstoffe um 50 Prozent, für die Kerntechnik um 68 Prozent, für die Energieeinsparung um 34 Prozent und für regenerative Energietechnologien um 83 Prozent zusammengestrichen wurden.¹⁵²

Die Politik der konservativen Regierung während der Ölschwemme der 1980er-Jahre wird in der Forschung relativ einhellig als gravierender externer Schock auf die anlaufende Industrieentwicklung beschrieben (anstelle vieler: Margolis 2002: 73–74). Das Resultat, so Margolis, war, dass 1986 schon 80 Prozent der Mittel aus dem National Photovoltaics Program für eine Unzahl »innovativer« Zellkonzepte ausgegeben wurde – die Industrialisierungs- und die Nachfrageförderung ihre Priorität verloren hatten und die Hoffnungen von

151 Siehe überblicksweise und programmatisch: J. Glen Moore, 1982: *Solar Energy and the Reagan Administration*. Mini Brief MB81265. Washington, DC: Library of Congress, Congressional Research Division.

152 US General Accounting Office, 1990: *Energy R&D. DOE's Allocation of Funds for Basic Research and Applied Research and Development. Briefing Report to the Chairman, Subcommittee on Research and Development, Committee on Science, Space, and Technology, House of Representatives*. Washington, DC, 16.

1973 der alten Normalität der Grundlagenforschung gewichen waren. In den Worten Paul Maycocks, eines früheren Mitarbeiters im DOE, wandelte sich das Programm grundlegend »from a balanced, well funded RDT & E PV program to an underfunded, high risk research effort«. ¹⁵³ Die neuen politischen Schwerpunktsetzungen in der Technologieförderung hatten zusammen mit Budgeteinschnitten, Personalkürzungen und einem erneuten – diesmal preisdrückenden – Rohstoffschock zu einer Verschiebung des Programms auf die experimentelle Laborforschung geführt und damit der solaren Revolution ab 1981 ein Ende bereitet, bevor sie begonnen hatte. So treffend diese Beobachtungen mit Blick auf die Entwicklung des Fördervolumens sind, so sehr überspielen sie, dass die Fragmentierung des Projekts zu großen Teilen schon wesentlich früher – und, noch wichtiger, innerhalb des Projekts entstand. Die Reagan-Einschnitte haben die Hoffnungen aus Cherry Hill allerdings weitgehend begraben.

Große Photovoltaikfertiger etwa überschlugen sich mit Lobpreisungen für die Abkehr von Carters *solar socialism*: »In the past, if a guy took out a piece of glass, poured some fluid on it, held it up to the sun and got some voltage off it, he made a headline and got some Government funds. Those days are over. ›It's time for big money commitments« [...] ›If you were in it for the fun and excitement, it's time to get out«, lobte der Leiter der Solarabteilung von Westinghouse. Ein namentlich nicht genannter Direktor einer der Fertiger im Besitz der Ölkonzerne gab an: »Letting some of the nonviable companies who depended entirely on Government grants run their natural course would be in our interest [...]. It is hard to recognize the good products from the bad products, when the bad ones are getting intravenous feeding from the Government.« ARCO Solars Direktor meinte: »Business executives, telecommunications companies, utilities, hydroelectric companies are going to start to see us more as a business now, not a hobby, not a ban-the-nukes/save-the-whales bunch of guys who stand around airports and pass out literature.« ¹⁵⁴ Diese Lobpreisungen sind Ausdruck von Interessenspaltungen und Fragmentierungsprozessen, die bereits lange zuvor in dem Programm entstanden waren. Bei genauerer Betrachtung der Industrieentwicklung im Ganzen zeigt sich, dass die Photovoltaikprogramme die sie stützenden Koalitionen nur so lange praktisch zusammenhalten konnten, solange es sie noch nicht gab. Ziemlich genau mit dem Ausbau der Förderung ab dem Jahr 1975 nahmen Zielkonflikte zu und Firmen und Forscher wurden unsicherer, inwieweit sie sich wirklich auf vorhandene Technologien festlegen wollten, womit

153 Paul D. Maycock, 1986: *The Jet Propulsion Laboratory Low-Cost Solar Array Project, 1974–1986*. Pasadena, CA: JPL, California Institute of Technology, Proceedings of the 26th Project Integration Meeting, 91–95, 92.

154 Revolutionary Changes for Solar Field. In: *New York Times*, 18. August 1981.

das *kollektive Projekt*, die Industrie aus ihrer Entwicklungsfalle zu heben und die Technik in die Energieversorgung der USA zu bringen, zunehmend geschwächt wurde. Im Einzelnen entwickelten sich diese Risse in den Unterstützerkoalitionen in drei Abstimmungsfragen: wer angesichts der erwarteten Kostensenkungen und inkrementellen technischen Weiterentwicklungen zuerst Investitionen leisten sollte; inwieweit man auf radikale Innovationen mit alternativen Material-, Zell- und Systemtechniken hoffen konnte; und wie solare Energieversorgungssysteme sowie dazugehörige Industrien der Zukunft aussehen würden.

Die ab 1973 projizierten Kapazitätserweiterungen – der Kongress hatte die jährliche Verdopplung der Produktionskapazität, die man in Cherry Hill ins Auge gefasst hatte, noch 1978 im Solar Photovoltaic Energy Research, Development, and Demonstration Act »gesetzlich festgeschrieben – haben bis in die späten 1990er-Jahre nicht stattgefunden. Und in Teilen lässt sich die Zurückhaltung der produzierenden Industrie nur mit eben der Euphorie erklären, die sich in den ersten Jahren der Kostensenkungen in den JPL-Projekten entwickelt hatte. Seit 1973 entstanden einerseits unzählige Dokumente und Hoffnungsbekundungen stufenweiser natürlicher Entwicklung der Industrie, etwa im Bereich der Herstellung von Siliziumscheiben von schon verfügbaren Kristallzieh- und Sägeverfahren über fortgeschrittene Gussprozesse bis zur Marktreife von Verfahren zum direkten und kontinuierlichen Ziehen der Scheiben in den späten 1980er-Jahren (etwa mit Mobil Oils noch bis in die 1990er-Jahre experimentellem EFG-Verfahren). Andererseits fehlte in keiner Analyse zu den Potenzialen der Industrie eine Grafik, die den Zusammenhang von Produktionsmenge und Kostensenkungen (von »Lernkurvenverläufen«) abbildete – für gewöhnlich mit einem *take-off* in die selbsttragende Massenproduktion um das Jahr 1986, dem Ende des Förderprogramms.¹⁵⁵

Auch wenn diese Zukunftshoffnungen dabei halfen, die Industrie überhaupt erst für die Programme zu mobilisieren, hielten sie sie davon ab, in Kapazitäten zu investieren und ihre Produktion wie geplant kapitalintensiver zu gestalten. Das Problem, in dem sich die Förderprogramme wiederfanden, lässt sich folgendermaßen auf den Punkt bringen: Waren die Projektionen über technologische und kostentechnische Entwicklungen adäquat – und ohne ein wenig Glauben daran, hätten sich die jeweiligen Investitionen ohnehin nicht gelohnt –, bedeutete dies mit ziemlicher Sicherheit, dass man Kapitalgüter nach relativ kurzer Zeit hätte abschreiben müssen, was aber wiederum eine kritische Komponente der Entwicklungspläne unterwanderte. »The critical question is not whether a

155 Siehe den sehr ausgefeilten und planungseuphorischen Bericht: US Federal Energy Administration, 1977: *Preliminary Analysis of an Option for the Federal Photovoltaic Utilization Program. Task Force on Solar Energy Commercialization*. Washington, DC.

«\$2/Wp plant can be built», stellte ein etwas ratloser Bericht des Solar Energy Research Institute nach drei Jahren Entwicklungsarbeit im Low-Cost Solar Array Project des JPL ernüchtert fest:

[B]ut whether industry will be motivated to make investments in large-scale production facilities. These facilities represent major departures from, rather than gradual evolution of, the small-scale facilities currently used to manufacture arrays. They also represent a major increase in the fixed portion of total production cost and a commitment to a technology that is still advancing. Hence, the technological uncertainty is whether a \$2/Wp plant will rapidly become obsolete as photovoltaic technology advances, and thereby produce financial losses.¹⁵⁶

Die Risiken individueller Vorleistungen im Kapazitätsaufbau beschränkten sich nicht auf die natürliche inkrementelle Weiterentwicklung der Produktionstechnik. In der Konsequenz bedeutete die Selbstverpflichtung von Regierung und Förderinstitutionen, die Lernkurve der Industrie bis 1986 auf 500 MWp Kapazität und 50 Cent pro Wp Produktionskosten zu drücken, dass jedes Unternehmen, das Interesse anmeldete und sich halbwegs kompetent gab, staatlich dabei gefördert würde, die jeweiligen vorherigen Investitionen obsolet zu machen. Anders gesagt, Chancen zur einfachen Sicherung *individueller* Wettbewerbsvorteile wurden von den staatlichen Entwicklungsprogrammen gemindert – mit dem Effekt, dass ihr ursprüngliches Ziel, der Technik durch Forschungsförderung eine *kollektiv* stabile Wettbewerbsposition zu anderen Energietechniken zu verschaffen, von eben dieser Förderung untergraben wurde. Ein wenig desillusioniert stellte man genau das seit 1978 auch im JPL fest: »[A]ny attempt on the part of government to increase (say double) R&D expenditures will *increase* the tendencies [to delay or prevent investment].«¹⁵⁷ Die Rede von der *technological obsolescence* zieht sich wie ein roter Faden durch alle Dokumente und Debatten zur Photovoltaikförderung seit 1977.¹⁵⁸ Als sei es völlig natürlich, antwortete ein JPL-Programmmanager auf Fragen der Federal Trade Commission, wie viel Ausgangskapital Markteintritte voraussetzen würden, die Kosten einer Produktionslinie auf gegenwärtigem technischen Stand müssten ungefähr verdoppelt werden, um auf die Kosten eines erfolgreichen Markteintritts zu kommen: »[I]f

156 Dennis Costello et al., 1978: *Photovoltaic Venture Analysis. Final Report Volume I*. SERI/TR-52-040. Golden, CO: Solar Energy Research Institute, 62.

157 Jeffrey L. Smith, 1978: *The Industrialization of Photovoltaic Systems*. Pasadena, CA: Jet Propulsion Laboratory, 19; Hervorh. nicht im Original.

158 Siehe etwa den Bericht der Unternehmensberatung Gnostic Concepts, die mit einer Reihe von Industrieworkshops die ersten bestimmten Stimmen gegen die Fortführung der Entwicklungsprogramme sammelte und systematisierte: Gnostic Concepts, 1978: *Photovoltaic Venture Analysis. Market/Demand Workshop*. Golden, CO; Gnostic Concepts, 1978: *Photovoltaic Array and Systems Prices in 1982 and 1986. An Issue Paper for the Photovoltaic Venture Analysis*. AD808121. Golden, CO.

one assumes the initial investment will quickly become obsolete, so that an entirely new investment must be made within the planning horizon, [...] \$50 million should be adequate.«¹⁵⁹ Die Investitionszurückhaltung wegen der Abschreibungsgefahr durch die »nächsten Generationen« der Technologie beschränkte sich nicht auf die Zell- und Modulfertigung. Dieselben Gründe wurden von Chemiekonzernen angegeben, um zu rechtfertigen, warum sie rationalerweise nicht in Vorleistung gehen wollten, um größere Kapazitäten zur Herstellung günstigen Siliziums und günstiger Siliziumscheiben bereitzustellen:

Progress has been made in the Low Cost Solar Array Project [...] in developing new processes to produce low cost, semiconductor grade silicon. There is a high probability that the 1986 price goal (\$14/kg compared to about \$65/kg [...]) will be achieved by one or more of these processes. Hence, the likelihood that a new process will be used in silicon production plants about 1986 leads to a reluctance to invest in Siemens-process new plants.¹⁶⁰

Zusätzlich, und hier war die Chemieindustrie gewissermaßen Vorreiter, wollten Firmen angesichts der fundamentalen Unsicherheit über den Umfang zukünftiger Märkte nicht das Risiko eingehen, kollektiv zu viele kapitalintensive Produktionsstätten aufzubauen – womit sie schon Verluste riskiert hätten, bevor ihre Linien »obsolet« geworden wären. In der Halbleitertechnik hatte die Rezession 1974 zu mehreren Jahren gravierender Überkapazitäten in der Herstellung von Reinstsilizium geführt, und wie es ein Vertreter von Dow Corning in einer Kongressanhörung ausdrückte: »[W]e got burned pretty well, and there's not too much excitement to get burnt the second time.«¹⁶¹ Das bedeutete einerseits, dass die Unsicherheiten über zukünftige Marktsituationen auf die Zell- und Modulfertigung abgewälzt wurden; sollten Halbleitertechnik oder Elektronikindustrie in einen Aufschwung geraten, würden die Chemiekonzerne an den Grenzen ihrer Kapazitäten produzieren und die Photovoltaikindustrie würde die entsprechenden Preise und Engpässe auf sich nehmen müssen, was wiederum deren Neigung zum Aufbau zu großer kapitalintensiver Produktionslinien abnehmen ließ. Die Sorge vor der lange beschworenen Siliziumknappheit zu Beginn der 1980er-Jahre führte unter Herstellern von Zellen durchaus zu Ansätzen, eigene Kapazitäten in der Siliziumverarbeitung aufzubauen, wozu ihnen aber mit wenigen

159 Jeffrey L. Smith, 1980: *Federal Policies to Promote the Widespread Utilization of Photovoltaic Systems. Review and Critique*. DOE/JPL-1012-45. Pasadena, CA: Jet Propulsion Laboratory, US Department of Energy, 76.

160 Jet Propulsion Laboratory, 1979: *Silicon Materials Outlook Study for 1980–85 Calendar Years*. JPL-79-110. Pasadena, CA: Jet Propulsion Laboratory, 7.

161 U.S. Congress, 1978: *Solar Photovoltaic Energy Research, Development, and Demonstration Act of 1978. Hearings before the Subcommittee on Advanced Energy Technologies and Energy Conservation Research, Development, and Demonstration of the Committee on Science and Technology, U.S. House of Representatives, Ninety-fifth Congress. First session*. Washington, DC, 111.

Ausnahmen häufig entweder das Kapital oder, in Erwartung bald anstehender technischer Innovationen, die Motivation fehlte.¹⁶² Obendrein nahmen Firmen die staatliche Einrichtung künstlicher Marktchancen als zu unsicher wahr, um sich mit großen Investitionen verwundbar zu machen: »[T]he [...] government market is not perceived as a real and long-lasting market«, fasste eine Unternehmensberatung Industriestimmen zusammen, »manufacturers are quite concerned about the year-to-year stability of government funding. They tend to feel that the less direct market involvement by the government, the more stable and real the overall market will be.«¹⁶³

Im JPL schien man aufgrund der Investitionsverweigerung der Industrie spätestens seit Anfang 1977 ernsthaft erwogen zu haben, die erste Generation neuer Produktionsanlagen für Silizium, Siliziumscheiben und die automatisierte Zell- und Modulfertigung einfach selbst zu errichten, anstatt sich mit der zurückhaltenden Industrie herumzuschlagen.¹⁶⁴ Bis 1985, so ein Entwurf für einen neuen Programmplan der JPL-Manager, könne man eine Reihe an Pilotlinien und ein regierungseigenes »mass production plant« in den Betrieb überführen.¹⁶⁵ Ein solches Vorhaben sollte es in dieser Form nie in die finale Version des National Solar Photovoltaic Program Plan des DOE schaffen. Im Umfeld des LSSA selbst warnte man vor der Ineffizienz regierungseigener Produktion. »Witness the post office«, erinnerte ein Bericht.¹⁶⁶ Henry Marvin, Leiter der Abteilung für regenerative Energien in der ERDA, nannte die Entscheidung, Mittel für den Bau von Produktionsanlagen zu streichen, 1977 noch immer »controversial«, sie werde aber insbesondere von der Industrie selbst unterstützt: »no funds for pilot plants, no manufacturing process equipment funds, no Federal ownership of manufacturing equipment«, fasste er die Planungslinie zusammen und ermahnte die Kongressabgeordneten, wenn sie wirklich ein Nachfrageförderprogramm wollten, müssten sie eben in Kauf nehmen, dass kein Geld mehr für

162 Jet Propulsion Laboratory, 1979: *Silicon Materials Outlook Study for 1980–85 Calendar Years*. JPL-79-110. Pasadena, CA: Jet Propulsion Laboratory, 7; Joseph Lindmayer, 1981: *Industrialization of Photovoltaics*. Cannes: Proceedings of the Photovoltaic Solar Energy Conference, 27–31 October 1980, 178–185, hier: 182–183.

163 Gnostic Concepts, 1978: *Photovoltaic Array and Systems Prices in 1982 and 1986. An Issue Paper for the Photovoltaic Venture Analysis*. AD808121. Golden, CO, 16.

164 Dass der Staat die Investitionen für die neuen Technologien im energiepolitischen *gridlock* der USA vorwegnimmt, forderte auch Lester Thurow in seiner Klageschrift über die verteilungspolitisch bedingte Unbeweglichkeit der USA im Krisenjahrzehnt der 1970er-Jahre. Siehe Lester C. Thurow, [1980]2001: *The Zero-Sum Society. Distribution and the Possibilities for Economic Change*. New York: Basic Books, 191–192.

165 Jeffrey L. Smith, William R. Gates und Tom Lee, 1978: *Historical Evidence of Importance to the Industrialization of Flat-Plate Silicon Photovoltaic Systems. LSA Task Report 5101-54, Vol. II*. DOE/JPL-1012-78/1. Pasadena, CA: Jet Propulsion Laboratory, 3-3.

166 Ebd.: 2-17.

den Bau von Produktionsanlagen vorhanden sei.¹⁶⁷ Wie über den öffentlichen Pilotbau von Produktionsanlagen konnte sich die Industrie ebenso wenig in der Diskussion um staatliche Beihilfen für Produktionsanlagen einigen. Noch im Jahr 1984, als der Kongress angesichts der Stagnation der Industrie eine Krisensitzung einzuberufen versuchte, sprachen sich vor allem die in der Produktion führenden Fertiger gegen Beihilfen im Kapazitätsaufbau aus. ARCO Solar, Mitte der 1980er-Jahre mit Aufträgen zur Versorgung netzferner Infrastrukturen Weltmarktführer in der abgesetzten Menge geworden und mit einem Ölkonzern im Rücken, wehrte die Forderungen seiner Konkurrenten nach staatlichen Beihilfen zum Bau fortgeschrittener Produktionslinien mit den Worten ab:

It is a nonleveraging, costly application of Federal funds that virtually guarantees perpetual Government subsidy of obsolete technology. If we were of the opinion that a new manufacturing facility [...] would get us to \$2.00 per Watt peak, then *we* would build such a 25 Megawatt plant on our own.¹⁶⁸

ARCO und eine Reihe weiterer etablierter Fertiger mit finanzstarken Mutterkonzernen forderten stattdessen staatliche Kreditgarantien und Beihilfen für ihre Exporte in Entwicklungsländer.

Abgesehen von dieser Zurückhaltung in der kristallinen Technik hatte die Förderung der Industrie zur Erkundung etlicher neuer Material- und Zelltechniken geführt, zu einer neuen Welle der Grundlagenforschung. In der zweiten Hälfte der 1970er-Jahre setzte sich in immer weiteren Kreisen die Überzeugung durch, dass die kristalline Siliziumphotovoltaik letztlich nicht die Technik sein würde, mit der es die Photovoltaik in die Energieversorgung entwickelter Gesellschaften schaffen würde. Im Jahr 1977 wurde der Nobelpreis für Physik unter anderem für die Erforschung amorphen Siliziums vergeben, eines nicht kristallinen Materials, dessen Eigenschaften unmittelbar Anlass zu Hoffnungen gaben, auf die kostenträchtigen Verfahren bei der Herstellung und Verarbeitung kristalliner Grundstoffe verzichten zu können. In einer Kongressanhörung zum Solar Photovoltaic Energy Research, Development, and Demonstration Act – dem Gesetz, mit dem man auch formal von der Forschung zur Kommerzialisierung übergehen wollte – wurde Stanford Ovshinsky, einem Erfinderunternehmer vom Typ Ericssons und Edisons, der die weltweite Euphorie um das Material

167 U.S. Congress, 1977: *Oversight on Photovoltaic Energy Conversion. Hearings before the Subcommittee on Advanced Energy Technologies and Energy Conservation Research, Development, and Demonstration of the Committee on Science and Technology. U.S. House of Representatives, Ninety-fifth Congress. First session.* Washington, DC, 9.

168 U.S. Congress, 1984: *The Current State and Future Prospects of the U.S. Photovoltaics Industry. Hearings before the Subcommittee on Energy Development and Applications of the Committee on Science and Technology. U.S. House of Representatives, Ninety-eighth Congress. Second session.* Washington, DC, 61.

für die Förderung seiner Forschung zu nutzen versuchte, breiter Raum für die Vorstellung der neuen »Zukunftstechnik« gegeben.¹⁶⁹ Amorphe Siliziumtechniken entwickelten sich bis in die 1990er-Jahre zu einem der Wachstumsfelder der Photovoltaik. Obwohl sie oft zu wenig effizient und umweltstabil waren, um in der Energieversorgung sinnvoll eingesetzt werden zu können, eigneten sie sich unmittelbar für eine Reihe von Nischenanwendungen. RCA hielt seit 1974 wichtige Patente in dem Feld, lizenzierte die Technik in der Folge an japanische Fertiger, die sie vor allem in kleinen Elektronikgeräten wie Taschenrechnern und Radios einsetzten, sowie an Solarex.¹⁷⁰

Als man 1980 mit etlichen Umfragen, Konferenzen, Analysen und Berichten erneut an der Grundausrichtung des National Photovoltaics Program arbeitete, stellte das SERI, das seit 1977 zum Hauptträger der Dünnschichtforschung im Forschungskomplex geworden war, in einer Prioritätenliste unverhohlen fest:

It is crucial to develop an experimental research program in new semiconductor materials such as amorphous semiconductors or organic semiconductors. [...] *In fact, it may be possible to take a fresh approach to photovoltaics.* Some scientists believe that a radical reduction in cost of solar cells could be achieved by an imaginative research program to uncover a very cheap thin-film material that has optical and electrical properties suited for solar cells.¹⁷¹

Den Grund für die permanente Verlockung neuer Materialien, der sich die Forschung und die Industrie seit Mitte der 1970er-Jahre ausgesetzt sah, hat recht früh Frank Zarb mit Bezug auf große Solarkraftwerke beschrieben:

[T]he very simplicity of the technology is one of the impediments to reducing its cost to the very low levels needed to make solar electric power competitive. It will be very difficult to reduce the cost by simplification. The answer lies in expanding markets, and – perhaps – different technological approaches. Right now, we're uncertain.¹⁷²

Stellungnahmen, die unmittelbar *nach* Verabschiedung der jeweiligen Kommerzialisierungsprogramme fragten, ob man denn die richtige Grundlagentechnik ausgewählt habe, zogen sich durch die gesamte Geschichte der amerikanischen

169 U.S. Congress, 1978: *Solar Photovoltaic Energy Research, Development, and Demonstration Act of 1978. Hearings before the Subcommittee on Advanced Energy Technologies and Energy Conservation Research, Development, and Demonstration of the Committee on Science and Technology, U.S. House of Representatives, Ninety-fifth Congress. Second session.* Washington, DC, 170–187.

170 Die inhaltsreichsten Quellen zur Entwicklung amorpher Siliziumphotovoltaik vor 1990 sind die Dokumente eines Jahre andauernden Patentstreits von Solarex und RCA gegen ARCO Solar und später Siemens. Siehe zusammenfassend: United States District Court, D. Delaware, 1992: *Solarex Corp. v. Arco Solar, Inc. Decided November 6, 1992.* Federal Supplement 252.

171 Solar Energy Research Institute, 1980: *Basic Research Needs in Solar Energy. Volume I.* Golden, CO, 19–20; Hervorh. nicht im Original.

172 Frank G. Zarb, 1976: *Remarks Prepared for Delivery Before the Illinois Solar Energy Conference. Chicago Circle Auditorium, University of Illinois.* Chicago, IL, 4; ebenfalls zitiert in Laird (2004: 165).

Photovoltaikprogramme der 1970er- und 1980er-Jahre. Neben der *technological obsolescence* entwickelte sich ein weiteres Schlagwort in den Debatten um die Programmausrichtung, das des »freezing of technological options«. In seiner kurzen Mitteilung zur Verabschiedung des Solar Photovoltaic Energy Research, Development, and Demonstration Act nutzte selbst Jimmy Carter die Chance, um auf die »risks involved in premature commercialization of solar photovoltaic technologies« hinzuweisen.¹⁷³ Nicht nur, dass zunehmend Zweifel laut wurden, zum Teil wurden diese *in der Förderung der Industrie selbst erzeugt*. Die Skepsis, ob man tatsächlich über die Technik verfügte, die sich lohnenswert ausbauen ließ, brach sich über die Jahre in immer weiteren Bereichen von Administration, Forschung und Industrie Bahn. Die Photovoltaik war – und ist es bis in die Gegenwart – ein technologisches Feld, in dem regelmäßig klaffende und ohne die industrielle Anwendung nicht zu erklärende Gräben zwischen den möglichen Potenzialen von im Labor entwickelten Konzepten und der Sinnhaftigkeit ihrer Massenproduktion bestanden. Außer wechselseitigen Ermunterungen, dass man die Technik schon hätte, mit der sich die Industrie aufbauen ließe, wie sie vor allem in Cherry Hill und später immer wieder um das JPL auftauchten, gab es im Feld der kristallinen Siliziumphotovoltaik nicht viele Möglichkeiten, weitere Bestätigung im Labor und in der Pilotentwicklung zu finden. Die Gefahren, angesichts der *Learning-by-Manufacturing*-Intensität der Technik mit riskanten *commitments* vorzustoßen, waren einem Großteil beteiligter Akteure offenkundig zu hoch – erst recht dann, wenn die Sinnhaftigkeit eigener *commitments* von interdependenten und ebenfalls unter Unsicherheit zu treffenden *commitments* anderer Akteure abhing. Genau diese Lähmung zu bekämpfen war das Ziel des JPL-LSSA-Projekts und – indirekt – der Kommerzialisierungsprogramme seit 1977. Über zwei Jahre, von 1976 bis 1977, erhielt das LSSA einen wesentlichen Anteil der Photovoltaikförderung der ERDA, der dann vor allem für Blockkäufe aufgewandt wurde (siehe oben Tabelle 4-2). Seit 1977 sank nicht nur sein relativer Anteil an der gesamten Förderung, real wurde das Budget des Programms seit 1979 gekürzt. Das hatte einerseits damit zu tun, dass die Produzenten, die sich an Blockkäufen beteiligten (es handelte sich vor allem um die nicht diversifizierten Kleinfertiger, die in der ersten Hälfte der 1970er-Jahre gegründet wurden), seit der dritten Blockankaufswelle 1977 relativ verlässliche Module produzieren konnten, man einen Großteil der frühen Produktionsfehler beseitigt hatte. Häufige Probleme waren Brüche im Zellmaterial, schlecht angebrachte Kontakte oder Rahmen und Leistungsabfälle. Andererseits beteiligte sich eine wachsende

173 Jimmy Carter, 1978: *Solar Photovoltaic Energy Research, Development, and Demonstration Act of 1978. Statement on Signing H.R. 12874 into Law*. Washington, DC.

Anzahl an Industrieunternehmen seit Mitte der 1970er-Jahre vornehmlich mit Forschungsprojekten an den staatlichen Photovoltaikprogrammen.

Dass sich in der amerikanischen Industrie Mitte der 1970er-Jahre eine Spaltung zwischen produzierenden und forschenden Firmen entwickelte, ist oft bemerkt worden.¹⁷⁴ Anfang der 1980er-Jahre bestand die amerikanische Photovoltaikindustrie aus ungefähr fünfzehn für Nischenmärkte produzierenden und achtzig zu guten Teilen auf Staatskosten forschenden Abteilungen und Unternehmen. In der ersten Gruppe fanden sich vor allem die neuen Kleinfertiger der 1970er-Jahre, die mittlerweile mit wenigen Ausnahmen im Besitz der multinationalen Ölkonzerne waren, Spectrolab und Motorola. Ihre Aktivitäten konzentrierten sich vor allem auf den vorsichtigen Kapazitätsaufbau und den Ausbau von Vertriebskanälen in Entwicklungsländern, zu Entwicklungshilfeorganisationen und in Nischenmärkte – auf die wenigen Möglichkeiten, zukünftige Vorteile gegen Konkurrenten ohne neue Technologien zu sichern.¹⁷⁵ In Teilen, vor allem im Fall von ARCO Solar, der in den 1980er-Jahren zum weltgrößten Fertiger aufsteigenden Tochterfirma von Atlantic Richfield, und BP Solar, weigerten sie sich gezielt, an den staatlichen Forschungsprogrammen teilzunehmen, um Entwicklungen proprietär zu halten (Margolis 2002: 165–166, 191, 209). In der zweiten Gruppe fanden sich Firmen aus der Elektronik- und Halbleiterindustrie, Anlagenbauer und Konzerne aus der Chemiebranche. Schon im Vorlaufprozess des Solar Photovoltaic Energy Research, Development, and Demonstration Act häuften sich Stellungnahmen der forschenden Industrie, dass sie die Roadmap des National Photovoltaic Program für unrealistisch halte. RCA, seit seinem Ausstieg aus der Produktion kristalliner Zellen für die Weltraumprogramme Mitte der 1960er-Jahre vor allem in der Erforschung neuer Materialien aktiv, wandte sich in einer Kongressanhörung nachdrücklich gegen den Demonstrations- und Kommerzialisierungsaspekt der neuen Förderstrategie: »[N]ew technology or technologies are required. Therefore, the value to the Nation, as a whole, of a Government-sponsored yearly doubling of the existing market [...] is not clear.«¹⁷⁶ Das Interesse an der Forschung an neuen Materialien hatte nicht bloß damit zu tun, wie viel die forschungsintensive Industrie tech-

174 Lawrence H. Linden et al., 1977: *The Solar Photovoltaics Industry: The Status and Evolution of the Technology and the Institutions. Prepared for the US Department of Energy*. MIT Energy Laboratory Report MIT-EL-77-021. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, 28; J. David Roessner, 1982: Government-Industry Relationships in Technology Commercialization: The Case of Photovoltaics. In: *Solar Cells* 5(2), 101–134, hier: 121–122.

175 Ebd.: 115.

176 U.S. Congress, 1978: *Solar Photovoltaic Energy Research, Development, and Demonstration Act of 1978. Hearings before the Subcommittee on Advanced Energy Technologies and Energy Conservation Research, Development, and Demonstration of the Committee on Science and Technology, U.S. House of Representatives, Ninety-fifth Congress. Second session*. Washington, DC: 117.

nisch von schon bekannten Technologien hielt. Wie Roessner feststellt, steckte dahinter nicht selten eine industriell-strategische Entscheidung, wie man sie aus anderen technologieintensiven Industrien kennt: »[Companies] are supporting focused research and development programs with corporate funds in order to establish a proprietary, technologically based, competitive position when future markets develop«, statt sich an der Industrialisierung bewährter nicht exklusiver Technologien zu versuchen.¹⁷⁷

Über die gesamte Geschichte der US-Photovoltaikprogramme zog sich drehtens ein immer wieder aufflammender Streit darum, wie die Industrie und die Integration der Technik in die Energieversorgung der Zukunft aussehen sollten. In Anhörungen und angefragten Stellungnahmen der Industrie fanden sich meist ebenso viele Schwerpunktempfehlungen wie Stimmen. »We are constantly harassed«, beschwerte sich ein Kongressabgeordneter im Jahr 1977, »by various enthusiasts with truly astounding claims of cost and performance improvements and schedules, all purporting to offer quick solutions to the energy crisis.«¹⁷⁸ Im Kongress hingegen, und auch dies zog sich durch die gesamte Geschichte der ERDA in den 1970er-Jahren, verkamen technologische Entscheidungen regelmäßig zu einem neuen Feld für *Pork-Barrel*-Politik.¹⁷⁹ Sieht man sich die Entwicklung der Verträge und Forschungsbereiche im Photovoltaikprogramm des DOE an, wurden die Konzepte und Techniken, die gefördert wurden, mit wenigen Ausnahmen über die Jahre *nicht weniger, sondern mehr*. Zum Teil beschwichtigte die ERDA konkurrierende Ansprüche mit redundant eingesetzten Fördergeldern – ein Muster, das schon aus der ausgleichenden Förderung zwischen Kerntechniken, neuen fossilen Rohstofftechniken und den regenerativen Energien bekannt war (Kitschelt 1983: 308). Oft hatte dies zusätzlich damit zu tun, dass über die Zukunft jeglicher Ebene der Technik gravierend unterschiedliche Vorstellungen bestanden. Energieversorgungsunternehmen beispielsweise, die mit Demonstrationskraftwerken an den Projekten beteiligt waren, richteten sich gegen zu hohe Förderanteile für Siliziumtechniken und einen »small is beautiful« bias in der Programmförderung. Sie erwarteten die ersten Durchbrüche mit großen Photovoltaikkraftwerken, bei denen weniger Zellfläche benötigt wurde und sich damit eher die weitere Forschung an teureren und effizienteren

177 J. David Roessner, 1982: Government-Industry Relationships in Technology Commercialization: The Case of Photovoltaics. In: *Solar Cells* 5(2), 101–134, 122.

178 U.S. Congress, 1977: *Oversight on Photovoltaic Energy Conversion. Hearings before the Subcommittee on Advanced Energy Technologies and Energy Conservation Research, Development, and Demonstration of the Committee on Science and Technology, U.S. House of Representatives, Ninety-fifth Congress. First session.* Washington, DC, 2.

179 Tom Alexander, 1976: ERDA's Job Is to Throw Money at the Energy Crisis. In: *Fortune*, Juli, 152–162, hier: 155–156.

Materialtechniken lohnte.¹⁸⁰ Die Förderung von konzentrierenden Anlagen und auf sie abgestimmten Materialien hingegen erregte Widerspruch von Firmen für die Siliziumphotovoltaik und öffentliche Kritik von Aktivisten und Kongressabgeordneten.¹⁸¹ Zwischen der Abteilung für regenerative Energien im Department of Energy und dem Energieausschuss des Kongresses entwickelten sich seit 1977 zunehmend derartige Konflikte. Schon im Vorlauf der Gesetze von 1978 ließ das DOE mehrere Studien und Umfragen anfertigen, die den vom Kongress ins Auge gefassten Wechsel zu einer *Demand-pull*-Förderstrategie kritisierten.¹⁸² Die vom Kongress – konsequent *gegen* die Anfragen der Exekutive – erhöhten Mittel zur Nachfrageförderung gab die Forschungsadministration bis 1986 nur zu 25 Prozent aus (Hart 1983: 331; Mener 2001: 392). Darüber hinaus gerieten die Photovoltaikprogramme des DOE seit Mitte der 1970er-Jahre verstärkt unter Beschuss von Interessenvertretern von Kleinunternehmen. In einer Reihe von Kongressanhörungen und einer größeren Studie der Small Business Administration wurde den Photovoltaikprogrammen unter anderem vorgeworfen, ein Feld erneuter Machtballungen der Mineralölindustrie darzustellen und einen *Hightech*-Vorwand für die staatliche Subvention großindustrieller Forschung zu schaffen.¹⁸³

180 Jeffrey L. Smith, 1980: *Federal Policies to Promote the Widespread Utilization of Photovoltaic Systems. Review and Critique*. DOE/JPL-1012-45. Pasadena, CA: Jet Propulsion Laboratory, US Department of Energy, 41–42.

181 Exemplarisch: Allen L. Hammond und William D. Metz, 1977: Solar Energy Research: Making Solar after the Nuclear Model? In: *Science* 197(4300), 241–244; U.S. Congress, 1977: *Oversight on Photovoltaic Energy Conversion. Hearings before the Subcommittee on Advanced Energy Technologies and Energy Conservation Research, Development, and Demonstration of the Committee on Science and Technology, U.S. House of Representatives, Ninety-fifth Congress. First session*. Washington, DC, 10, 135.

182 Siehe zur grundsätzlichen Diskussion der Position des DOE im Kongress, insbesondere zum Vorwurf, die Programmleitung in Washington habe den JPL-Mitarbeitern nicht erlaubt, in der Anhörung vorzusprechen: U.S. Congress, 1978: *Solar Photovoltaic Energy Research, Development, and Demonstration Act of 1978. Hearings before the Subcommittee on Advanced Energy Technologies and Energy Conservation Research, Development, and Demonstration of the Committee on Science and Technology, U.S. House of Representatives, Ninety-fifth Congress. Second session*. Washington, DC, 110. Die wesentliche demonstrationskritische Publikation, die die DOE-Studien zusammenfasst, ist: Jeffrey L. Smith, William R. Gates und Tom Lee, 1978: *Historical Evidence of Importance to the Industrialization of Flat-Plate Silicon Photovoltaic Systems. LSA Task Report 5101-54, Vol. II*. DOE/JPL-1012-78/1. Pasadena, CA: Jet Propulsion Laboratory. In einer Anhörung um die Blockade der Kongresspläne im DOE lässt sich gut studieren, wie schlecht die Beziehungen zwischen den Institutionen seit 1975 geworden waren; siehe U.S. Congress, 1980: *Oversight on the Solar Photovoltaic Program. Hearings before the Subcommittee on Energy Development and Applications of the Committee on Science and Technology, U.S. House of Representatives, Ninety-eighth Congress. Second session*. Washington, DC.

183 Siehe etwa U.S. Congress, 1979: *The Structure of the Solar Energy Industry. Hearings before the Select Committee on Small Business, U.S. Senate, Ninety-sixth Congress. First session*. Washington,

Inwieweit interne politische Konflikte das Programm als Ganzes geschwächt haben, ist schwer exakt nachzuzeichnen. Was hingegen außer Frage steht, ist, dass die internen Konflikte eine zentrale Bedingung dafür waren, dass das Förderprogramm über die Jahre immer weniger fokussiert implementiert wurde. Im Gewirr aus regionalen, ideologischen, technologischen und wirtschaftlichen Ideen und Interessen und vor dem Hintergrund, dass man hier ausschließlich über unsichere zukünftige Entwicklungen und Potenziale stritt, blähte sich das Fördersystem in der Breite auf – mit negativen Folgen für seine Legitimität als Ganzes und für die Umsetzung seiner ursprünglichen Ziele. Ein sehr gutes Beispiel für diesen Prozess ist das Chaos, das um das Solar Energy Research Institute und seine regionalen Ableger entstand. Mit dem Aufbau des SERI in Golden hatte man vier weitere regionale Center gegründet, die für die regionale Kommerzialisierung der neuen Techniken sorgen sollten. Das SERI war vom Kongress 1975 unter anderem als implementationspolitischer Erfüllungsgehilfe des Kongresses gegen ERDA und DOE gedacht und sollte zur führenden Institution der 1977 und in der Folge erlassenen Kommerzialisierungsgesetze werden. Die Integration der DOE-Abteilungen, des SERI selbst, seiner regionalen Ableger, der bestehenden Förderlandschaft aus anderen Forschungsinstituten wie dem JPL, den unzähligen lokalen *Non-Profit*-Organisationen sowie Initiativen, lokalen Unternehmen und Energieversorgern zur Förderung regenerativer Energien ist nie geglückt. Im Gegenteil, über die Jahre entwickelte beinahe jede dieser Organisationen eigene Vorstellungen, wie sinnvolle Programme für Carters 20-Prozent-Ziel auszusehen hätten und mit welchen Forschungs-, Installations- und Fertigungsansätzen man ihm zuarbeiten könnte. In Anhörungen und Mediationsverhandlungen seit 1978 beschuldigte sich jede der Gruppen gegenseitig, das Fördersystem zu unterwandern – mit der Folge, dass sich nur noch mehr redundante Kapazitäten und widersprüchliche *lead plans* herausbildeten (siehe zu den teilweise anarchischen Zuständen im Kongress und im Fördersystem als Ganzem einsichtsreich: Kitschelt 1983: 290–296, 304–305).¹⁸⁴ Als das

DC; U.S. Congress, 1984: *The Current State and Future Prospects of the U.S. Photovoltaics Industry. Hearings before the Subcommittee on Energy Development and Applications of the Committee on Science and Technology. U.S. House of Representatives, Ninety-eighth Congress. Second session.* Washington, DC; US Federal Trade Commission, 1978: *The Solar Market. Proceedings of the Symposium on Competition in the Solar Energy Industry.* Washington, DC: FTC Bureau of Competition; US Small Business Administration, 1982: *Competition in the Photovoltaics Industry: A Question of Balance.* Washington, DC: Office of Economic Research of the Office of Advocacy of the United States Small Business Administration.

- 184 U.S. Congress, 1979: *Oversight. Solar Energy Research Institute and Regional Centers. Hearings before the Subcommittee on Energy Development and Applications. Committee on Science and Technology. U.S. House of Representatives, Ninety-sixth Congress. First session.* Washington, DC; US General Accounting Office, 1980: *Solar Energy Research Institute and Regional Solar Energy Cen-*

SERI Mitte des Jahres 1980 gewissermaßen einen sektoralen Ordnungsversuch initiierte und Unterstützungsmotivationen für die regenerativen Energien untersuchte, brauchte man 49 Kategorien für die Einordnung der Unterstützungsgründe in Politik und Wirtschaft und 78 für die zivilgesellschaftlicher Akteure; diese reichten von Exportchancen über die nationale Sicherheit bis zur individuellen Selbstbestimmung.¹⁸⁵

Wie allgemein an den Beispielen der etlichen amerikanischen Programme zur Förderung regenerativer Energien der 1970er-Jahre – viele sind noch viel deutlicher gescheitert als das für die Photovoltaik – lassen sich an Aufstieg und Krise des Photovoltaikprogramms einige institutionelle Eigenheiten des amerikanischen politischen Systems studieren. Wie insbesondere Kitschelt (1983: 308) zeigt, führte die relative Offenheit des amerikanischen politischen Prozesses für heterogene Interessen zu schnellen und vielzähligen politischen Vorstößen und Initiativen. Sie ließ eben diese Initiativen aber genauso schnell in der Implementation unbeweglich, ineffektiv und damit politisch bestandsgefährdet werden. Darüber hinaus kann das Schicksal der Programme vor allem einen Prozess illustrieren: Die Entwicklung der amerikanischen Förderprogramme zeigt über die Jahre, wie in mehreren Hinsichten der Beginn der Förderung die Interessen auseinandertrieb, die ihrer ursprünglichen Gestaltung zugrunde gelegen haben, was die Programme – zumindest im Vergleich zum Geist ihrer Gründung – auf Pfade führte, die auch bei einem hypothetischen Ausbleiben des Reagan-Schocks und der Ölschwemme der 1980er-Jahre alles andere als nachhaltig wirkten. Es ist müßig, zu fragen, ob denn in den 1980er-Jahren tatsächlich die technischen Entwicklungen möglich gewesen wären, die die Pläne aus Cherry Hill 1973, des Kongresses 1977 und der Regierung 1979 verwirklicht hätten. Sozialwissenschaftlich wesentlich interessanter ist die Tatsache, dass *die Industrie nie so weit gekommen ist, dies herauszufinden, obwohl genau das das geteilte Ziel beim Aufbau des Projekts und oft auch während dessen Existenz gewesen ist.*

Die amerikanische Euphorie um die regenerativen Energien im Allgemeinen und die Photovoltaik im Besonderen hinterließ ein breites Reservoir an technischen, wissenschaftlichen, institutionellen und industriellen Ressourcen für die Unterstützung der Techniken in den nächsten Jahrzehnten. Das SERI etwa wurde noch unter George H. Bush zu einem National Laboratory ernannt und entwickelte sich in der Folge als National Renewable Energy Laboratory (NREL) zu einer der weltweit für die Photovoltaik einflussreichsten technologiepolitischen

ters: Impediments to Their Effective Use. Report to the Chairman and Ranking Minority Member of the Senate Committee on Governmental Affairs. Washington, DC.

185 Siehe Solar Energy Research Institute, 1980: *Social Values and Solar Energy Policy: The Policy Maker and the Advocate*. Golden, CO.

Institutionen. Die Programme der 1970er-Jahre führten zum ersten Mal die Möglichkeit neuer Unterstützungskoalitionen aus gesellschafts-, sicherheits-, technologie-, umwelt-, regional-, industrie- und wirtschaftspolitischen Interessen um die regenerativen Energien vor, die mit viel Varianz hinsichtlich der jeweiligen Technologien und Zeitspannen in den folgenden Jahrzehnten immer wieder als Unterstützungsmodell in verschiedenen Ländern dienten. Viele der in den JPL-Programmen entwickelten Technologien, hauptsächlich in der Bearbeitung von Siliziumblöcken und der Integration von Zellen in Module, sind bis in die Gegenwart Grundlagen des Stands der Technik. Auch wurden – auf verschlungenen Wegen – die um das LSSA-Programm entwickelten Visionen der Technologieförderung durch staatlich forciertes *industrial upscaling* in der zweiten Hälfte der 1990er-Jahre auf ein Neues enorm einflussreich. Trotzdem hatten im amerikanischen Förderkomplex selbst die Implementationsprobleme den ursprünglichen Industrialisierungsansatz (und erst recht die *Demand-pull*-Programme) zutiefst diskreditiert. Als Henry Brandhorst 1984 die letzten zehn Jahre enttäuschter Hoffnungen und die letzten drei Jahre Programmterminierung reflektierte, meinte er – mit reichlich *Post-hoc*-Rationalisierung – die »magic of the market place« hätte die mittlerweile stark dezimierte Industrie »stronger and more vital« werden lassen und die Forschungsverwaltung wieder einmal gelehrt: »[F]irst you make a device efficient, then stable (if necessary), then low cost.«¹⁸⁶ Von der auf gewisse Weise bescheidenen technokratischen Vision von Cherry Hill, es andersherum anzugehen, die Technik im öffentlich koordinierten Industrialisierungsprozess inkrementell weiterzuentwickeln, wollte Brandhorst nichts mehr wissen.

In den eigenartigen Zusammenhängen zwischen großen Erwartungen, Forschungsförderung und Investitionsklemme, zwischen der Industrialisierungseuphorie um die kristalline Siliziumphotovoltaik und dem Aufschwung neuer Grundlagenforschung und dem Aufkommen von Zielkonflikten, *nachdem* man sich mit dem gemeinsamen Ziel der staatlichen Förderung der Photovoltaik für die Energieversorgung bedingt nach außen durchgesetzt hatte, zeigt sich ein – von den oben beschriebenen Theorien des *policy feedback* aus betrachtet – paradoxes Verlaufsmuster. Die Integration heterogener Interessen zur Durchsetzung des gemeinsamen Projekts wurde zum Teil von der Existenz genau dieses Projekts unterwandert, was wiederum dessen tatsächliche Durchführung behinderte und es schließlich als Ganzes in Legitimationsprobleme brachte. Peter Karnøe hat für die amerikanische Windindustrie gezeigt, wie die vereinzelt Jagd nach *breakthroughs* einerseits zu weitläufiger Redundanz in Fördermitteln und Entwicklungsanstrengungen geführt hat. Andererseits ist ein hinreichend stabiles

186 Henry W. Brandhorst, 1984: *Photovoltaics – The Endless Spring*. Kissimmee, Florida: Seventeenth Photovoltaic Specialists Conference, 1.–4. Mai, 1, 3.

soziales Gefüge zum Kompetenzaufbau um die Windindustrie und damit eine Grundlage für inkrementelle Lernprozesse in den USA nie wirklich entstanden, bevor die Technologie in anderen Ländern und Zusammenhängen schrittweise entwickelt wurde (exemplarisch: Garud/Karnøe 2003). Karnøe führt diesen Pfad vor allem auf amerikanische Ingenieurstraditionen um die Obsession mit radikalen Innovationen und einen gewissen kulturell bedingten Glauben an lineare Innovationsprozesse zurück – gewissermaßen auf kulturelle Residuen jener Erfinderunternehmenszene, die die USA im 19. Jahrhundert auszeichnete. Wie hier gezeigt, mangelte es – mit einigen Abstrichen insbesondere in der ERDA – in den Frühphasen der Programme keinesfalls am Verständnis für die Problematik der Entwicklungsprobleme der Industrie. Und auch die anfängliche Mobilisierung für das gemeinsame Ziel verlief angesichts der Euphorie nach Cherry Hill relativ problemlos. Vielmehr waren es mehrschichtige Fragmentierungsprozesse in der Implementation des Programms, die es über die Jahre zunehmend zerfaserten, unbeweglich und ineffektiv werden ließen.

In der amerikanischen Episode findet man eine Eigenheit der Entwicklungsgeschichte der Photovoltaik, die im Hinblick auf die oben vorgestellten Theorien des *policy feedback* interessant ist. Die Probleme des amerikanischen Förderprogramms entstanden in Bereichen, den diese Theorien überhaupt nicht berücksichtigen, nämlich an kritischen Stellen *zwischen* der Mobilisierung, geteilten Zielen, der Institutionalisierung und dem tatsächlichen Aufbau der Industrie. Ein halbwegs robustes sozioökonomisches Gefüge zur Industrialisierung der Technik ist nie entstanden, obwohl dies unbestreitbar im wahrgenommenen und kommunizierten Interesse der Akteure lag. Ein Grund dafür war, dass individuelle und kollektive Rationalität mit Beginn der Programme immer mehr in Konflikt gerieten. Insbesondere das sich ausbreitende praktische Desinteresse weiter Teile der Industrie, sich in der inkrementellen Weiterentwicklung der kristallinen Siliziumphotovoltaik zu engagieren, ist eine aus Sicht der Firmen durchaus zweckrational zu rekonstruierende Strategie im Hinblick auf deren jeweilige zukünftige Marktchancen (mit einem verwandten Argument: Spence 1981: 66–68). Investitionen in Fertigungslinien, die lediglich Zwischenstationen auf dem Weg zur für 1986 angepeilten Profitabilität der Industrie als Ganzes darstellen sollten, versprachen ihnen absolute Verluste einerseits und keine relativen Vorteile andererseits. Insoweit die Firmen aber alle entweder in proprietäre neue Verfahren und Zelltechniken oder in den vorsichtigen Ausbau ihrer arbeitsintensiven Siliziumzelllinien und ihrer Vertriebsnetze investierten, war das gemeinsame Ziel des Durchbruchs in die Volumenproduktion und Energieversorgung schon Anfang der 1980er-Jahre illusorisch. Offensichtlich, mehr will

ich hier nicht behaupten, setzt industrielle Entwicklung »unter Ungenossen« (Weber [1922]1980: 385) etwas mehr voraus, als dass sie ein geteiltes Interesse an der Stabilisierung ihrer Industrie haben und der Staat ihnen finanziell hilft, das zu tun, was sie tun wollen.

Kapitel 5

Koordinierte Industrialisierung in den 1990er-Jahren

In einem entwicklungsökonomischen Aufsatz hat Albert Hirschman auf die recht verbreitete Asymmetrie hingewiesen, mit der Handlungserfolge rationalem Handeln und gezielter Kooperation zugeschrieben werden, bei der Erklärung von Fehlschlägen aber nach Bedingungen gesucht wird, die verhindert haben, dass die jeweiligen Akteure getan haben, was sie tun wollten, oder taten, was sie getan haben sollten: »[W]e fall into error, but do not usually speak of falling into truth« (Hirschman 1967: 13). Hirschman bespricht eine Reihe von Entwicklungsprojekten, deren gemeinsamer Zug zu sein scheint, dass sie letztlich nur angegangen wurden, weil man ihre Kosten fahrlässig und massiv unterschätzt hatte. In der Photovoltaikindustrie der 1990er-Jahre spielte sich ein daran erinnerndes Prozessmuster ab – nur auf kollektiver statt auf individueller Ebene. Zuerst in den USA, dann in Japan und zuletzt in Deutschland entstanden in den 1990er-Jahren erneute sektorpolitische Initiativen, die heimische Industrie für den internationalen Wettbewerb um den Produktionsstandort der Technologie in den nächsten Jahrzehnten vorzubereiten. Mit etwas Varianz in der konkreten Ausgestaltung bestanden diese Initiativen in allen drei Ländern aus öffentlich angeleiteten, auf die Hochskalierung der Fertigung ausgerichteten Entwicklungsverbänden, die Akteure entlang der gesamten Wertschöpfungskette zur Zusammenarbeit zu bewegen versuchten. Im Unterschied zu den Programmen nach Cherry Hill waren diese Gefüge zumindest bis in die frühen 2000er-Jahre bemerkenswert robust und überraschend erfolgreich darin, Verwaltung, Investoren und der Politik vorzuführen, was in der Herstellung von Photovoltaikanlagen produktionstechnisch möglich war, wenn sie systematisch industrialisiert werden. Interessant ist nun – deswegen der Verweis auf Hirschmans Beobachtung –, dass diese koordinierten und fokussierten Entwicklungen, vor allem in Deutschland und den USA, nur in Teilen durch vorausschauende Planung entstanden. Vielmehr waren sie die Folge eines Gemischs aus industriellen Verfallssorgen, relativ geschwächten Firmen und der internationalen Staatenkonkurrenz.

Verwandte Prozesse spielten sich auf der Ebene politisch-ökonomischer Strukturen ab – vor allem in Deutschland. In der Verbandsorganisation, in politischen Zusammenhängen und in den Beziehungen zwischen Privatwirtschaft,

Forschungsverwaltung und Politik entstanden über die 1990er-Jahre im Wechselspiel zwischen Umweltbewegungen und industrieller Entwicklung beachtlich robuste Koalitionen für die politische Förderung regenerativer Energien zwischen zumindest potenziell widerstreitenden Interessen. Im Effekt existierten in den späten 1990er- und frühen 2000er-Jahren recht breite gesellschaftliche Koalitionen zur Förderung regenerativer Energien im Allgemeinen und der Photovoltaik im Besonderen. Sie wurden zur Grundlage mehrerer industrie- und energiepolitischer öffentlicher Programme zur Nachfrageförderung – anfangs vor allem in der Form von staatlich vermittelten Investitionszulagen für die Installation von Anlagen auf Wohnhäusern, später in der Form gesetzlich garantierter Förderung für unabhängig eingespeisten Strom. Mit einiger Verzögerung entstand eine enorme Dynamik im Kapazitätsaufbau in der Fertigung von Solarzellen und -modulen, nicht nur in Deutschland, sondern weltweit. Im Unterschied zu vorherigen Episoden staatlicher Förderung verdichtete sich um die Industrie während der 1990er- und 2000er-Jahre genau das, was im amerikanischen Fördersystem an der Fragmentierung scheiterte: ein halbwegs robuster politisch-ökonomischer Entwicklungskomplex um die Technologie. In der zweiten Hälfte der 2000er-Jahre war aus der manufakturähnlichen und im Kleinmaßstab experimentierenden Branche eine prosperierende technologieorientierte globale Industrie geworden. Ihre Entstehung im Wechselspiel mit politischen Auseinandersetzungen um die weitere Förderung der Technologie wird hier nachgezeichnet.

5.1 Klima-Katastrophe, Tschernobyl und die Wiederentdeckung der ökologischen Technologiepolitik

Während der energiepolitische Druck auf OECD-Regierungen unter der Bedingung wieder fallender Rohstoffpreise in der zweiten Hälfte der 1980er-Jahre abnahm, verschärfen sich umweltpolitische Konflikte um die Energieversorgung entwickelter Gesellschaften. Die gesellschaftlichen Nachwirkungen der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl und der inkrementellen Politisierung des menschlichen Einflusses auf das Weltklima seit 1986 brachten nichts wirklich qualitativ Neues in die Auseinandersetzungen um die Unterstützung regenerativer Energietechniken. Sie ließen Forderungen nach einem ökologischen Umbau industrieller Energieversorgungssysteme allerdings wesentlich mehrheitsfähiger und drängender werden. Tschernobyl und die Klima-Katastrophe kamen ungefähr gleichzeitig im öffentlichen Bewusstsein an. Am 29. April 1986 begann in Westeuropa die Berichterstattung zum Reaktorunfall in Tschernobyl, gefolgt

von der Panik vor der radioaktiven Wolke, radioaktiv belasteten Niederschlägen, Lebensmitteln und Spielplätzen in großen Teilen des europäischen Kontinents (Arndt 2012: Kap. 4; Renn 1990). Im August 1986 veröffentlichte der Spiegel sein mittlerweile legendäres Titelbild des Kölner Doms unter Wasser und leitete damit unter dem Begriff der Klima-Katastrophe in Deutschland die bis in die Gegenwart nur schwer historiografisch auseinanderzuflechtende soziale Dynamik zwischen der medialen, öffentlichen, politischen und wissenschaftlichen Beschäftigung mit dem Einfluss des Menschen auf die Ozonschicht und das Weltklima und dessen Folgen ein (anstelle vieler: Weingart/Engels/Pansegrau 2008).

Tschernobyl stärkte in Deutschland mehrere seit den 1970er-Jahren einflussreiche umwelt- und energiepolitische Bewegungen. Der Spiegel veröffentlichte im Mai 1986 eine Umfrage, der zufolge 69 Prozent der Bevölkerung den Bau neuer Kernkraftwerke ablehnten und 54 Prozent die bestehenden Kraftwerke nach einer »Übergangszeit« stilllegen wollten.¹ Bis in den August 1986 waren es schon 81 Prozent, die sich gegen neue Anlagen aussprachen. Es waren die gesellschaftlichen Nachwirkungen von Tschernobyl, die die Redewendung von der »Übergangs-« oder »Brückentechnik« für die Kernenergie populär machten. Eine Ausgabe später konnte der Spiegel schon Politiker aller Bundesparteien zitieren, die den teils impliziten, teils expliziten Konsens um die Kernkraft öffentlich infrage stellten. Der zukünftige SPD-Kanzlerkandidat und damalige Ministerpräsident in Nordrhein-Westfalen Johannes Rau warnte, die Gefahren seien »auf die Dauer zu groß«, woraufhin Kurt Biedenkopf gegen die Parteilinie der CDU einzuschwenken schien. Innerhalb der SPD wurden öffentlichkeitswirksam Forderungen zum Ausstieg aus den Demonstrationskraftwerken in Hamm und Kalkar lauter.² Im August beschloss ein SPD-Parteitag den Ausstieg aus der Kernenergie innerhalb von zehn Jahren (Altenburg 2012: 260). Heiner Geißler befürwortete plötzlich die »Suche nach Alternativen«. Und Joschka Fischer kündigte eine Verfassungsklage gegen den Einsatz der Kernkraft an sich an.³ Bis 1988 sprachen auch konservative Politiker öffentlich davon, dass die Kernenergie eine »vorübergehende Energieart« sei, »die so bald wie möglich durch andere,

1 Siehe: Neue Mehrheit für den Ausstieg. In: *Der Spiegel* 20, 1986, 28–32.

2 Die Debatte um den Hochtemperaturreaktor in Hamm war insofern sehr brisant, als er die Grundlage der seit den 1970er-Jahren insbesondere in der SPD bestehenden Hoffnungen war, mit seiner Hilfe in die kommerzielle Kohleverflüssigung einzusteigen und damit der Ruhrkohle neues Leben einzuhauchen. Siehe die aufschlussreiche Debatte im nordrhein-westfälischen Landtag und in den relevanten Ausschüssen zu einem SPD-Antrag zum stufenweisen Ausstieg aus der Kernenergie: Landtag Nordrhein-Westfalen, 1986: *Umsteuerung in der Energiepolitik – Zukunft von SNR 300 und THTR 300*. Antrag der SPD Fraktion. 10/1115. Düsseldorf: Landtag Nordrhein-Westfalen.

3 Siehe die Positionssammlungen in: Angst vor dem politischen Super-Gau. In: *Der Spiegel* 32, 1986, 50–73; Atomenergie – Einstieg in den Ausstieg? In: *Der Spiegel* 21, 1986, 18–29.

erneuerbare Energiequellen abgelöst werden muss.«⁴ Noch im Juni 1986 setzte die Bundesregierung Walter Wallmann als ersten Minister des hastig eingerichteten Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit ein, der in der aufgeheizten Stimmung noch vor seiner Vereidigung von der Opposition – angesichts der personellen Besetzung des BMU nicht ganz zu Unrecht – als im Grunde korrumpiert diskreditiert wurde.⁵ Es war keinesfalls so, dass Tschernobyl in Deutschland eine prosperierende Branche traf, was auch erklärt, warum viele Politiker ohne viel Zögern ankündigen konnten, sich in Zukunft gegen den Bau neuer Kraftwerke einzusetzen. Die kurze Euphorie war dem politisch-ökonomischen Komplex um die Kernenergie schon in den Bürgerprotesten, erzwungenen Bauverzögerungen und Schutzauflagen sowie einer Reihe von sektoralen *Governance*-Problemen seit der zweiten Hälfte der 1970er-Jahre genommen worden (detailliert: Campbell 1991; Radkau 1983: Kap. IV, 3). Dennoch setzte die Katastrophe die Politik in einem Maß unter Druck, dass der Industrie in der Folge vollends der Wille zum Bau neuer Anlagen genommen wurde. Seit 1982 begann sie in Deutschland kein neues Bauunternehmen mehr (Altenburg 2012: 260). Im Jahr 1989 wurde der Bau der über beinahe ein Jahrzehnt von der Regierung Strauß verteidigten Wiederaufbereitungsanlage in Wackersdorf eingestellt. Der Brutreaktor in Kalkar – die kleine Variante der Vision der unerschöpflichen Kernkraft – ging nie in den kommerziellen Betrieb und wurde Anfang 1991 endgültig für abgeschlossen erklärt.

Die Auseinandersetzung mit dem anthropogenen Klimawandel hatte dagegen keine spezielle Katastrophe zum Anlass, sie gelangte inkrementell in politische Debatten. Die Frage, zu welchem Zeitpunkt die naturwissenschaftliche Überzeugung aufgekommen ist, dass menschliche Aktivitäten, vor allem zunehmende Gasausscheidungen und die Abholzung und Rodung von Wäldern Auswirkungen auf die Beschaffenheit der Erdatmosphäre und damit auf das Weltklima und menschliche Lebensbedingungen haben, schwanken in der historischen und sozialwissenschaftlichen Literatur zwischen den 1930er-Jahren (Mariussen 2010: 336) und der Mitte der 1970er-Jahre (Weingart/Engels/Pansegrau 2008: 47–49).⁶ Ein durchweg bestehendes Problem der Forschung zum

4 Siehe Späth: Kernkraft nur Übergangsenergie. In: *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 10. Juni 1988, 4. Spätere öffentliche Stellungnahmen aller relevanten Bundesparteien sind versammelt in: Politiker nehmen Stellung zur Energiefrage. In: *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 3. Oktober 1989, B4–B6.

5 Deutscher Bundestag, 1986: *Plenarprotokoll 10/220*. Bonn, 17037.

6 In der Nixon-Administration kursierte schon 1969 ein Memorandum, das die Gefahren und Mechanismen des anthropogenen Klimawandels aufbauend auf einer Studie von 1965 mit beeindruckender Treffgenauigkeit beschrieb. Es enthielt eine treffende Voraussage zum Politisierungspotenzial des Phänomens; der Klimawandel könne »seize the imagination of persons normally indifferent to projects of apocalyptic change«, scherzte Moynihan. Siehe Daniel P.

anthropogenen Klimawandel – das erklärt die lange anhaltende Unsicherheit über menschlich verursachte Klimaänderungen in der Wissenschaft – war es, im Verständnis des enorm komplexen und dynamischen Systems globaler klimatischer Bedingungen menschliche von natürlichen Einflüssen und zyklische von säkularen Änderungen zu unterscheiden. Dennoch gaben sich mehrere Klimaforscher schon in den 1970er-Jahren relativ sicher, dass der *carbon cycle* zwischen Pflanzen, Meeren, Tieren, der Feststoffumwelt und der Erdatmosphäre durch Industriegesellschaften aus dem Gleichgewicht gebracht werden könne (ebd.: 47–49). In der deutschen Debatte gab vor allem eine Pressemitteilung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft 1986 und ihr Aufgriff in den Massenmedien den Ausschlag, dass vorher durchweg verhaltene Versuche, das Thema der Klimaveränderung in die politische Auseinandersetzung zu führen, Erfolg hatten (ebd.: 64–67). Weingart et al. nennen die Phase politischer und medialer Klimadebatten zwischen 1986 und 1992 treffend »Katastrophismus«. Der Bericht des Spiegels zur Klima-Katastrophe begann mit einer Art Dystopie über den »Sommer 2040« und resümierte:

Daß der im Grunde wohltätige Treibhauseffekt, der irdisches Leben überhaupt erst möglich macht, vielleicht schon bald zur Plage wird, ist der Tatkraft des Homo sapiens zuzuschreiben. Seit mehr als 150 Jahren stinken die Industriegesellschaften zum Himmel. Rund 180 Milliarden Tonnen CO₂ wurden seit anno 1800 beim Verheizen fossiler Brennstoffe in die Luft gepustet; bis hinauf in die Stratosphäre herrscht inzwischen dicke Luft.⁷

Ozonloch und Klima-Katastrophe wurden in den Debatten der 1980er-Jahre häufig noch in einem Zug problematisiert. Ersteres sollte sich als kollektiv wesentlich reibungsloser zu bearbeitendes Problem erweisen und ein Modell für besonnene transnationale politische Reaktionen auf globale Umweltgefahren werden (Bernauer 2013: 421; Radkau 2011: 546–547). Im Jahr 1985, nach ungefähr zehnjährigen regional verteilten Konflikten zwischen warnenden Wissenschaftlern, Umweltschützern, Politikern und allen voran der Chemieindustrie, verabschiedeten zwanzig Staaten in Wien eine nicht bindende Vereinbarung zur abgestimmten Erforschung der Effekte und zur Eindämmung des Fluorchlorkohlenwasserstoffausstoßes. Zwei Jahre später beschlossen 29 Regierungen in einem überraschend weitreichenden Abkommen, die Produktion und Verarbeitung der Stoffe schrittweise zu reduzieren und den internationalen Handel mit ihnen sowie mit auf ihrer Basis hergestellten Gütern zu beschränken (zur Geschichte des Abkommens: Parson 1992: 9–14).

Moynihan, 1969: *Memorandum to John Ehrlichman*, 17. September. Washington, DC. Siehe zum Aufgriff des anthropogenen Klimawandels im Kontext der Energiedebatten in den USA der 1970er-Jahre auch: Denis Hayes, 1977: *Energy: The Solar Prospect*. World Watch Paper 11, 6.

⁷ Das Weltklima gerät aus den Fugen. In: *Der Spiegel* 33, 1986, 122–134, 124.

Im Fall der globalen Erwärmung dauerte es mehrere Jahre, bis Versuche zu derartigen weltweiten Initiativen unternommen wurden. Ihre Politisierung geschah langsam und auf mehreren politischen Ebenen von transnationalen Institutionen und Gemeinschaften bis hin zu Kommunen, Gemeindeinitiativen und multinationalen Konzernen. Ab 1986 entstand ein unüberblickbares Feld verschiedenster Ansätze, auf die Gefahr der globalen Erwärmung zu reagieren. Im August 1987 veröffentlichte die 1983 eingesetzte World Commission on Environment and Development, die zumeist sogenannte Brundtland Commission, ihren Abschlussbericht zur globalen Umweltfrage. Im Bericht der Kommission tauchte jene Tendenz wieder auf, Umweltschäden nicht als gesonderte lokale Probleme zu behandeln, sondern sie als Teil einer umfassenden Krise der modernen Weltgesellschaft zu begreifen, die in den 1970er-Jahren, etwa in der Debatte zu den Publikationen des Club of Rome, sehr verbreitet war:

Until recently, the planet was a large world in which human activities and their effects were neatly compartmentalized within nations, within sectors [...], and within broad areas of concern [...]. These compartments have begun to dissolve. This applies in particular to the various global »crises« that have seized public concern [...]. These are not separate crises: an environmental crisis, a development crisis, an energy crisis. They are all one.⁸

Noch stärker als in den Überbevölkerungs- und Wachstumsdiskursen der 1960er- und 1970er-Jahre rückte der Bericht die Angst in den Vordergrund, was mit der globalen Umwelt geschehen könnte, sollten Entwicklungsländer jene Industrialisierungsprozesse nachholen, die der globale Nordwesten hinter sich hatte: »To bring developing countries' energy use up to industrialized country levels by the year 2025 would require increasing present global energy use by a factor of five. The planetary ecosystem could not stand this, especially if the increases were based on non-renewable fossil fuels.«⁹ Der Bericht erkannte die Gefahr der globalen Erwärmung als gegebene Tatsache an, wenn auch in weniger drastischer Sprache als der Spiegel. Er warnte erstens davor, dass im Fall eines tatsächlichen Anstiegs des Meeresspiegels um die prognostizierten Werte »many countries could expect their economic, social, and political structures to be severely disrupted«, auch wenn – und damit sprach die Kommission ein wesentliches Problem zukünftiger transnationaler Kooperation in der Klimapolitik aus: »There is no way to prove that any of this will happen until it actually occurs.«¹⁰ Zweitens deutete der Bericht die folgende Entwicklung in der politischen Problematisierung der Energieversorgung an. Obwohl die Kommission unter dem

8 United Nations, World Commission on Environment and Development, 1987: *Our Common Future*. New York: United Nations, 20.

9 Ebd.: 30.

10 Ebd.: 176–177.

Eindruck wieder gefallener Rohstoffpreise tagte und eben die Vorratsprognosen für fossile Rohstoffe der 1970er-Jahre wiederholte, die Ölförderung sollte bald global ihren Höhepunkt überschreiten, Erdgas sei ausreichend für 200 Jahre vorhanden und die Kohlevorräte sollten für bis zu 3.000 Jahre genügen, warnte sie: »With the exception of CO₂, air pollutants can be removed from fossil fuel combustion processes [...]. However, the risks of global warming make heavy future reliance upon fossil fuels problematic.«¹¹ Mit der Entdeckung der globalen Erwärmung waren auch Kohleverstromung und -verflüssigung potenziell delegitimiert und die regenerativen Energien, die die Kommission unter der Überschrift »The Untapped Potential« diskutierte, verblieben als einzig unbestritten problemfreie Alternative. Durchaus auch in der Umweltschutzszenen favorisierte Energieversorgungsvarianten, etwa unter Überschriften wie »Selbstversorgung durch Kohle und Sonne«,¹² mussten im Licht der Klima-Katastrophe überdacht werden. Nicht nur das: Die Brundlandt Commission rief sämtliche schon früher debattierten Vorteile regenerativer Energietechnologien wach, die nichts mit dem Umweltschutz zu tun hatten, ihre Arbeitsintensität unter Bedingungen globaler Unterbeschäftigung, die Modularität der mit ihnen möglichen Erzeugungsstrukturen, die mit ihnen mögliche Unabhängigkeit von internationalen politischen und Marktverwerfungen sowie ihre generell ausreichende inländische Verfügbarkeit.¹³

Die Weltklimapolitik bleibt bis in die Gegenwart ein eigenständiges Politikfeld. Die meisten OECD-Staaten erließen trotz weitgehend scheiternder transnationaler Initiativen über die 1990er-Jahre Reduktionsziele für den Ausstoß klimaschädlicher Gase und der Schutz des Weltklimas entwickelte sich zu einem durchweg wichtigen Argument in energiepolitischen Debatten und energiepolitischen Programmen.¹⁴ Das Reißen selbst gesetzter Reduktionsziele brachte jedoch keine Regierung zu keiner Zeit in ernsthafte Legitimationsprobleme. Es war vielmehr das wahrgenommene Scheitern transnationaler und nationaler Initiativen zur Eindämmung des Klimawandels, das seit den 1990er-Jahren konsequenzenreich für die ökologische Energiepolitik wurde. Über die 1990er-Jahre richteten zahlreiche Gemeinden, Städte und Länder – ganz im Stil der

11 Ebd.

12 Siehe etwa Florentin Krause, Hartmut Bossel und Karl-Friedrich Müller-Reißmann, 1980: *Energie-Wende. Wachstum und Wohlstand ohne Öl und Uran. Ein Alternativ-Bericht des Öko-Instituts, Freiburg*. Frankfurt a.M.: Fischer, 37–42, 163–165.

13 United Nations, World Commission on Environment and Development, 1987: *Our Common Future*. New York: United Nations, 194–195.

14 Die Bundesrepublik ist in dieser Beziehung insofern ein Sonderfall unter westlichen Staaten, als es ihr zu Beginn der 1990er-Jahre gelang, dass ihre Ausscheidungssenkungen am Vergleichsjahr 1990 gemessen wurden, womit die Deindustrialisierung Ostdeutschlands in die Erfüllung von Klimaschutzabkommen hineinwirkte (vgl. Rüdiger 2003: 253).

frühen Umweltbewegung – je eigene Programme zur Vermeidung des Anstiegs des Weltklimas ein (siehe überblicksweise Brauch 1996: Kap. 19–24). Der Weltklimaschutz zersplitterte geografisch und wurde vornehmlich durch unzählige regionale Vorstöße betrieben. Darüber hinaus trieb die empfundene Handlungsunfähigkeit der internationalen Staatengemeinschaft Aktivisten und Umweltpolitiker vermehrt zu der Vision, klimaschädliche Energieversorgungssysteme über die nationale Förderung neuer Technologien mit der Aussicht auf Substitutionsprozesse »auszuhebeln«, statt über den Einsatz für transnationale Bekenntnisse zur Selbstbeschränkung einzudämmen, ein Prozess, der der früheren Hinwendung der amerikanischen politischen Ökonomie zur Technologiepolitik gleicht.

In der Technologiepolitik für regenerative Energien führte die neue Legitimationskrise industrieller Energieversorgungsstrukturen kurzzeitig zu einigem Aktivismus, wiederum viel mehr in der Forschungs- als in der Energiepolitik. Das Fraunhofer ISE konnte nach der Reaktorkatastrophe mehrere, schon lange beantragte und nicht bewilligte Projekte durchführen und sich für einige Jahre aus seiner schlechten finanziellen Situation und dem Problem befreien, den von der Fraunhofer-Gesellschaft eingeforderten Anteil an privaten Drittmitteln nicht einwerben zu können (Mener 1999: 128, 130; Trischler/vom Bruch 1999: 360). In der Förderung der Windkraft überschritt das Forschungsministerium zwischen 1986 und 1988 mehrere technologiepolitische Tabus. Ende 1987 ging mit dem zu drei Vierteln staatlich finanzierten Windpark Westküste, einem Demonstrationsprojekt zur Systemintegration der Windenergie, der erste kommerzielle Windpark Deutschlands ans Stromnetz. 1988 erließ das BMFT ein Demonstrationsprogramm, mit dem bis 1995 wahlweise Investitionszulagen oder Einspeisebeihilfen für Windanlagen mit insgesamt 100 MW Leistung bereitgestellt wurden (Neukirch 2010: 177–178). Zusätzlich legten seit 1987 eine Reihe von Bundesländern eigene Förderprogramme auf. 1987 begann Niedersachsen Investitionskostenzuschüsse zu gewähren, gefolgt von Nordrhein-Westfalen 1988 und von Schleswig-Holstein 1989 (Suck 2008: 103). Zumindest das Programm des Forschungsministeriums hatte ausdrücklich industriepolitische Ziele. Die Förderung, berichtet Neukirch (2010: 178), war über ein Zertifizierungssystem auf inländische Hersteller beschränkt und die jeweiligen Anlagen mussten Potenzial zur Serienfertigung zeigen. Die überlagerte Förderung über Länder- und Bundesmittel führte zu einem überraschenden Anstieg von Installationen in den drei Ländern, die bis 1989 für 97 Prozent der aus Bundesmitteln geförderten Leistung von ungefähr 23 MW verantwortlich waren. Im Jahr 1989 erweiterte das BMFT das Programm auf 200 MW und 1991 auf 250 MW.¹⁵

15 Interessant ist an den frühen deutschen Windkraftprogrammen vor allem, wie das Forschungsministerium hier ein Förderprogramm von Installationen finanzieren und erweitern konnte,

Darüber hinaus hatte sich im Dezember 1990 eine ungewöhnliche Koalition aus Parlamentariern verschiedener Parteien mit der wahrscheinlich meistunterschätzten Fördermaßnahme für regenerative Energien der 1990er-Jahre durchgesetzt. Was im Dezember 1990 als *Stromeinspeisungsgesetz* verabschiedet werden sollte, war ein fundamentaler Bruch mit der Praxis politischer Regelung in der deutschen Elektrizitätswirtschaft. Das Stromeinspeisungsgesetz ersetzte Verbändevereinbarungen über die Vergütungskonditionen unabhängig eingespeisten Stroms aus allen gebräuchlichen regenerativen Stromquellen außer der Geothermie und der Kraft-Wärme-Kopplung mit der gesetzlichen Vorgabe, dass Energieversorger den in ihrem Versorgungsgebiet produzierten Strom abnehmen mussten und ihn mit 65 bis 90 Prozent ihres durchschnittlichen Endkundenpreises zu vergüten hatten. Die Entstehungsgeschichte des Stromeinspeisungsgesetzes reicht bis in die Mitte der 1980er-Jahre. Die Politik des Verbands der Elektrizitätswirtschaft gegenüber unabhängigen Erzeugern stand aus mehreren Richtungen in der Kritik. Die Fraktion der Grünen führte noch vor Tschernobyl und der Klima-Katastrophe eine Vielzahl der Dinge, gegen die sie gesellschafts- und umweltpolitisch vorging, auf die Residuen des verbundwirtschaftlichen Systems und die Unternehmenskonzentration und -verflechtung in der Energiewirtschaft zurück. Neben Dumping gegen die private Eigenerzeugung, Diskriminierung beim Zugang zum Verbundnetz und im internationalen Vergleich ruinösen Vergütungen für unabhängig eingespeiste Elektrizität warf sie der Energiewirtschaft vor, »ein Machtmonopol« errichtet zu haben, »das sich einer realen öffentlichen Kontrolle entzieht und alle Reformprojekte bisher zum Scheitern verurteilte«. Die Grünen-Parlamentarier forderten unter anderem eine Rekommunalisierung der Erzeugungsstrukturen, die politische Entflechtung von Aufsichtskompetenzen und Beteiligungen, die eigentumsrechtliche vertikale Entflechtung der Branche selbst und genau jene an Endkundenpreise gekoppelte gesetzlich vorgeschriebene Vergütung, die seit 1991 gelten sollte.¹⁶ Ähnliche Forderungen nach einer gesetzlichen Regelung der Einspeisevergütungen und des Netzzugangs verbreiteten sich in der zweiten Hälfte der 1980er-Jahre in Kommunen, in den Ländern und in der europäischen Politik.¹⁷ Neben parlamentarischen Initiativen

ohne dass ihm ordnungsökonomische Einwände und Kompetenzansprüche des Wirtschaftsministeriums in die Quere kamen. Zwar besaß das BMFT noch bis 1998 den Kompetenzschwerpunkt der Technologiepolitik, es wurde jedoch in den 1970er- und 1980er-Jahren nicht selten ausgebremst, wenn es zu weit in die Industriepolitik vorstieß.

16 Deutscher Bundestag, 1986: *Antrag der Fraktion Die Grünen: Rekommunalisierung und Demokratisierung der Energieversorgung (Neuordnung der Energiewirtschaft und Novellierung des Energierechts)*. 10/5010. Bonn. Zitate auf Seite 1.

17 Siehe etwa Landesregierung Nordrhein-Westfalen, 1986: *Wasserkraftanlagen in Nordrhein-Westfalen. Antwort auf die Kleine Anfrage 598*. 10/1616. Düsseldorf: Landtag Nordrhein-Westfalen;

kam es ab der Mitte der 1980er-Jahre gehäuft zu Konflikten im verbandlichen Regelungssystem der Energiewirtschaft selbst. Wasserkraftwerksbetreiber, deren Vergütungen in teils regionsspezifischen Verbändevereinbarungen zwischen Industrieverbänden und dem Verband der Elektrizitätswirtschaft ausgehandelt wurden, hatten seit 1987 im Wirtschaftsministerium für Interventionen beim VDEW für höhere Preise geworben (Renz 2001: 97; Suck 2008: 170). Bis 1988 konnte das Wirtschaftsministerium die Elektrizitätswirtschaft durchaus zu Konzessionen bewegen. In einer Ergänzung zur Verbändevereinbarung von 1987 wurden um 30 Prozent höhere Vergütungen gewährt. Insbesondere in Bayern, wo ungefähr zwei Drittel der deutschen Wasserkraftkapazitäten in Betrieb waren, häuften sich dennoch politische und rechtliche Beschwerden gegen die Vergütungspolitik von Energieversorgungsunternehmen (Renz 2001: 98). Zusätzlich folgten dem anlaufenden Windkraftausbau neue Unterstützungsleistungen für aufgestockte und von der in manchen Fällen notwendigen Kooperationsbereitschaft lokaler Energieversorger unabhängige Vergütungssätze (Hirschl 2008: 131). Seit 1988 hatten sich Parlamentsabgeordnete, allen voran Engelsberger von der CSU, mit engen Beziehungen zur bayerischen Wasser- und Forstwirtschaft, und Daniels von den Grünen, selbstständig an die Vorbereitung eines Bundesgesetzes zur Regelung der Stromeinspeisung gemacht (ebd.: 131). Trotz des an sich anrühigen Zusammenschlusses zwischen Parlamentariern der CSU und der Grünen, des unüblichen Vorgangs einer Gesetzesinitiative aus einer fraktionsübergreifenden Interessengruppe aus dem Parlamentsplenum und des Bruchs mit der Praxis der politischen Delegation der Einspeiseverhandlungen auf die Interessenvertretungen beteiligter Akteure, schaffte es das Gesetz nach einem zweijährigen Weg durch Fraktionen, Ausschüsse und Ministerien 1990 zur Abstimmung und wurde mit den Stimmen der Regierungsfaktionen verabschiedet.¹⁸ In den Protokollen der ersten Parlamentsdebatte zu dem Gesetzentwurf fallen zwei Dinge auf. Einerseits die Breite, in der Parlamentarier *jeder* Fraktion die Förderung der regenerativen Energien prinzipiell bejahten. Engelsberger etwa sprach davon, die »Klimakatastrophe zu vermeiden«, verweigerte sich, das Gesetz als Subvention anzuerkennen, »da es sich in Wirklichkeit um die Vergütung von vermiedenen Umweltschäden handelt«, und nannte die regenerativen

Landesregierung Nordrhein-Westfalen, 1989: *Förderung regenerativer Energien in Nordrhein-Westfalen. Antwort auf die Kleine Anfrage 1695*. 10/4672. Düsseldorf: Landtag Nordrhein-Westfalen; Rat der Europäischen Gemeinschaften, 1988: *Empfehlung des Rates vom 8. November 1988 zur Förderung der Zusammenarbeit zwischen öffentlichen Elektrizitätsversorgungsunternehmen und Eigenerzeugern*. Brüssel.

18 Eine kürzere Rekapitulierung der Ereignisse zwischen Fraktionen, Ausschüssen, dem Plenum, dem Bundesrat und der Elektrizitätswirtschaft findet man bei Hermann Scheer, 2004: Über die parlamentarische Bande gespielt. In: *Solarzeitalter* 1, 15–16.

Energien eine »nationale Energiereserve«.¹⁹ Andererseits wurde zumindest im Plenum massiv unterschätzt, welche Tragweite das Gesetz inkrementell entwickeln würde. Augenscheinlich mit der Sorge, dass die konservative Mehrheit öffentlichkeitswirksam Schritte in Richtung einer ökologischen Energiepolitik für sich in Anspruch nahm, beschwerte sich ein SPD-Abgeordneter, dass das, »worum es geht, [...] ein Viertelprozentchen der Stromerzeugung, also ein Vierhundertstel der Stromerzeugung in der Bundesrepublik« sei, »das nun zu etwas höheren Preisen ins Netz eingespeist werden soll«. »Wenn dies reichen soll«, fügte er hinzu, »um die Klimakatastrophe auf der Erde abzuwenden, dann wissen wir, welche Naivität in diesem Haus vorherrscht.«²⁰

Das Stromeinspeisungsgesetz sollte sich in mindestens drei Hinsichten zu einer entscheidenden Weichenstellung für den späteren Ausbau der Förderung regenerativer Energien in Deutschland entwickeln. Erstens führte die kombinierte Förderung über die Stromrechnung von Energieverbrauchern und über öffentliche Investitionszuschüsse zu einem unerwartet starken Aufbau von Windenergieanlagen in Deutschland. Von 480 Windanlagen mit 70 MWp Leistung Ende 1990 war die installierte Windkraft bis Ende 1994 auf circa 2.600 Anlagen mit 640 MWp Leistung angewachsen. Der Ausbau hatte zudem zur Entwicklung einer ansehnlichen Industrie zur Herstellung und Installation der Anlagen geführt. In einer für deutsche industriepolitische Diskurse typischen ordoliberal-merkantilistischen Bemerkung resümierte das Wirtschaftsministerium 1995 wohlwollend, die »Windkraftanlagen herstellende Industrie ist regional inzwischen zu einem Wirtschaftsfaktor geworden, der auch zunehmend beim Anlagenexport auf Erfolge verweisen kann«.²¹ Im Zuge des Kapazitätsaufbaus war es ferner entgegen technologiepolitischen Befürchtungen keinesfalls so gekommen, dass die Technik durch die Nachfrageförderung stagnierte. Die Anlagen wurden zunehmend leistungsfähiger, größer und technisch ausgeklügelter, was einerseits dadurch bedingt war, dass die deutschen Hersteller ihrer ausländischen Konkurrenz – insbesondere aus Dänemark – nachliefen, und andererseits dadurch, dass Vergütungssätze nicht augenblicklich in jeder Region für einen wirtschaftlichen Betrieb ausreichten, aber durchaus durch inkrementelle Weiterentwicklungen einholbar waren. Zweitens wurde der Ablauf der industriepolitischen Anschubfinanzierung über Investitionsbeihilfen und nachziehende Vergütungserhöhungen, um die Industrie und den Energiebeitrag der Technik auszubauen, zu einem Parademodell für spätere Förderprogramme.

19 Deutscher Bundestag, 1990: *Plenarprotokoll 11/224*. Bonn, 17751–17752.

20 Ebd.: 17752.

21 Deutsche Bundesregierung, 1995: *Erfahrungsbericht des Bundesministeriums für Wirtschaft zum Stromeinspeisungsgesetz*. 13/2681. Bonn, 11.

Insoweit es vor 1990 unter den Befürwortern einer stärkeren Nutzung regenerativer Energien noch Zweifler gegeben hatte, die es nicht für möglich hielten, dass die öffentliche Hand mit vertretbaren Aufwendungen einen der neuen Industriezweige aus der Unwirtschaftlichkeit hieven könne, konnte diesen bis Mitte der 1990er-Jahre eindrucksvoll das Gegenteil vorgehalten werden (Jacobsson/Lauber 2005: 272). Das Stromeinspeisungsgesetz war ein später immer wieder zitiertes politisches Demonstrationsprojekt dafür, wie sich mit einem vollkommen außerhalb des öffentlichen Haushalts gehaltenen politischen Instrumentarium energie-, industrie-, umwelt- und regionalpolitische Ziele gemeinsam verwirklichen ließen. Drittens legte das Stromeinspeisungsgesetz in mehreren Hinsichten die Grundlagen, dass es zwischen Befürwortern und Gegnern der Förderung regenerativer Energien zunehmend zu Spaltungen kam. Die Politik regenerativer Energien wurde aus dem Regelungskomplex zwischen Verbänden, Aufsicht, Politiknetzwerken und den traditionellen Institutionen der Konflikt-schlichtung der Branche, den Gerichten, herausgelöst, von nun an formal von der Politik geregelt und material in unübersichtlicheren und intransparenteren Arenen ausgehandelt. Die Politik verlor damit – so paradox es klingt – ein Stück weit ihren Einfluss auf Energieversorger, was sich nach der Liberalisierung der deutschen Energieversorgung seit 1998 noch verstärken sollte.²² Seit Mitte der 1990er-Jahre traten wiederholt Fälle auf, in denen Energieversorger sich weigerten, die festgeschriebene Vergütung an Anlagenbetreiber zu zahlen. In Reaktion auf das Ausbauwachstum der Windenergie und den Verfassungsentscheid gegen den »Kohlepfennig« 1994 strengten in den norddeutschen Gebieten operierende Versorger Klagen gegen das Stromeinspeisungsgesetz an, versuchten, das Förderregime aus ihrer Bilanz heraus- und in den Haushalt des Bundes hineinzuklagen.²³ Im Verlauf des folgenden Jahrzehnts verstärkten sich derartige Spaltungen zwischen politischen und wissenschaftlichen Beratungsorganen, zwischen Umwelt- und Wirtschaftsministerium sowie den entsprechenden parlamentarischen Ausschüssen, zwischen Befürwortern und Gegnern eines schnellen Ausbaus regenerativer Energien in Politik und Verwaltung und nicht zuletzt zwischen den relevanten Branchen selbst. Im Unterschied zu nordischen Ländern fand der Ausbau regenerativer Energieerzeugungskapazitäten in Deutschland ohne

22 Warum unter bestimmten Bedingungen *eine Zunahme* an Handlungsspielräumen von Akteuren *eine Zunahme* an Responsivität und Kontrollierbarkeit durch betroffene andere Akteure bewirken kann, erläutert Albert Hirschman (1970a: 55–61) am Beispiel wirtschaftlicher Konkurrenz. Ein verwandtes Argument findet sich in der Politischen Ökonomie mit Bezug zum Einfluss von Unternehmensinteressen und Arbeitgeberverbänden (Kalecki 1943; Streeck 1990).

23 Siehe die knappe Übersicht zu Konfliktlinien: Positionen und juristischen Gutachten Mitte der 1990er-Jahre in: Deutsche Bundesregierung, 1995: *Erfahrungsbericht des Bundesministeriums für Wirtschaft zum Stromeinspeisungsgesetz*. 13/2681. Bonn, 7.

wesentliche Beteiligung der großen deutschen Versorger und ihrer politischen Verbündeten statt. Oft begünstigten diese Spaltungen den raschen Ausbau alternativer Energietechniken. Sie befreiten Befürworter von Abstimmungserfordernissen und führten schließlich in eine Politik paralleler Stromversorgungsregime und damit zur Grundlage für inkrementellen technologischen Wandel (Mautz/Rosenbaum 2012).

In der Nutzung der Photovoltaik kamen die neuen energiepolitischen Initiativen nicht an. Das Wirtschaftsministerium stellte nach fünf Jahren mit dem Stromeinspeisungsgesetz »keinen messbaren Einfluss« auf die Photovoltaik fest.²⁴ Ihre Förderung verblieb in der Verantwortung des Forschungsministeriums. In wesentlich kleinerem Ausmaß als für die Windenergie initiierte es im September 1990 ein – auf verschlungenen Wegen ebenfalls massiv unterschätztes – Demonstrationsprogramm für die netzgekoppelte Photovoltaik, das auf vier Jahre angelegte Bund-Länder-1.000-Dächer-Photovoltaik-Programm. Mit ihm sollten nach Plan 1.500 kleine (1–5 kWp), ausschließlich auf Dächern von Ein- bis Zweifamilienhäusern angebrachte und zwingend ans Stromnetz angeschlossene Photovoltaikanlagen mit bis zu 70-prozentigen Investitionszulagen gefördert und mehrjährig im Betrieb ausgewertet werden.²⁵ Nicht nur bedeutete das neue Programm eine Abkehr vom Vorzug der Förderung von Herstellungslösungen zugunsten der Erprobung der tatsächlich verteilten Netzkopplung, der Systemtchtigkeit einzelner Komponenten und der Erstellung einer Datenbasis für Standardisierungs- und Genehmigungsfragen, das Forschungsministerium schien das Programm, wie am Beispiel der Windkraft vorgemacht, als gesellschaftliches Werbe- und Erziehungsmittel zu begreifen. »Es wird erwartet«, bemerkte die zum Förderbeginn ausgegebene Pressemitteilung, »dass das 1.000-Dächer-Photovoltaik-Programm wesentlich dazu beitragen wird, der Öffentlichkeit die Möglichkeiten der dezentralen Solarstromerzeugung aufzuzeigen.«²⁶ Bis 1995 förderte die Bundesregierung circa 1.930 Anlagen, 5,28 MWp Modulnennleistung, mit Investitionszulagen in Höhe von 65,9 Millionen Mark (siehe für einen Überblick zur bundesweiten Photovoltaikförderung Tabelle 5-1).²⁷

24 Ebd.: 5.

25 *Richtlinie zur Förderung der Erprobung kleiner photovoltaischer Solarenergieanlagen (Bund-Länder-1000-Dächer-Photovoltaik-Programm)*, 1990. Bonn.

26 *Das Bund-Länder-1000-Dächer-Photovoltaik-Programm läuft an*. Pressemitteilung No. 103/90. Bonn, 2.

27 Siehe Deutsche Bundesregierung, 1996: *Bundesbericht Forschung 1996*. 13/4554. Bonn, 98; Udo Rindelhardt, 2012: *20 Jahre 1000-Dächer-Programm: Langzeiterfahrungen in Sachsen*. Dresden: Saena GmbH, 4.

Tabelle 5-1 Kennzahlen zur Förderung netzgekoppelter Photovoltaikanlagen in Deutschland, 1992–1996

	Beantragte Anlagen	Bewilligte Anlagen	Installierte Anlagen	Installierte Kapazität (KWp)
1992	2.493	1.269	1.211	2.973,22
1993	1.766	1.051	1.038	2.796,93
1994	842	694	697	2.115,85
1995	1.030	700	687	1.668,49
1996	3.089	2.090	783	2.860,82
Gesamt	9.220	5.804	4.416	12.415,31

Quelle: Daten des ISE-Leipzig; zitiert nach Greenpeace Deutschland, 1996: *The German Market in Solar Systems after Greenpeace's Cyrus Campaign*. Evaluationsbericht. Hamburg, 6.

Das 1000-Dächer-Programm darf in seiner direkten Auswirkung auf die Industrie nicht überbewertet werden. Die über fünf Jahre installierte Leistung entsprach nicht mehr als der Hälfte der jährlichen Produktion allein von Siemens Solar im Jahr 1991. Über den gesamten Förderzeitraum stellte Siemens 49 Prozent aller verbauten Module her, die ASE 30 Prozent, BP Solar 11 Prozent und Helios aus Italien 5 Prozent.²⁸ Vielmehr hatte das Programm neben seinem ursprünglichen Zweck, kollektiv mehr über die Systemeigenschaften im dezentralen Netzbetrieb zu lernen, die indirekte Wirkung, dass sich Pioniernutzer und Unterstützer der Sonnenenergie um die bundespolitische Anerkennung der Technik konsolidierten. Wie Ulrich Dewald in seiner Dissertation herausgearbeitet hat, bildeten sich in der zweiten Hälfte der 1980er- und ersten Hälfte der 1990er-Jahre etliche kommunale Pioniergruppen und Solarinitiativen um die Photovoltaik, die durch das 1.000-Dächer-Programm weiter aufgewiegelt wurden (Dewald 2011: Kap. 8.3; Dewald/Truffer 2012). Über die 1990er-Jahre wurde der Impuls des Förderprogramms von zahlreichen lokalen Gruppen, Kirchengemeinden, Schulen, Stadtwerken und Kommunen aufgenommen – allen voran in Baden-Württemberg, Bayern und Nordrhein-Westfalen, die über die 1990er-Jahre für über die Hälfte der Länderförderung regenerativer Energietechnologien verantwortlich waren. Die regionalen Initiativen wurden zu einer Art Saatbett für weitere kleinteilige Fördermaßnahmen, für die Beschäftigung mit der Technik über magere Jahre bundespolitischer Förderung und für die Implementation breiterer Ausbauprogramme durch die Bundesregierung in den

28 Ebd.: 5. Eurosolar berichtete noch im Januar 1992, dass das Programm wie in der Windkraft anfangs auf Betreiben deutscher Hersteller auf deutsche Erzeugnisse beschränkt war. Schon einige Monate später ist die Förderung auf den europäischen Raum ausgedehnt worden. Siehe Eurosolar, 1992: Ergebnisse der Eurosolar-Mitgliederversammlung vom 18. und 19. Januar 1992 in Bonn. In: *Solarzeitalter* 1, 3–24, hier: 3–4.

2000er-Jahren.²⁹ Im Jahr 1998 existierten in Deutschland immerhin geschätzte 8.543 netzgekoppelte Photovoltaikanlagen mit einer nominellen Leistung von rund 44 MWp.³⁰ Ferner bewirkte das 1.000-Dächer-Programm eine Ausweitung der Beschäftigung mit der Photovoltaik in Universitätslabors und Forschungsinstituten, die wiederum in der zweiten Hälfte der 1990er-Jahre einen reichen Fundus an Fertigkeiten und Personal für die neue Industrie bereitstellen sollten.³¹

5.2 Technologische Fadenrisse und koordinierte Industrialisierung

Es dauerte nicht nur länger, bis die neuen umweltpolitischen Aktivitäten in der Energiepolitik zurück zur Photovoltaik fanden, die Industrie geriet zeitversetzt in verschiedenen Ländern in eine zunehmend kritische Lage. In der Photovoltaikindustrie waren die 1990er-Jahre in Deutschland, Japan und den USA die Ära öffentlich koordinierter Entwicklungskonsortien. Wiederum ging der Impuls in diese Richtung von den USA aus, diesmal allerdings nicht als ambitionierte Pionierbewegung, sondern als Reaktion auf einen wahrgenommenen Verfall der amerikanischen Industrie. Was in den frühen 1990er-Jahren zuerst in den USA, dann in Japan und später in Deutschland aufkam, war eine sehr produktive Kombination aus einer tendenziell geschwächten Industrie und der politischen Sorge um deren Verfall. Wie oben dargestellt, waren große Teile der kollaborativen industriellen Bemühungen der 1970er-Jahre bis in die zweite Hälfte der 1980er-Jahre zerfasert und praktisch aufgelöst. Anfang der 1980er-Jahre wurde die amerikanische sowie die weltweite Fertigungsindustrie im Grunde von zwei Firmen beherrscht, von ARCO Solar und Solarex, die beide einerseits fast vollständig integriert von der Materialforschung bis zur Anlage aktiv waren und andererseits weltweite Vertriebs- und Installationsnetzwerke aufgebaut hatten. Im Jahr 1983 waren sie zusammen mit ungefähr 7 MWp produzierter Modulleistung für beinahe die Hälfte der weltweiten Zellproduktion verantwortlich (siehe Tabelle 5-2). Noch im Jahr 1980, schätzte das Office of Technology Assessment

29 Armin Räuber, 2005: Photovoltaik in Deutschland – Eine wechselvolle Geschichte. In: Sigrid Janssen (Hg.), *30 Jahre DGS. Auf dem Weg in die Solare Zukunft*. München: DGS, 151–170

30 Alfred Voß, 2000: *Konzeption eines effizienten und marktkonformen Fördermodells für erneuerbare Energien*. Gutachten im Auftrag des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg. Stuttgart: Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart, 11.

31 Gerhard P. Willeke und Armin Räuber, 2012: On the History of Terrestrial PV Development: With a Focus on Germany. In: *Semiconductors and Semimetals* 87, 7–48, hier: 15–16.

Tabelle 5-2 Schätzungen zur Photovoltaikproduktion nach Firmen und Regionen, 1983–2002

	1983	1984	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	
Mengen in MWp																				
AEG/ASE/RWE	0,8	0,7	0,8	0,8	1,3	1,2	1,7	2,1	2,6	2,6	3,0	3,7	3,0	6,0	7,0	11,0	14,0	22,7	29,5	
ARCO Solar	5,9	4,5	4,9	4,2	5,5	6,5														
BP Solar			0,4	1,3	1,3	1,4	1,4	2,2	3,5	4,5	6,1	7,2	8,45	11,3	13,4	14,5	42,0	54,0	74,0	
Ersol																	0,9	2,3	9,0	
Kyocera	0,4	0,9		1,3	1,7	2,5	4,5	5,8	5,1	4,8	5,5	6,1	9,1	15,4	24,5	30,3	42,0	54,0	60,0	
Mobil Solar	0,1	0,15		0,05	0,1	0,05	0,05	0,2	0,3	0,2										
Q-Cells																			0,4	9,0
Sanyo	0,8	1,3	3,9	4,8	4,8	4,8	4,9	6,0	6,5	6,2	5,5	5,1	4,6	4,7	6,3	13,0	17,0	12,0	28,5	
Sharp	0,3	0,55	0,5	1,5	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	4,0	5,0	10,6	14,0	30,0	50,0	55,0	110,0	
Shell													4,8	6,0	6,5	6,5	28,0	60,0	57,5	
Siemens Solar	0,1	0,2		0,2	0,2	0,4	7,8	9,8	9,6	13,0	13,5	17,2	17,05	22,0	20,0	24,2	29,5		39,7	
Solarex	1,0	1,7	2,2	2,9	3,2	5,0	5,4	5,6	5,7	6,5	7,5	9,5	10,8	14,8	15,9	18,0				
Solon																		4,2	5,3	
Europa	2,0	2,3	4,0	4,5	6,7	7,9	10,2	13,4	16,4	16,55	21,7	20,1	18,8	30,4	33,5	40,0	60,66	85,4	173,4	
Japan	2,4	3,8	12,6	13,2	12,8	14,2	16,8	19,9	18,8	16,7	16,5	16,4	21,2	35,0	49,0	80,0	128,6	145,0	233,8	
USA	9,0	7,8	7,1	8,65	11,1	14,1	14,8	17,1	18,1	22,4	25,64	34,75	38,85	51,0	53,7	60,8	74,97	96,7	107,8	
Weltweit	15,0	17,0	21,0	25,0	32,0	38,0	43,0	49,0	54,0	56,0	61,0	72,0	83,0	114,0	135,0	176,0	252,0	352,9	554,9	

Ein Großteil der Daten geht auf Wiedergaben und Ergänzungen von Paul Maycocks seit 1982 angefertigten Schätzungen zurück. Als absolute Zahlen sind die Daten mit Vorsicht zu behandeln, denn viele Firmen trennen nicht sauber zwischen Zell- und Modulverkäufen und handeln Zellen intern oder unter Konkurrenten, sodass Doppelzählungen möglich sind. Außerdem verzerrten in der Industrie seit den späten 1980er-Jahren endemische Übernahmen und Zusammenschlüsse die Genauigkeit der Werte in den jeweiligen Umbruchjahren. Zusätzlich enthalten verschiedene Quellen teilweise unterschiedliche Schätzungen für einzelne Datenpunkte.

Quellen: Firmendaten für 1983–1984 nach Armin Räuber/Fredy Jäger, 1986: *Photovoltaische Solarenergienutzung. Vergleichende Studie der Entwicklungstendenzen in der Bundesrepublik Deutschland, in Europa, den USA und Japan*. BMFT-FB-T 86-048. Schlußbericht. Bonn: Bundesministerium für Forschung und Technologie; für 1986 nach Roger Little, 1986: *Historical Overview, Accomplishments, and Value of the FSA Project: Industry*. Pasadena, CA: JPL, California Institute of Technology, Proceedings of the 26th Project Integration Meeting, 98; für 1987–1993 nach U.S. Congress, Office of Technology Assessment, 1995: *Renewing Our Energy Future*. Washington, DC, September, 237; für 1994–1999 nach US Energy Information Administration, 2000: *Renewable Energy 2000: Issues and Trends*. DOE/EIA-0628. Washington, DC: US Department of Energy, 24; für 2001 nach Armin Räuber/Werner Warmuth/Wolfram Wettling, 2003: *Photovoltaische Solarenergienutzung III*. 0329727. Schlussbericht. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Gesamtwerte bis 2000 nach der niedrigen Schätzung bei Armin Räuber, 2001: *Die PV-Szene heute – Technologie, Industrie, Markt*. Vortragsmanuskript. Staffelstein: 16. Symposium Photovoltaische Solarenergie, März 2001, 8; regionale Werte 1994–2000 nach Arnulf Jäger-Waldau, 2002: *Status of PV Research, Solar Cell Production and Market Implementation in Japan, USA and the European Union*. EUR 20245. Luxemburg: European Commission, Joint Research Centre, 4; regionale Werte und Gesamtwerte ergänzt nach Paula Mints, 2012: *Overview of Photovoltaic Production, Markets, and Perspectives*. In: *Semiconductors and Semimetals* 87, 49–84, 55, 62; Werte ergänzt mit IC² Institute, 2007: *Opportunity on the Horizon: Photovoltaics in Texas*. Austin, TX: University of Texas at Austin, 10; IEA PVPS Trends Reports, 1993–2002.

später, stammten 73 Prozent der weltweiten Solarzellenproduktion aus amerikanischen Fabriken.³² Bis 1990 hatte sich der amerikanische Anteil an der weltweiten Produktion auf circa 30 Prozent verringert, hauptsächlich aufgrund der Fertigungsexpansion in Japan, Deutschland und Frankreich (siehe Abbildung 5-1).

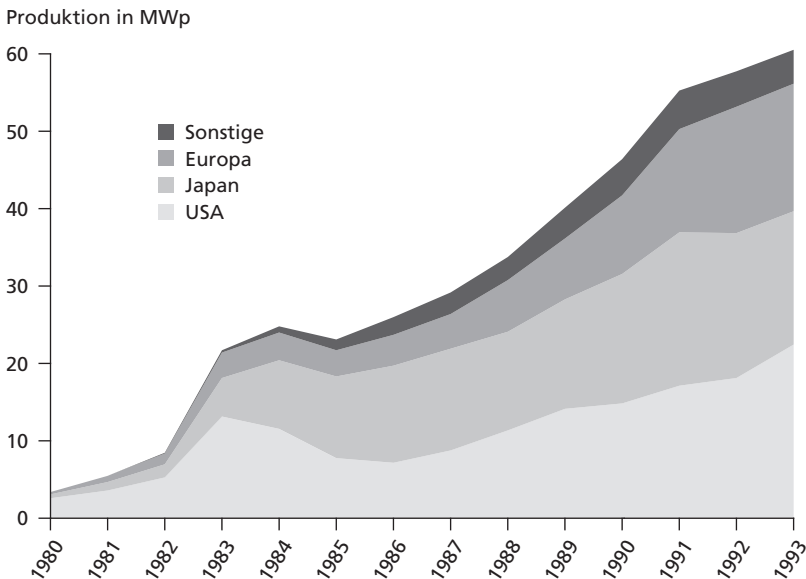
Das »Gespenst« in der amerikanischen Industrie der 1980er-Jahre war die japanische Expansion in der amorphen Siliziumphotovoltaik und der für amerikanische Firmen weitgehend überraschende Erfindungsreichtum japanischer Elektronikkonzerne wie Fujii, Sanyo und Sharp, auf ihrer Basis elektronische Kleingeräte neu zu konzipieren.³³ Die Euphorie um Dünnschichttechniken in den USA wie teilweise international ging auch an ARCO Solar und Solarex nicht vorbei. Anfang der 1980er-Jahre erhöhte ARCO die Forschungsmittel für seine Solartochter erheblich, insbesondere zur Erforschung verschiedener Dünnschichtkonzepte auf Cadmium- und Gallium basierenden Halbleitermaterialien (Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid, Galliumarsenid und Cadmiumtellurid) und im Bereich amorphen Siliziums (Margolis 2002: 155). Solarex entwickelte sich seit 1983 zum zentralen amerikanischen Lizenzfertiger für RCAs Entwicklungen in der amorphen Siliziumphotovoltaik.³⁴ Die beiden Firmen sonderten sich mit dem Ausbau der eigenen Forschungsabteilungen zunehmend vom öffentlichen Förderkomplex ab und untermauerten damit ihre oben beschriebenen Einzelstrategien in der Entwicklung von Produktionstechnik und ihrem Vertriebsnetz. Diese Tendenz zur Absonderung der Firmen unter der Bedingung eines kontinuierlichen Zuflusses an Mitteln aus den Mineralölerlösen ihrer Mutterkonzerne legte sich erst, als beide Fertiger gegen Ende der 1980er-Jahre zunehmend unter finanziellen Druck ihrer Eigner gerieten. Atlantic Richfield sowie Amoco, seit 1978 Eigentümer von Solarex, suchten nach der Ölschwemme der 1980er-Jahre nach Rationalisierungsmöglichkeiten und beschnitten die Budgets ihrer Solartöchter (ebd.: 169, 187). Sowohl ARCO Solar wie Solarex suchten in der Folge wieder Unterstützung in den öffentlichen Pro-

32 U.S. Congress, Office of Technology Assessment, 1995: *Renewing Our Energy Future*. Washington, DC, 234; ebenfalls zitiert in Margolis (2002: 102).

33 Sharp selbst, der Vorreiter bei der Entwicklung von Taschenrechnern, war daran gescheitert, Produktionsanlagen Ovshinskys effektiv in Betrieb zu nehmen und kaufte amorphe Siliziumphotovoltaikprodukte bei seinen Konkurrenten. Siehe Armin Räuber und Fredy Jäger, 1986: *Photovoltaische Solarenergienutzung. Vergleichende Studie der Entwicklungstendenzen in der Bundesrepublik Deutschland, in Europa, den USA und Japan*. BMFT-FB-T 86-048. Schlußbericht. Bonn: Bundesministerium für Forschung und Technologie, 211–212. Wie auch Kyocera, das zuerst in einem Konsortium mit Sharp und Mobil Solar vergeblich versuchte, das EFG-Verfahren der Tyco Labs in die Fertigung zu überführen, entwickelte Sharp stattdessen weitergehende Fertigkeiten in der kristallinen Siliziumphotovoltaik, die dem Konzern in den 1990er-Jahren nach dem Abflauen der a-Si-Euphorie einen Vorteil verschaffen sollten.

34 United States District Court, D. Delaware, 1992: *Solarex Corp. v. Arco Solar, Inc. Decided November 6, 1992*. Federal Supplement 252.

Abbildung 5-1 Regionale Verteilung der Photovoltaikmodulproduktion, 1980–1993



Quelle: US Congress, Office of Technology Assessment, 1995: *Renewing Our Energy Future*. Washington, DC, 234.

grammen, begannen Joint Ventures mit europäischen und japanischen Fertiger und begrenzten ihre Grundlagenforschung zugunsten der immerhin Umsätze einbringenden laufenden Fertigungen kristalliner Produkte, um ihre Verluste einzudämmen. Die beiden Fertiger, auch das zeigt, wie angespannt die Lage in der Industrie Ende der 1980er-Jahre war, verwickelten sich 1989 in einen tief greifenden Patentkonflikt um ARCOs Arbeiten in der amorphen Siliziumphotovoltaik. Solarex hatte 1985 RCAs Patente vollständig übernommen, klagte auf exklusive Verwertung und setzte sich schließlich durch.³⁵ ARCO, 1989 noch immer der größte Zellhersteller der Welt, wurde noch während des Verfahrens an Siemens verkauft, was die amerikanische Debatte um die Krise der amerikanischen Industrie zusätzlich anheizte. Einige Jahre später wurde auch Mobil Solar, das seit Mitte der 1970er-Jahre noch immer nicht geschafft hatte, sein EFG-Verfahren in die Volumenproduktion zu überführen, vom Nachfolgeunternehmen von AEG-Telefunken, der hauptsächlich dem RWE und Daimler gehörenden Angewandten Solarenergie (ASE), übernommen. Ebenso kauften

35 Ebd.

sich mehrere japanische Firmen in technologisch recht starke, aber finanziell schwache kleine Photovoltaikunternehmen und -abteilungen ein. Das Office of Technology Assessment schätzte 1994, dass die innerhalb weniger Jahre von internationalen Konkurrenten übernommenen amerikanischen Fertiger für bis zu 63 Prozent der amerikanischen Fertigungskapazität verantwortlich waren.³⁶ Kongressanhörungen zu regenerativen Energietechnologien zwischen 1987 und 1994 bestanden zu großen Teilen aus Verfallsdiagnosen der ein Jahrzehnt zuvor noch für selbstverständlich gehaltenen »Spitzenbranche«. Ein Vertreter der Solar Energy Industries Association sprach im Jahr 1989 davon, dass es nun darum gehe, das *VCR Syndrome* für die Sonnenenergie zu verhindern,³⁷ und warnte:

The years of 1989/1990 will determine whether the United States will have a domestic solar energy industry or relinquish its technological leadership to our international competitors. Our country faces the real possibility of importing solar technologies in the years when they just become fully cost-competitive. [...] [T]he United States has spent hundreds of millions of dollars to develop solar technologies that may be commercialized by our competitors who will reap billions of dollars and millions of jobs.³⁸

Nun muss dazu gesagt werden, dass Geschichten deutscher, japanischer und französischer »Subventionsübermacht« bei Industrievertretern schon in den Anhörungen während der Carter-Programme endemisch waren. Ende der 1980er-Jahre trafen die Warnungen vor einem »industriellen Fadenriss« in der Photovoltaik allerdings mit der generellen Besorgnis um den Verfall der Wettbewerbsposition amerikanischer Fertigungsindustrien zusammen.³⁹ Seit den späten 1970er-Jahren verbreitete sich in Teilen der Verwaltung eine Erklärung für die Krisen amerikanischer Fertigungsindustrien, die auf Übersetzungsprobleme zwischen dem sehr großzügig geförderten und ausgefeilten Forschungskomplex und der Industrie abstellte. Die amerikanische politische Ökonomie,

36 U.S. Congress, Office of Technology Assessment, 1995: *Renewing Our Energy Future*. Washington, DC, 263.

37 U.S. Congress, 1989: *Renewable Energy and Energy Efficiency Technology Competitiveness Act of 1989. Hearing before the Subcommittee on Energy Research and Development of the Committee on Science, Space, and Technology, U.S. House of Representatives, One Hundred First Congress. First session*. Washington, DC, 29.

38 U.S. Congress, 1989: *Energy Efficiency and Renewable Energy Research, Development, and Demonstration. Hearing Before the Subcommittee on Energy Research and Development of the Committee on Energy and Natural Resources, United States Senate, One Hundred First Congress. First session*. Washington, DC, 68, 74.

39 Einen guten zeitgenössischen Überblick zur frühen industriepolitischen Debatte in den USA geben Johnsons (1984) und Zysmans ([1983]1987) Sammelbände. Ein guter Einblick in die spätere Debatte lässt sich aus einem Bericht des OTA gewinnen. Siehe U.S. Congress, Office of Technology Assessment, 1991: *Competing Economies: America, Europe, and the Pacific Rim*. Washington, DC.

so die Diagnose, sei zwar mit Abstand führend in Forschung und Technologieentwicklung, es fehle ihr aber an Fähigkeiten, Laborvorsprünge kommerziell auszunutzen (dazu noch immer: Berger 2013a). Es gehört zu den vielen oberflächlichen Inkonsistenzen der neoliberalen Reaktion der 1980er-Jahre in den USA, dass sie entgegen ihrer marktradikalen Rhetorik maßgeblich dafür verantwortlich war, die seit Carter zahlreicher werdenden technologiepolitischen Ansätze zur Kommerzialisierungsförderung institutionell zu verfestigen und in Gesetze zu gießen. Im Kern bestand der neue *hidden developmental state*, wie Fred Block (2008) ihn genannt hat, aus verschiedenen Initiativen zur Forcierung staatlicher Industrieförderung. Beispiele sind Initiativen zur Überführung öffentlich finanzierter Forschung in den Privatsektor und Regelungen, die Joint Ventures zwischen Firmen und zwischen Firmen und öffentlichen Forschungsstellen vereinfachten und unterstützten (Block 2008; Schrank/Whitford 2009).⁴⁰

Im Bereich der regenerativen Energien wurde diese industriepolitische Neuausrichtung gesetzlich mit dem seit 1987 verhandelten und 1989 verabschiedeten Renewable Energy and Energy Efficiency Technology Competitiveness Act festgeschrieben. In dem Gesetz wurden einerseits Joint Ventures und auf die Entwicklung einzelner Fertigungsschritte konzentrierte Konsortien vorgesehen, in denen die Entwicklungskosten zwischen öffentlichen Stellen und Industriepartnern aufgeteilt werden sollten. Andererseits enthielt es ein Rahmenprogramm zur Exportförderung mit öffentlichen Kreditgarantien, internationalen Informationskampagnen und kollektiven Planungsmaßnahmen zur Erhöhung amerikanischer Ausfuhren. Ein Umdenken im DOE in diese Richtung fand nur stückweise statt. Die Forschungsverwaltung erkannte 1987 mehr oder weniger offiziell an, dass der Markt für elektronische Kleingeräteanwendungen mit der amorphen Siliziumphotovoltaik für amerikanische Firmen verloren sei und von japanischen Fertigern »kontrolliert« würde.⁴¹ Obwohl sich die Programmmanager von der geförderten Technologievielfalt und der Betonung langfristiger Grundlagenforschung nicht vollkommen trennen wollten, gaben sie wiederum äußerst ambitionierte kurzfristige Kostenziele aus und prognostizierten, dass die internationale Konkurrenz um den nächsten Anwendungsbereich der Technologie, die Energieversorgung elektrifizierter Länder, schon Anfang der

40 Wie Burton (2008: 128) und Schrank und Whitford (2009: 552, En. 119) herausstellen, waren viele dieser industriepolitischen Maßnahmen angepasste Institutionentransfers japanischer *Kohsetsushi*-Programme und deutscher Fraunhofer-Institute, die wiederum selbst frühere Imitate amerikanischer Agricultural Extension Services (dazu Rogers 1988) einerseits und industrienaher dezentraler Forschungsinstitute in den USA andererseits waren.

41 US Department of Energy, 1987: *Five Year Research Plan 1987–1991. Photovoltaics: USA's Energy Opportunity*. DOE/CH10093-7. Washington, DC: Photovoltaic Energy Technology Division, Office of Solar Electric Technologies, 18.

1990er-Jahre beginnen könnte.⁴² Und wieder tauchte nach längerer Abwesenheit auch im amerikanischen Entwicklungskomplex die alte Idee auf, dass es nur die Produktionskapazität sei, an der ein größerer Markt für die Technik scheitere, nun allerdings unter der neuen Dringlichkeit zunehmender Staatenkonkurrenz um den Standort der Produktion und industrieller Startvorteile:

Photovoltaic systems must continue to become less expensive, more durable, and more efficient. Companies must have markets that will allow them to increase production capacity and thus reach economies of scale; i.e., if production increases substantially, then the cost of production per piece decreases accordingly – this, in turn, will increase the market penetration. Plus, to help it grow further and faster, industry must have federal support that will help it compete in the international market. If all this happens, then the photovoltaic industry will become large and photovoltaics will become a strong and stable energy supply for our nation's future.⁴³

Der neue industriepolitische Aktivismus führte gepaart mit konzernintern und in Märkten unter Druck geratenen Fertiggern zwischen 1990 und 1996 zu einem der erfolgreichsten Förderprogramme in der Geschichte der amerikanischen Photovoltaikindustrie, dem Projekt Photovoltaic Manufacturing Technology (PVMaT).⁴⁴ Im Kern war PVMaT eine neu konzipierte Spielart des LSSA, ein innovationspolitisches Spezialisierungsregime zur Entwicklung und Diffusion industrieweiter technologischer Fertigkeiten. Anders als die Programme Mitte der 1970er-Jahre war PVMaT allerdings auf die kostengeteilte Entwicklung einzelner Anlagen oder Prozesse in den Fertigungen von Firmen ausgerichtet – auf kurzfristige Ziele und verteilter anfallende Erfolge. Auch DOE-Programmmanager scheuten sich im Rahmen des Programms nun nicht mehr, offene industriepolitische Ziele auszugeben und Förderprioritäten zurück auf die Produktionstechnik zu legen. PVMaT sei gedacht, fassten die Programmmanager zusammen,

to ensure that the U.S. industry retains and extends its world leadership role in the manufacture and commercial development of PV components and systems. PVMaT is designed to do this by helping the U.S. PV industry improve manufacturing processes, accelerate manufacturing cost reductions for PV modules, improve commercial product performance, and lay the groundwork for a substantial scale-up of U.S.-based PV manufacturing plant capacities.⁴⁵

Dazu passend formulierten DOE-Verwalter die alte Beschreibung der Entwicklungsfalle der Industrie um und brachten die Stagnation der Industrie über das vorangegangene Jahrzehnt mit ausbleibenden Prozessinnovationen in Verbindung:

42 Ebd.: 8–9.

43 Ebd.: 18.

44 Die amerikanischen Photovoltaikkonsortien der 1990er-Jahre sind der wesentliche Gegenstand der Dissertation von Robert Margolis (2002).

45 C. Edwin Witt, Richard L. Mitchell und G. David Mooney, 1993: *Overview of the Photovoltaic Manufacturing Technology (PVMaT) Project*. NREL/TP-411-5361. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, 1.

[N]ear-term, cost-reducing production technology has not been developed and implemented in a timely way to stimulate market increases and increased industry profitability. In recent years this dilemma has been receiving [...] attention, along with renewed national attention to increasing industrial competitiveness, in general.⁴⁶

Die Wiederentdeckung der koordinierten Entwicklung von Produktionsanlagen fand sich nicht nur unter Programmmanagern. Obwohl sich die amerikanische Photovoltaikindustrie auch im Jahr 1996 nicht auf eine Voraussage festlegen wollte, welche Technologie zehn Jahre später dominant sein würde, gab sie den NREL-Managern fast einstimmig vor, dass sie in erster Linie an Hilfestellungen bei der Entwicklung direkt einsetzbarer Produktionsanlagen interessiert sei.⁴⁷

PVMaT wurde in fünf Phasen durchgeführt: einer Phase kollektiver Problemidentifikation, einer breiter angelegten zweiten Förderphase, in der DOE-Arbeitsgruppen und kompetitiv ausgewählte Industriepartner die Entwicklung einzelner Fertigungsanlagen und Fertigungsschritte in zumeist zu gleichen Teilen öffentlich und privat finanzierten Projekten betrieben, und einer dritten konzentrierteren Phase, die zuvor vielversprechend verlaufene Einzelprojekte vertiefte. Noch während der dritten Phase des Programms erarbeiteten Firmen, Universitätslabors und DOE-Vertreter zahlreiche bis in die Gegenwart zentrale technische Entwicklungen für die Industrie. Siemens und Solarex gelang die Überführung von Drahtsägen in die Mengenfertigung von Siliziumscheiben und sie entwickelten die Grundlagen von Verfahren, um den dabei benutzten Slurry aufzubereiten. Beide Firmen entwickelten zusätzlich stabile Fertigungsanlagen für wesentlich dünnere und großflächigere Zellen. Spire, in den 1970er-Jahren wohl der erste spezialisierte mittelständische Produktionsmittelhersteller für die Photovoltaikindustrie, entwickelte Pilotanlagen für automatisierte Fertigungslinien für die Zell- und Modulproduktion. Die ASE machte im Rahmen von PVMaT Fortschritte in der Überführung von Mobils EFG-Verfahren in die Volumenproduktion und entwickelte mehrere wichtige Weichenstellungen in der Kombination von Zellen in Modulen, etwa in der Produktion von Glas-Glas-Modulen. PVMaT war auch der Rahmen, in dem Evergreen Solar, ein Kleinfertiger aus Massachusetts, die zweite bis in die Gegenwart relevante sägefreie Produktionstechnik für Siliziumscheiben in den Fabrikeinsatz überführte, ein String Ribbon genanntes Bandziehverfahren. Solar Cells Inc., ein 1990 gegründeter Kleinfertiger aus Arizona, der später als First Solar der größte Herstel-

46 Lloyd O. Herwig, 1995: The Changing Phases of Photovoltaic Technology. Going for the Market Summit. In: *Renewable Energy* 6(3), 291–298, 292.

47 Siehe US Department of Energy, 1996: *U.S. Department of Energy (DOE) Assessment of the Photovoltaic (PV) Industry's Needs, Priorities, and Views Regarding the DOE Photovoltaic Program: A Summary of Feedback from Visits to 22 PV Companies*. DOE/GO-10096-258. Washington, DC, 12, 14–15.

Tabelle 5-3 Kennzahlen des Projekts Photovoltaic Manufacturing Technology (PVMaT)

	1991	1992	1993	1994	1998	2001	2003
Budget (Mio. 2012 US-Dollar)	1,78	85,19	49,12	49,07	79,02	79,35	70,36
Öffentliche Beiträge	1,78	50,30	24,79	30,51	43,26	34,95	32,76
Private Beiträge		34,88	24,32	18,56	35,76	44,40	37,60
Anzahl vergebener Verträge	22	7	6	13	14	14	11

Quellen: *Budget* nach Alan C. O'Connor/Ross J. Loomis/Fern M. Braun, 2010: *Retrospective Benefit-Cost Evaluation of DOE Investment in Photovoltaic Energy Systems*. Washington, DC: US Department of Energy, 3-10; *Anzahl der Verträge* nach C. Edwin Witt/Richard L. Mitchell/G. David Mooney, 1993: *Overview of the Photovoltaic Manufacturing Technology (PVMaT) Project*. NREL/TP-411-5361. Golden, CO: NREL, 2, 3; C. Edwin Witt et al., 1994: *Recent Progress in the Photovoltaic Manufacturing Technology Project (PVMaT)*. NREL/TP-411-7416. Golden, CO: NREL, 2; Richard L. Mitchell et al., 1997: *Progress Update on the US Photovoltaic Manufacturing Technology Project*. NREL/CP- 520-22962. Golden, CO: NREL, 1; Richard L. Mitchell et al., 2002: *PVMaT Advances in the Photovoltaic Industry and the Focus of Future PV Manufacturing R & D*. NREL/CP-520-22962. Golden, CO: NREL, 1; K.E. Brown et al., 2005: *PV Manufacturing R&D Project Status & Accomplishments Under »In-Line Diagnostics & Intelligent Processing«*. NREL/CP-520-37381. Golden, CO: NREL, 2; Daniel J. Friedman et al., 2006: *PV Manufacturing R&D Project Status and Accomplishments Under In-line Diagnostics and Intelligent Processing and Yield, Durability and Reliability*. NREL/CP-520-39904. Golden, CO: NREL, 1. CPI-Bereinigungen durch den Autor. Rundungsfehler enthalten.

ler von Dünnschichtmodulen der Welt werden sollte, entwickelte in dem Programm Produktionsverfahren für Cadmium-Tellurid-Module. Die vierte Phase von PVMaT war spezifischer zugeschnitten, hauptsächlich auf messtechnische und Diagnoseverfahren in der automatisierten Massenfertigung. Die letzte Phase seit 2003 war auf die Stabilisierung bekannter Fertigungsverfahren ausgerichtet und auf die Erhöhung der Ausbeute im Betrieb befindlicher Produktionsmittel. Die im Rahmen von PVMaT geförderten Entwicklungen – und ihre vom DOE forcierte Diffusion in der amerikanischen Photovoltaikbranche – bedingten, dass die US-Industrie über die 1990er-Jahre zumindest wieder mit derselben Geschwindigkeit expandierte, wie es die Weltmärkte für Photovoltaikanlagen taten (Margolis 2002: 104, Fn. 40). Im Rahmen von PVMaT wurden auch die DOE-Budgets für die Photovoltaik wieder erhöht (siehe Tabelle 5-3). Ebenso verkehrten sich die Budgetschwerpunkte der Förderprogramme. Der – in so gut wie jedem Budgetplan geringfügig umbenannte – Ausgabenblock für Basic oder Advanced Research nahm von circa 80 Prozent Ende der 1980er-Jahre bis in das Jahr 1996 auf 16 Prozent Anteil an den Gesamtausgaben ab (Nilson 1998: 80).

Weitgehend ähnlich angelegte öffentliche Bemühungen, die Industrie in Entwicklungskonsortien zu treiben, gab es Anfang der 1990er-Jahre in Japan. Im Angesicht nur noch langsam wachsender Märkte für Kleingeräteanwendungen und ausbleibender Durchbrüche mit amorphem Material hatten sich Ende der 1980er-Jahre mehrere japanische Konzerne aus der Photovoltaik zurückgezogen,

zum Beispiel Hitachi, NEC und Toshiba (Kimura/Suzuki 2006: 10). Zusätzlich brachen private Forschungsaufwendungen seit der zweiten Hälfte der 1980er-Jahre bis 1990 um ungefähr 30 Prozent ein.⁴⁸ Wie auch in Deutschland und den USA hatte sich die Forschungs- und Demonstrationsförderung neuer Energietechniken in Japan seit den 1970er-Jahren zu einem wichtigen Betätigungsfeld technologiepoltisch aktiver Verwaltungsstellen entwickelt. Mehr noch: In der gleichzeitigen Entwicklung von Liberalisierungsprozessen im staatlichen Umgang mit Industrien, dem internationalen Druck auf die japanische Exportförderung, dem Washington Consensus, der Gründung der WTO und dem Aufkommen nationaler Klimaschutzpolitik wurden in Japan über die 1990er-Jahre etliche industriepolitische Stellen und Institutionen auf die Förderung von Energietechnologien und energienahe Industrien übertragen (Hughes 2012) – ein Transferprozess, der ganz ähnlich in den USA Anfang der 1970er-Jahre nach dem Abflauen der Weltraumprogramme geschehen war. Wie mehrere Studien berichten, scheint die neue Konsortienstruktur Anfang der 1990er-Jahre von MITI und NEDO ausgegangen und von der Sorge getragen worden zu sein, dass die verhältnismäßig unkoordinierten Photovoltaikprogramme der 1980er-Jahre als Fehlschlag abgeschrieben und die Budgets zurückgefahren würden (Kimura/Suzuki 2006: 14; Rogol 2007: 70, Fn. 117).

Das zentrale Konsortium der japanischen Photovoltaikindustrie während der 1990er-Jahre, die Photovoltaic Power Generation Technology Research Association (PVTEC), wurde 1990 als Grundlage für einen neuen Anlauf konzentrierter Industrialisierung gegründet. In ihr waren anfangs – zusammengehalten von Forschungsmitteln – 26 der größten Firmen des Landes aus Chemie-, Elektronik-, Keramik-, Metall-, Rohstoff-, Stahl- und Maschinenbauindustrie und eine Reihe von Forschungsinstituten und Universitäten organisiert.⁴⁹ Bis Mitte der 1990er-Jahre waren 60 Firmen an Koordinationsprogrammen von MITI und NEDO für die Photovoltaik beteiligt (Rogol 2007: 75). PVTEC war wie PVMaT als Plattform für die Industrie, als semiöffentlicher Verband zur Ordnung der Kommunikation zwischen NEDO, MITI und anderen beteiligten Stellen mit der Industrie sowie als Instrument eingerichtet worden, die Industrie auf Entwicklungspfaden zu halten, die die neuen Industrialisierungspläne der Verwaltung möglich machten. Die Pläne, die in NEDO und MITI für die Photovoltaikindustrie entwickelt wurden, glichen zu weiten Teilen denen, die in den USA seit 1973 und noch mehr seit 1990 diskutiert wurden. Mit viel technizisti-

48 Siehe Chichiro Watanabe, Kouji Wakabayashi und Toshinori Miyazawa, 2000: Industrial Dynamism and the Creation of a »Virtuous Cycle« Between R & D, Market Growth and Price Reduction. The Case of Photovoltaic Power Generation (PV) Development in Japan. In: *Technovation* 20(6), 299–312, hier: 301.

49 Ebd.: 301.

scher Zuversicht berichteten MITI-Beamte retrospektiv, dass das, was man zu institutionalisieren versuchte, eine Art »Mechanismus« war:

(1) encouraging the broad involvement of cross-sectoral industry, (2) stimulating inter-technology stimulation and cross-sectoral technology spillover, (3) inducing a vigorous industry investment in PV R&D leading to an increase in industry's PV technology knowledge stock, and steps for creating a virtuous cycle between R&D, market growth and price reduction.⁵⁰

Im Vergleich zu amerikanischen und auch deutschen Förderdebatten kamen in der japanischen Verwaltung zwei Aspekte hinzu. Erstens entwickelte sie ein systematisch stärker technikzentriertes Modell, mit Energieversorgungsproblemen umzugehen. Die japanische Wirtschaft war vor der ersten Ölkrise eine der energieintensivsten und importabhängigsten in der OECD-Welt. Die relativ erfolgreichen Konservierungs- und Restrukturierungsbewegungen, die während der 1970er-Jahre in vielen japanischen Sektoren stattfanden (insbesondere im Anlagenbau, in der Elektronik- und in der Automobilindustrie), hatten über die 1980er-Jahre ein strukturpolitisches Rezeptwissen geläufig gemacht: »In the case of Japan, the constrained production factor is energy, while the unlimited production factor is technology.«⁵¹ Die Idee, eine verschmutzungsintensive, leistungsbilanzbelastende und die heimische Ökonomie externen Schocks aussetzende Energieinfrastruktur mit forschungs- und wissensintensiven sauberen Energieindustrien zu ersetzen, tauchte verstreut in allen Industrieländern seit den Ölkrisen auf. Im Umfeld der NEDO verdichteten sie sich allerdings über die 1980er-Jahre zunehmend zur Grundlage eines umfassenderen Entwicklungsszenarios für eine, wie es später heißen sollte, *grüne industrielle Revolution*. Zweitens wendete die japanische Forschungsverwaltung den extremen technischen Querschnittscharakter der Photovoltaikfertigung von einem Problem in einen Vorteil ihrer Förderung. Insoweit in ihr sehr heterogene Kompetenzfelder zusammenfinden mussten, vom Anlagenbau über die Festkörperphysik bis zu nasschemischen Verfahren, bewirkte ihre Förderung »kostenlose Nutzen« für die Technik selbst wie für anliegende Branchen. »The interdisciplinary nature of its development«, fassen Nagamatsu et al. diese holistisch-verbundlogische industriepolitische Sicht auf die Photovoltaik als Querschnittstechnik zusammen, »can maximize the benefit of technology spill-over.«⁵²

50 Chichiro Watanabe, Kouji Wakabayashi und Toshinori Miyazawa, 2000: Industrial Dynamism and the Creation of a »Virtuous Cycle« Between R&D, Market Growth and Price Reduction. The Case of Photovoltaic Power Generation (PV) Development in Japan. In: *Technovation* 20(6), 299–312, 310.

51 Chihiro Watanabe, 1995: Mitigating Global Warming by Substituting Technology for Energy. In: *Energy Policy* 23(4/5), 447–461, hier: 451.

52 Akira Nagamatsu, Chihiro Watanabe und Kwok L. Shum, 2006: Diffusion Trajectory of Self-propagating Innovations Interacting with Institutions — Incorporation of Multi-factors Learn-

In den 1990er-Jahren bestand das für die Photovoltaik relevante Förderregime Japans aus drei wesentlichen Komponenten. Industrieseitig wurden über PVTEC und einige weitere Programme Firmen und Forschungsinstitute durch Entwicklungsfördermittel zusammengebracht. Japans neue Industrieprogramme waren zwar intern kooperativ gestaltet, Teilnahme und Verbleib in ihnen war jedoch auf mehreren Ebenen kompetitiv organisiert. Forschungsverträge wurden an Gruppen von Firmen vergeben, deren individuelle und kollektive Ausführung von projektspezifisch eingesetzten Fachkomitees überwacht, bewertet und gelenkt wurde.⁵³ Neben für die Fertigung relevanten Organisationen gelang es der Forschungsverwaltung, die Bauindustrie in die Photovoltaikprogramme zu integrieren. Die japanische Wohnhausbauindustrie arbeitet in kürzeren Neubauzyklen als etwa die deutsche, setzt einen höheren Anteil an Fertighausstrukturen ab (wie auch in Schweden und Großbritannien) und ist verhältnismäßig konzentriert (historisch zur Struktur der japanischen Fertighausindustrie: Oizumi 2007: 58–61). Darüber hinaus war die Förderung des Marktes für Wohneigentum – wie in den USA und in Großbritannien über die Erleichterung privater Kreditaufnahme (Crouch 2009) – im Nachgang der Japan-Krise und in den anhaltenden Spannungen mit den USA über japanische Exportüberschüsse ein wesentliches Instrument, um die Binnennachfrage zu erhöhen (Hirayama 2004: 3–4). Strukturell, und genau dieser Prozess sollte sich nach 2008 in Europa, Japan und den USA wiederholen, trieb die japanische Niedrigzinspolitik in der zweiten Hälfte der 1990er-Jahre Sparer tendenziell in ungewöhnliche Anlageformen, in kleinen Teilen eben auch in netzgekoppelte Solaranlagen auf dem eigenen Hausdach. Bis in die 2000er-Jahre entwickelten sich enge Beziehungen zwischen der Bauindustrie für Einfamilienhäuser und der Photovoltaikindustrie – zumeist in der Form von Übernahmen, Lizenzabkommen oder Kooperations- und Exklusivverträgen, sodass ein beachtlicher Teil des Absatzes von Aufdachanlagen über den Markt für Bauleistungen statt über einen zweiten, separaten Markt für Photovoltaiksysteme erfolgte.⁵⁴ Im Unterschied zum deutschen Markt, in dem Installationen bis in die zweite Hälfte der 2000er-Jahre zu großen Teilen von unabhängigen handwerklichen Installateuren, spezialisierten Systemhäusern und Projektierern durchgeführt wurden, und dem

ing Function to Model PV Diffusion in Japan. In: *Energy Policy* 34(4), 411–421, hier: 412.

53 Nobuaki Mori, 2001: *The New Role of PVTEC for Developing PV in Japan*. Working Paper. Tokyo: Photovoltaic Power Generation Technology Research Association, 2.

54 Siehe Arnulf Jäger-Waldau, 2004: *PV Status Report 2004. Research, Solar Cell Production and Market Implementation of Photovoltaics*. EUR 21390. Luxemburg: European Commission, Joint Research Centre, 28–37; Kwok L. Shum und Chihiro Watanabe, 2007: Photovoltaic Deployment Strategy in Japan and the USA – An Institutional Appraisal. In: *Energy Policy* 35(2), 1186–1195, hier: 1192–1193.

amerikanischen Markt, in dem seit den 1970er-Jahren – nicht zuletzt wegen der zerklüfteten und volatilen Förderlandschaft in Bundesstaaten und Kommunen – eine Zweiteilung zwischen lokalen Installateuren für Kleinanlagen und Kooperationsbeziehungen zwischen Energieversorgern, Finanziers und Fertigern für Großanlagen existierte, war der japanische Markt für Aufdachanlagen verhältnismäßig tief durchsetzt mit relationalen Strukturen. Die Kopplung von Photovoltaikanlagen und Bauleistungen hatte strukturell mehrere Wirkungen auf technologische Lernprozesse: Über die Verbundstruktur wurden Standardisierung und Abstimmung zwischen Installateuren und Modulfertigern erleichtert, praktisch gewonnene Fertigkeiten verteilten sich weniger in der Breite und – wohl am wichtigsten – Installationskosten (oft *balance-of-system costs* genannt) wurden in das wirtschaftliche Kalkül der Fertiger integriert, statt in einer separaten Branche bearbeitet und über den Markttausch, Konsortien und Verbände koordiniert zu werden.

Auf der Nachfrageseite entstand auch in Japan zu Beginn der 1990er-Jahre politischer Druck auf Energieversorger, die unabhängige Netzeinspeisung von Elektrizität großzügiger, erwartungssicherer und formaler zu regeln. Nach einigen Auseinandersetzungen gelang es 1992, den Spitzenverband der Energieversorger dazu zu drängen, »freiwillig« *net-metering* (dem Prinzip nach bei Einspeisung rückwärts laufende Stromzähler) für Photovoltaikstrom aus Anlagen an Wohngebäuden – und bis 1997 *nur* für Photovoltaikanlagen – einzuführen. »Before the government imposed a mandatory regulation upon the industry«, berichten Kimura und Suzuki (2006: 13) auf Basis von Interviews mit Vertretern der japanischen Elektrizitätswirtschaft, »they took a voluntary action in advance, which they could terminate on their own«. Im Effekt ergaben sich damit Vergütungen für Photovoltaikstrom aus Aufdachanlagen von ungefähr 22 Yen per Kilowattstunde für unabhängige Einspeisungen. Zusätzlich gab es im MITI, dem Parlament und unter den großen Fertigern Forderungen, ein Programm mit Investitionsbeihilfen nach dem Modell des deutschen 1.000-Dächer-Programms zu initiieren. Nach längeren Auseinandersetzungen, insbesondere mit dem Finanzministerium, begann in Japan 1994 das bis dahin großzügigste Förderprogramm für Aufdachinstallationen in der Geschichte der Photovoltaik, das in der internationalen Berichterstattung zumeist 70.000-Dächer-Programm genannt wurde (siehe Tabelle 5-4).

Die kombinierte Förderung aus konzertierter Industrialisierung und ausladender Nachfrageförderung katapultierte vor allem die Fertiger von Anlagen auf kristalliner Siliziumbasis, etwa Sanyo und Sharp,⁵⁵ an die Spitze der internatio-

⁵⁵ Kyocera, der dritte große Fertiger von kristallinen Photovoltaikzellen, expandierte zwar ebenfalls im selben Zeitraum, war jedoch Gerüchten zufolge für einige Zeit vom 70.000-Dächer-Pro-

Tabelle 5-5 Hintergrund in der Photovoltaikindustrie aktiver Branchen, in Prozent, 1983–2003

	Elektronik	Mineralöl	Chemie, Metallurgie	Energie- versorgung	Erdgas	Sonstige
1983	32,9	59,1	2,6	0,0	1,5	3,8
1993	35,2	22,2	12,3	11,6	0,0	18,7
2003	46,0	22,4	3,0	2,9	2,9	22,4

Quelle: Übernommen aus Armin Räuber/Werner Warmuth/Wolfram Wettling, 2003: *Photovoltaische Solarenergienutzung III. 0329727*. Schlussbericht. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 64.

sie die jeweiligen Abteilungen bis weit in die 2000er-Jahre überwiegend mit einem Defizit betrieb (Rogol 2007: 12, Fn. 8). Die japanischen Förderprogramme verschoben ferner den Schwerpunkt der Sektoren, die in der Photovoltaikindustrie aktiv waren, und brachten damit eine neue Bandbreite industrieller Fertigkeiten in die aufkommende Industrie. Die Bedeutung der kapitalstarken und mit politischen Verhandlungen nur allzu gut vertrauten Ölkonzerne nahm bis in die 2000er-Jahre kontinuierlich ab, während zunehmend Massenfertiger aus der Elektronikindustrie und technologieorientierte Firmen aus den verschiedensten Feldern in der Branche aktiv wurden (siehe Tabelle 5-5). Ebenso ging mit dem Förderschwerpunkt auf kleinen Aufdächanlagen die Bedeutung von Dünnschichttechniken zurück. Die Hoffnungen aus den 1970er- und 1980er-Jahren, den Durchbruch mit weniger effizienten und haltbaren, aber günstiger herzustellenden Technologien zu schaffen, zerstoben, als man zunehmend realisierte, dass effizientere, langlebigere und teurere Technologien auf kristalliner Basis einen relativen Vorteil bei kleinen Aufdächanlagen hatten.

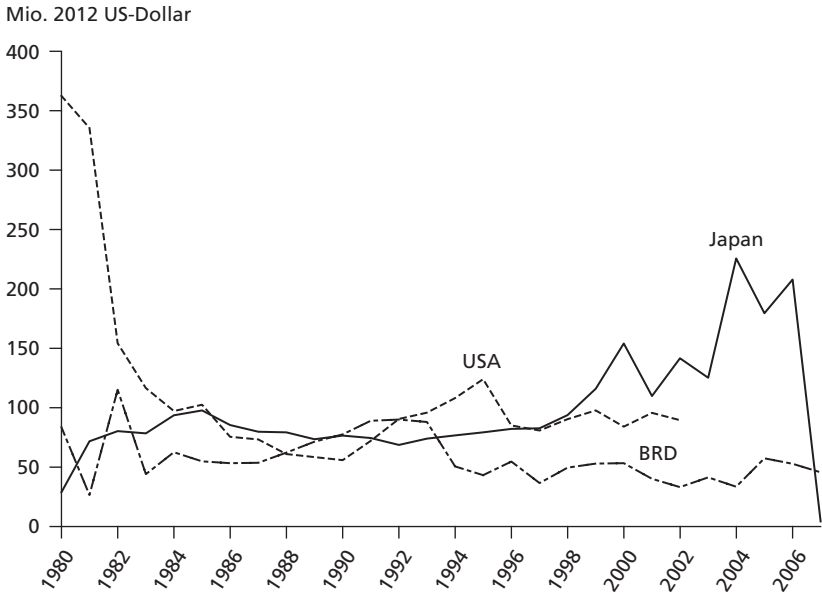
Noch wesentlich wirkmächtiger als der direkte Effekt des Fördersystems auf die Fertigungsindustrie war seine Signalwirkung. Bis in die 1990er-Jahre galten Nachfrageförderprogramme – nicht zuletzt wegen des Chaos und Scheiterns der späten amerikanischen Initiativen – regelmäßig als tendenziell nachteilig für die Weiterentwicklung von Technologien und Industrien (zur grundlegenden Kritik an *Demand-pull*-Förderung: Dobbin 1992: 191–196). Sowohl in individuell vergebenen Forschungsverträgen wie in öffentlich feingesteuerten Demonstrations- und Blockkaufprogrammen konnten Forschungsverwaltungen wesentlich gezielter Druck auf Firmen ausüben, ihre Kosten zu senken oder bestimmte Entwicklungsansätze beiseitezulegen. Das 70.000-Dächer-Programm bewies wie die Windkraftförderung zuvor die industriepolitische Funktionsfähigkeit direkter Ausbausubventionen. Die Ausweitung der Produktion, die Weiterentwicklung von Fertigungstechniken im Kapazitätsaufbau und in der branchenübergreifenden Forschung sowie die jährlich gesenkten Beihilfen halbierten die Preise für installierte Photovoltaikanlagen in Japan zwischen 1994 und 1998, während

sich die Produktionsmenge verdreifachte. Nicht nur kehrte das anlaufende Programm Mitte der 1990er-Jahre den Trend hin zu fallenden Weltmarktanteilen japanischer Fertiger zugunsten amerikanischer um, bis 2004 kontrollierten japanische Firmen geschätzte 52 Prozent des Weltmarktes für Photovoltaikmodule. In keiner der nennenswerten Fertigungsindustrien blieben in der zweiten Hälfte der 1990er-Jahre Forderungen nach einem eigenen Dächer-Programm aus. In Deutschland vermischten sich die Forderungen nach einer Imitation der japanischen Förderung mit Debatten um den Verlust der heimischen Fertigungsbasis. Obgleich mit der Zuspitzung der Debatten über den anthropogenen Klimawandel politische Problemzusammenhänge um die Energieversorgung entstanden waren, die nun kaum mehr Gefahr liefen, von kurzfristigen technischen, politischen oder Marktverschiebungen ausgeräumt zu werden, wurden um das Jahr 1995 vermehrt Sorgen geäußert, dass die deutsche politische Ökonomie im internationalen Wettstreit um die »Zukunftsindustrie Photovoltaik« abgehängt würde. Vor diesem Hintergrund versuchten sich Fertiger, Anlagenbauer und Forschungsinstitute in konsortienartigen Zusammenschlüssen und dem experimentellen Fabrikbau auch in Deutschland an der konzertierten Industrialisierung der Photovoltaik. Mit dem Auslaufen des 1.000-Dächer-Programms blieb die deutsche Förderung der Industrie über mehrere Jahre merklich hinter der der USA und Japans zurück (siehe Abbildung 5-2). Neben dem Forschungsministerium schaltete sich das Wirtschaftsministerium nach dem Auslaufen der Windenergie- und Dächerprogramme in die Investitionsförderung ein. Mit dem sogenannten 100-Millionen-DM-Programm für erneuerbare Energien von 1995 bis 1998 sollten neue Energietechniken dem Anspruch nach in der Breite in die Marktgängigkeit gehoben werden. Für die Photovoltaik sah das Ministerium 20 Millionen DM an Investitionsbeihilfen für 300 kleinere Aufdachanlagen vor. Im Vergleich zur amerikanischen Produktions- und der japanischen Nachfrageförderung blieb dieses Programm für die Photovoltaik weitgehend bedeutungslos.⁵⁶ Die Förderung der Technik auf privaten Hausdächern, diese Idee fand sich seit den 1970er-Jahren im Zusammenhang mit der Solarthermie, hatte aus Sicht der Regierung weniger den Zweck, eine ernsthafte Alternative für die Stromversorgung Deutschlands heranzuzüchten. Vielmehr sollte sie eine »Schaufensterfunktion« für den Export deutscher Technologie in sonnenreiche Länder haben, für die, so die Begründung, die Förderung weniger, aber gut platzierter Anlagen genügen sollte.⁵⁷

56 Joachim Nitsch, 2000: *Regenerative Energien im 21. Jahrhundert. Additiv oder Alternativ?* Vortragsmanuskript. 12. Internationales Sonnenforum. Freiburg: Forschungsvereinigung Sonnenenergie, 14.

57 Siehe etwa Deutsche Bundesregierung, 1994: *Antwort auf die Kleine Anfrage: Zukunft der Solarwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland*. 12/7185. Bonn, 3. Zahlreiche Dokumente seit den

Abbildung 5-2 Jährliche Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsausgaben für Photovoltaik in Deutschland, Japan und den USA, 1980–2007



Quelle: Internationale Energieagentur.

Zusätzlich – und nicht ganz zufällig zur selben Zeit – verlegten die wesentlichen Fertiger aus Deutschland, die ASE und Siemens, ihren Arbeitsschwerpunkt in der Photovoltaik nach den Übernahmen von ARCO und Mobil Solar in die USA. Siemens baute ARCOs bestehende Fertigung in Camarillo, Kalifornien, und in Japan aus. Im Ganzen schien Siemens, auch wenn es für mehrere Jahre ernsthaft die Entwicklung seiner erkaufte Weltmarktführerposition betrieb, die Übernahme von ARCO als Fehlschlag zu bewerten. Noch 1994 verklagte Siemens Solar Atlantic Richfield auf etwa 150 Millionen US-Dollar Schadenersatz, weil die eingekaufte Technik sich nicht wie erwartet entwickeln ließ.⁵⁸ Siemens hatte mit der Übernahme offenkundig gehofft, auf bestimmte Teile von ARCOs Dünnschichtforschung (CIS und a-Si) zuzugreifen. Die Fertigung amorpher Produkte wurde durch den Schutzrechtsangriff durch Solarex, die Fertigung von CIS-Komponenten durch produktionstechnische Probleme im Pilotstadium zu-

1970er-Jahren weisen auf die geringe Sonneneinstrahlung in der Bundesrepublik hin und, man fühlt sich an Shuman erinnert, empfehlen den Export in den Süden.

⁵⁸ Vgl. Siemens Unit Sues Arco For \$150 Million. In: *Los Angeles Times*, 2. März 1993.

rückgeworfen.⁵⁹ Die ASE schloss ihre Fabriken in Alzenau und Wedel 1994 und 1995 nach 40 Millionen DM Verlusten bei 60 Millionen DM Umsatz, womit nach Schätzungen auf einen Schlag 90 Prozent der Zellfertigung in Deutschland vom Netz gingen.⁶⁰ Übrig blieben eine kleine manuelle Fertigung für Welt- raumsolarzellen und einige Pilotanlagen. Die Krisenwahrnehmung verschärfend zog sich Wacker 1995 aus der Photovoltaik zurück.⁶¹ Forderungen nach einem technologiepolitischen Gleichziehen mit den USA und Japan, um die Fertigung in Deutschland zu halten, häuften sich seit 1994. Der Spiegel veröffentlichte Ende 1995 einen Artikel mit dem Titel »Starten oder einpacken«. Ohne Anschlussförderung, so der Tenor mit Verweis auf die Produktionsverlagerungen, bliebe die über Jahrzehnte aufgebaute Forschungsinfrastruktur ohne dazugehörige Industrie zurück. »Bei uns«, zitierte das Blatt einen Ingenieur, »wird ebenso lange an neuen Technologien geforscht, bis sie reif sind für die Produktion im Ausland.«⁶² Insgesamt wiederholte der Artikel die Problemdiagnosen, die schon seit den 1970er-Jahren um die Branche kursierten, und sprach sich indirekt für groß angelegte Nachfrageförderungsprogramme aus:

Weil die Preise hoch bleiben, stockt der Absatz. Weil der Absatz nicht gesichert ist, wagt kein Hersteller den Sprung in die Massenproduktion. Das Ergebnis dieses Teufelskreises ist eine zwar langsam wachsende, aber energiewirtschaftlich und ökologisch bedeutungslose Weltjahresproduktion von PV-Modulen [...]. »Wer zuerst springt, verliert«, lautet das Standard-Argument. Denn die jetzt verfügbare Technik sei in 10 oder 20 Jahren bereits überholt.⁶³

Ähnlich alarmierende Meldungen häuften sich mit dem Rückzug der ASE in Wedel. Grüne und SPD im Bundestag warnten mit einer Serie von Anfragen vor einer »Forschungshalde«,⁶⁴ einem »technologischen Fadenriss im Bereich Produktionstechnologie von Solarzellen«⁶⁵ und davor, dass »die deutschen Anbieter [...] diesen weltweit zukunftssträchtigen Markt aufgrund fehlender öffentlicher Unterstützung [...] an japanische und amerikanische Unternehmen [...]

59 Siehe Armin Räuber, Werner Warmuth und Wolfram Wettling, 2003: *Photovoltaische Solarenergie- nutzung III*. 0329727. Schlussbericht. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 48, 117.

60 Vgl. Ludwig-Bölkow-Systemtechnik, 1995: *Phasing in Solar Energy: What Does It Cost? A Concept for the 1996 Solar Plant*. Abridged Version. München: Studie im Auftrag von Greenpeace Deutschland.

61 Gerhard P. Willeke und Armin Räuber, 2012: On the History of Terrestrial PV Development: With a Focus on Germany. In: *Semiconductors and Semimetals* 87, 7–48, hier: 18, 42.

62 Starten oder einpacken. In: *Der Spiegel* 51, 1995, 156–161, hier: 157.

63 Ebd.: 159.

64 Deutscher Bundestag, 1996: *Große Anfrage, Unterstützung der Photovoltaik durch die Bundesregierung*. 13/5230. Bonn, 3.

65 Deutscher Bundestag, 1995: *Kleine Anfrage: Zukunftsperspektiven für die Photovoltaikindustrie in Deutschland*. 13/1974. Bonn, 2.

verlieren«. ⁶⁶ Eurosolar und seine deutschen Mitglieder begannen 1994 vermehrt, eine Imitation des japanischen 70.000-Dächer-Programms zu fordern, anfangs ein europäisches 100.000-Dächer-Programm zum Anschluss an einen »der umsatzstärksten industriellen Märkte des nächsten Jahrhunderts« und die einzige »Halbleitertechnologie, bei der die Europäische Union gegenwärtig einen Weltmarktanteil von einem Drittel hat«. ⁶⁷ Schon 1994 war die Forderung nach einem deutschen 100.000-Dächer-Programm im Bundestagswahlprogramm der SPD enthalten. ⁶⁸ 1996 brachte ihre Fraktion einen Entwurf für ein Gesetz zur Förderung der industriellen Solarzellentechnologie in den Bundestag ein. Mit 1 Milliarde DM an Investitionszulagen für 300 MWp Leistung über fünf Jahre, versprach der Entwurf, »könne die dauerhafte Wettbewerbsfähigkeit der Photovoltaikindustrie auf einem der größten Halbleitermärkte der kommenden Jahrzehnte« sichergestellt werden. ⁶⁹

Greenpeace Deutschland begann 1995 mit einer Reihe von Veröffentlichungen und Initiativen, sich für eine industrielle Wiederbelebung der Photovoltaik in Deutschland einzusetzen. Mit einer Neuauflage einer schon 1988 von der Ludwig-Bölkow-Systemtechnik angefertigten Machbarkeitsstudie kostengünstig produzierender Photovoltaikfabriken verbreitete Greenpeace unter dem Titel »Was kostet der Solar-Einstieg?« eine Analyse möglicher Kostendegression in der Volumenfertigung. ⁷⁰ Die Studie wurde innerhalb von drei Monaten 3.000-mal angefordert, 30 Unternehmen meldeten sich bei Greenpeace mit Interesse an Umsetzung der Pläne, der Organisation wurden rund 30 Grundstücke kostenlos angeboten und zahlreiche Ministerien fragten die Studie an. ⁷¹ Unter anderem in der Berliner alternativ-technischen Gruppierung, die 1996 die Vorläufer des Modulherstellers Solon und 2001 den Zellhersteller Q-Cells hervorbringen sollte, schienen LBST-Studie und Greenpeace-Kampagne, wenn auch verzögert, die

66 Deutscher Bundestag, 1994: *Kleine Anfrage: Zukunft der Solarwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland*. 12/7083. Bonn, 1.

67 Siehe Eurosolar, 1994: 100.000-Dächerprogramm für die Europäische Union. In: *Solarzeitalter* 1, 4–5, 4.

68 SPD, 1994: *Das Regierungsprogramm der SPD. Reformen für Deutschland*. Bonn, 29.

69 Deutscher Bundestag, 1996: *Entwurf eines Gesetzes für die Förderung der industriellen Solarzellentechnologie (SzFG). Gesetzentwurf der Fraktion der SPD*. 13/3812. Bonn, 2.

70 Siehe Ludwig-Bölkow-Systemtechnik, 1995: *Phasing in Solar Energy: What Does It Cost? A Concept for the 1996 Solar Plant*. Abridged Version. München: Studie im Auftrag von Greenpeace Deutschland; Dieter Strese und Jörg Schindler, 1988: *Kostendegression Photovoltaik. Fertigung multikristalliner Solarzellen und ihr Einsatz im Kraftwerksbereich*. Forschungsbericht. Ottobrunn: Ludwig-Bölkow-Systemtechnik.

71 Sven Teske, 1996: Solartechnik in Deutschland. Oder eine Branche steht sich selbst im Weg. In: *Sonnenenergie* 4, 40–42, hier: 40.

Motivation zum Aufbau einer eigenen Fertigung gestärkt zu haben.⁷² Die neue Bölkow-Studie errechnete einen Investitionsbedarf von lediglich 13,5 Millionen DM für eine weitergehend automatisierte integrierte Produktionsstätte mit 5 MWp jährlicher Produktionsmenge auf Basis der Produktionsstätte in Wedel, die die Verbraucherpreise um 40 Prozent senken, und von 26,1 Millionen DM für eine 20 MWp starke Fabrik, die Preissenkungen von 50 Prozent ermöglichen sollte.⁷³ Machbarkeitsstudien wie die von Greenpeace, die an die wirtschaftliche Vernunft der Privatwirtschaft appellierten, in die Volumenfertigung zu investieren, erschienen vermehrt in der zweiten Hälfte der 1990er-Jahre. Ebenfalls im Jahr 1996 veröffentlichte ein von der europäischen Forschungsverwaltung finanziertes Projekt aus Wissenschaftlern und Vertretern der ASE, BP Solars und des britischen Siliziumspezialisten Crystalox eine Machbarkeitsstudie zu einer 500 MWp großen integrierten Fertigung. In sechs verschiedenen technologischen Varianten einer solchen mit 500 Millionen Euro Investitionen veranschlagten enorm großen Fabrik, so das aufsehenerregende Ergebnis, sollten sich die Produktionskosten von ungefähr 3,30 Euro auf 1 Euro per Wattpeak kristalliner Modulleistung reduzieren lassen.⁷⁴ Im Jahr 1999 veröffentlichte das Wirtschaftsprüfungsnetzwerk KPMG ein Gutachten im Auftrag von Greenpeace Niederlande. Dieses Gutachten bestätigte einerseits die Verlässlichkeit vorheriger Studien. Andererseits bekräftigte es die Problemwahrnehmung von Aktivisten, dass die Photovoltaik, dadurch dass sie in einer dreißig Jahre anhaltenden Entwicklungsfalle verharre, einen Ausnahmefall darstelle, in dem Regierungen durchaus sinnvoll im größeren Stil in die Industrie intervenieren könnten.⁷⁵

Greenpeace Deutschland flankierte die Bölkow-Fabrikstudie mit zwei weiteren Kampagnen, einer Sammlung von Kaufinteressenten kleiner Aufdachanlagen und einer Szenario-Analyse zum Arbeitsplatzgewinn, der mit einem ambitionierten Ausbau der Photovoltaikförderung in Deutschland möglich sei.

72 Arbeitsgemeinschaft Solarfabrik Wuseltronik, 1996: *Brief an Greenpeace Deutschland. Solarkampagne »Cyrus-Angebot«*. Berlin: Stefan Krauter, 2011: PV in Berlin – How It All Began: The Story of Solon, Q-Cells, PV in Brazil. In: Wolfgang Palz (Hg.), *Power for the World. The Emergence of Electricity from the Sun*. Singapur: Pan Stanford, 373–382, 374.

73 Ludwig-Bölkow-Systemtechnik, 1995: *Phasing in Solar Energy: What Does It Cost? A Concept for the 1996 Solar Plant*. Abridged Version. München: Studie im Auftrag von Greenpeace Deutschland.

74 Siehe Timothy Bruton et al., 1996: *Multi-Megawatt Upscaling of Silicon and Thin Film Solar Cell and Module Manufacturing. MUSIC FM. Final Report, APAS, Integration of Renewable Energies in Economy and Society*. Brüssel: Directorate-General Science, Research and Development, European Commission.

75 KPMG Bureau voor Economische Argumentatie, 1999: *Solar Energy: From Perennial Promise to Competitive Alternative*. Final Report on the Commission of Greenpeace Nederland. Hoofddorp, 36–38.

Die Organisation sammelte Interessenbekundungen von 4.300 Käufern von kleinen standardisierten Photovoltaikanlagen (2 kWp), was mit 8,6 MWp Leistung beinahe dem Vierfachen der im selben Jahr in Deutschland installierten Menge entsprach. Diese bewarb sie als Grundstock für eine neue Fertigungsstätte in Deutschland und trat damit mit den in Deutschland vertretenen größeren Händlern und Systemhäusern in Preisverhandlungen ein (Greenpeace hatte eine ähnliche Kampagne zur Beeinflussung von Investitionsentscheidungen einige Jahre zuvor für FCKW-freie Kühlschränke durchgeführt). Im Anschluss an die Verhandlungen mit fünf Großhändlern und Systemhäusern, Solar-Energie-Systeme von Georg Salvamoser aus Freiburg, RAP Mikrosysteme aus Wernigerode, IBC Solar aus Bad Staffelstein und den zwei BP-Solar-Händlern Pro Solar aus Ravensburg und AET Solar aus Sulzbach, konnte Greenpeace verkünden, dass die Anlagen bei entsprechender Abnahmemenge für annähernd 25.000 DM zu haben seien, ein Preis, der übliche Angebote um fast die Hälfte unterschritt.⁷⁶ Zusätzlich gab die Organisation in Reaktion auf die politischen Verhandlungen zur Liberalisierung des Strommarktes ein Gutachten des Fraunhofer ISE in Auftrag, das zu erwartende Kosten und Arbeitsplatzeffekte eines, wie es damals hieß, ambitionierten Förderprogramms berechnete, das zwischen 1998 und 2010 zu einem Kapazitätszubau von 9.750 MWp in der Windkraft und 1.200 MWp in der Photovoltaik führen sollte. Bis 2010, so die Berechnungen aus Freiburg, sollten sich, je nach Produktivitätsentwicklung, 17.000 bis 29.000 Vollzeit Arbeitsplätze durch ein Förderprogramm gewinnen lassen, das über degressiv gestaltete Einspeisevergütungen für Photovoltaik und Windkraft 10 DM jährliche Mehrbelastung für einen durchschnittlichen Vierpersonenhaushalt bedeuten würde.⁷⁷

Die zivilgesellschaftlichen Aktivitäten zur Förderung der Photovoltaik in Deutschland trafen keineswegs auf einhellige Unterstützung. Mittlerweile hauptsächlich von umweltpolitisch motivierten Käufern, von kommunalen und von Länderinitiativen abhängige Händler, Installateure und Systemhäuser wandten sich entschieden gegen die Greenpeace-Kampagnen. Nicht nur sahen die Händler es überhaupt nicht gerne – genau dieser Konflikt war schon in den US-Förderprogrammen der 1970er-Jahre entstanden –, dass mögliche zukünftige Preise öffentlich diskutiert wurden, die etablierten Firmen nahmen die Greenpeace-Vision eines Photovoltaikmarkts, in dem eine neue Fabrik innerhalb kurzer

76 Joachim Berner, 1996: PV – ein Kostenproblem? In: *Sonnenenergie* 2, 10–11; Greenpeace Deutschland, 1996: *Greenpeace Solar Project. Cyrus Solar Systems*. Evaluationsbericht. Hamburg; Sven Teske, 1996: Solartechnik in Deutschland. Oder eine Branche steht sich selbst im Weg. In: *Sonnenenergie* 4, 40–42, hier: 41.

77 Siehe Volker U. Hoffmann und Georg Hille, 1997: *Solar-Jobs 2010: Neue Arbeitsplätze durch neue Energien*. Studie im Auftrag von Greenpeace Deutschland. Freiburg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme; Sven Teske, 1998: Solar-Jobs. In: *Sonnenenergie* 1, 2010, 22–24.

Zeit 5 MWp an standardisierten Anlagen absetzte, als existenzbedrohend wahr. Unter Androhung einer Medienoffensive klagte der Deutsche Fachverband Solarenergie, übrigens auch im Namen jener Händler, die Greenpeace Angebote übersandt hatten, dass die Kampagne das Geschäft von Photovoltaikhändlern beschädigt habe und in den Greenpeace-Plänen keine systematische Rolle für etablierte Händler vorgesehen sei.⁷⁸ Der Konflikt zwischen der Umweltorganisation und den Installationsbetrieben wurde nie gelöst, sondern eskalierte in der Öffentlichkeit. Er wurde dadurch aus dem Weg geräumt, dass die Politik die Greenpeace-Forderungen bis zum Regierungswechsel 1998 nicht umsetzte und etablierte Fertiger ohne eine Aussicht auf marktausweitende Förderung ein Jahr nach der zugesagten Abnahmemenge nicht unmittelbar im erhofften Ausmaß investierten.⁷⁹ Dennoch schien allein die Medienpräsenz der Greenpeace-Cyrus-Anlagen genügt zu haben, den Markt für einige Zeit unter Preisdruck zu setzen.⁸⁰

Die Sorgen um den Verlust der Fertigungsbasis führten in Deutschland wie zuvor in den USA und in Japan zu von der Öffentlichkeit weitgehend unbemerkten koordinierten Versuchen, in konsortienartigen Zusammenschlüssen einen Neuanfang in der industriellen Produktion der Technologie zu unternehmen. Die Initiative dazu ging in Deutschland nicht von der Politik aus, sondern von einem Komplex aus öffentlichen Forschungsinstituten, regionalen Interessen und in der Branche engagierten Firmen. Das Wirtschaftsministerium bemerkte schon im April 1994, dass im Umfeld der Forschungsinstitute mit Schwerpunkten in der Photovoltaik »eine konzertierte Aktion der Hersteller, EVU und Wissenschaftseinrichtungen mit staatlicher Mitwirkung vorgeschlagen« würde, »um eine deutliche Kostensenkung durch Massenproduktion und -einsatz sowie Innovation zu erreichen«. Die Vision des deutschen Photovoltaikkomplexes sah vor, »mit einer zugebauten Fertigungskapazität von ca. 20 bis 30 MWp/Jahr [...] in Deutschland eine Kostenreduzierung bei PV-Anlagen um mindestens 50 % zu erreichen«, um »den deutschen Weltmarktanteil zu sichern«.⁸¹ Derartige Initiativen wurden, wenn auch in kleinerem Maßstab als in der Beschreibung des Ministeriums, auf drei Wegen umgesetzt: in mehreren öffentlich geförderten und von Forschungsinstituten verwalteten Arbeitskreisen, in der Verbundfor-

78 Deutscher Fachverband Solarenergie, 1995: *DFS-Forderungen zur Greenpeace-Aktion »Solarfabrik '96«*. An Greenpeace übersandtes Memorandum. Freiburg.

79 Siehe etwa die Stimmen in: Kollekte für die Sonne. In: *Die Zeit*, 23. Februar 1996, 36; Sven Teske, 1998: Verschläft das BMWi den weltweiten Solarboom? In: *Sonnenenergie* 2, 34–37.

80 Siehe Gerhard Stryi-Hipp, 1997: Zukünftige Strukturen des deutschen Photovoltaikmarkts. In: Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut (Hg.), *Zwölftes Symposium Photovoltaische Solarenergie*. 26. bis 28. Februar, Regensburg, 13–21, 14.

81 Deutsche Bundesregierung, 1994: *Antwort auf die Kleine Anfrage: Zukunft der Solarwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland*. 12/7185. Bonn, 3.

sung und in der Kooperation im Fabrikbau für neue, technologisch unterausgestattete Fertiger in der deutschen Photovoltaikbranche. Neben den seit den 1980er-Jahren veranstalteten Seminaren zur Vernetzung der Branche wurden während der 1990er-Jahre etliche branchenübergreifende Arbeitskreise zwischen Industrie und Forschungsinstituten gegründet.⁸² Die Mehrzahl der seit Mitte der 1990er-Jahre in Deutschland entwickelten technischen Fertigkeiten sollte in der im Rahmen dieser Verbundstrukturen erarbeitet werden. In Bayern, das seit dem Zweiten Weltkrieg eine lange Geschichte in der branchenübergreifenden koordinierten Industrieförderung hat (Berger 2002: 9–11), schlossen sich im Oktober 1994 auf Initiative der Bayerischen Forschungsstiftung sechs Universitäten und eine Reihe von in Bayern gelegenen außeruniversitären Forschungseinrichtungen mit Industrieunternehmen zum Forschungsverbund Solarenergie (FORSOL) zusammen. In Kooperation mit Shell, Siemens, der ASE in Alzenau und zahlreichen Firmen aus anderen Branchen, wie etwa der Glas- und Keramikindustrie und Anlagenspezialisten aus verschiedenen Feldern, arbeitete der Verbund und seine Nachfolger an Herstellungsverfahren von CIS- und Silizium-Dünnschichttechniken.⁸³ Seit 1990 kooperierte Bayer Solar, das mit eigenen Entwicklungen und der Technologie von Wacker 1994 eine kleine Fertigung von multikristallinem Silizium und Siliziumscheiben in Freiberg aufgebaut hatte, die Freiburger Elektronikwerkstoffe, Siemens Solar und die ASE in vom Forschungsministerium geförderten Verbundprojekten mit elf Forschungsinstituten und Universitätslabors aus den Materialwissenschaften, der Messtechnik und der Photovoltaik am Verständnis von Defekten und Unreinheiten in Siliziumvorprodukten und Siliziumzellen.⁸⁴ Der Verbund schloss an die Arbeiten

82 Wichtige frühe bundesweite Plattformen sind die bis 1996 (und dann erst wieder seit 2004) vom Forschungsministerium organisierten Statusseminare Photovoltaik, die seit 1985 jährlich vom Ostbayerischen Technologie-Transfer-Institut organisierten Symposien Photovoltaische Solarenergie, die seit 1987 von Forschungs- und Umweltministerium organisierten zweijährlichen vertraulichen Strategieggespräche in Glottertal und die seit 1990 jährlichen Abstimmungskonferenzen unter Forschungsinstituten des Forschungsverbunds Sonnenenergie.

83 Auf die Struktur dieser Initiativen lässt sich schließen aus: Hilmar von Campe, 2000: *Gasphasenabscheidung multikristalliner Silicium-Dünnschichtsysteme auf Fremdsubstraten*. FKZ0328835B. Schlussbericht für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Alzenau: Angewandte Solarenergie – ASE; Richard Einzinger, Franz Karg und Wolfgang Riedl, 1999: *Technologieentwicklung für umweltstabile CIS-Solarmodule*. PN0329218B. Schlussbericht für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. München: Siemens Solar; Projektträger Forschungszentrum Jülich, 1996: *Statusreport 1996 Photovoltaik; anlässlich des Statusseminars Photovoltaik 1996 in Bad Breisig vom 23. bis 25. April 1996*. Jülich: Programm Energieforschung und Energietechnologien, Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie: Kap. 17, 18, 36; Wissenschaftsrat, 1999: *Stellungnahme zur Energieforschung*. Köln, 160.

84 Die frühen Ergebnisse des Verbundes sind in der Berichtssammlung des BMWT-Statusseminars Photovoltaik 1996 festgehalten. Siehe Projektträger Forschungszentrum Jülich, 1996: *Statusre-*

mit Folgeprojekten bis in die Gegenwart an, legte einflussreiche Grundlagen für Analyseverfahren von Defekten und damit in Richtung effektiverer Getter- und Passivierungsverfahren.⁸⁵ Unmittelbar vom Rückzug der deutschen Fertiger motiviert initiierten das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg und das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie in Aachen 1995 ein anfangs von fünf Stadtwerken und ab 1999 vom Wirtschaftsministerium finanziertes Konsortium aus mittelständischen Herstellern von Produktionsanlagen für verschiedene andere Branchen, genannt Innovative Produktionstechnologien für Solarzellen (SOLPRO).⁸⁶ Nicht nur führte das Konsortium eine Reihe von zuvor unverbunden arbeitenden Spezialmaschinenbauern im Hinblick auf zukünftige integrierte Fertigungskonzepte in der Photovoltaik halbjährlich zusammen, es entwarf eine Darstellung der Entwicklungsprobleme der Industrie, die an der Struktur der Branche statt an der Nachfrageentwicklung oder der Produktionsmenge ansetzte:

Though R&D in PV has to be assessed as generally very successful, some tendencies can be criticized [with] respect to technological progress. A fast spread of innovative equipment is frequently hindered by the natural individual interest of the solar cell producing enterprises. Very often process details are proprietary and consumables developments are exclusive. Thus innovation is either very expensive or of only little interest for the supplying industry. In the microelectronic industry, equipment rather than semiconductor [manufacturers] walk in front in order to [realize] technological progress in process development. This has been taken as an example for the SOLPRO approach.⁸⁷

Die Mitgliederzahl bei SOLPRO wurde in späteren Projektphasen kontinuierlich erweitert. 1997 wurde es in einer Neuauflage um weitere Anlagenbauer ergänzt, die mit circa 50 Prozent Förderquote gemeinsam identifizierte Entwicklungsprojekte durchführten. 1999 wurden zwei Fertiger, Shell Solar und Bayer

port 1996 Photovoltaik, anlässlich des Statusseminars Photovoltaik 1996 in Bad Breisig vom 23. bis 25. April 1996. Jülich: Programm Energieforschung und Energietechnologien, Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie: Kap. 1–5.

85 Siehe den späteren Überblick der Projektergebnisse bei Kurt Roy und Dieter Karg, 2002: *Kostengünstige kristalline Siliciumscheiben und -folien für Solarzellen (KoSi)*. FKZ0329858A–K. Schlussbericht zum Verbundprojekt für das Bundesministerium für Wirtschaft. Freiburg.

86 Siehe zu SOLPRO I: Photovoltaik marktfähig machen. In: *Zeitung für Kommunale Wirtschaft*, 1999, März; Hartmut Nussbaumer et al., 2007: Forschung für neue Technologien und ihre Wechselwirkung mit der Industrie – vom Mittelständler zum Global Player. In: *Themen 2007, Produktionstechnologien für die Solarenergie. Jahrestagung des Forschungsverbands Sonnenenergie in Kooperation mit dem Bundesverband Solarwirtschaft*. Hannover, 108–112, 110.

87 Ralf Preu et al., 2000: Innovative Production Technologies for Solar Cells – SOLPRO. In: Hermann Scheer (Hg.), *Sixteenth European Photovoltaic Solar Energy Conference: Proceedings of the International Conference Held in Glasgow*, 1451–1454, hier: 1451.

Solar, in das Konsortium aufgenommen.⁸⁸ 2001 wurden in SOLPRO IV auch jüngere Zell- und Modulhersteller, die 1992 gegründete und seit 1997 in der Zellfertigung aktive Ersol aus Erfurt, die 1999 gegründete Q-Cells aus Thalheim und RWE-Schott Solar, das Nachfolgeunternehmen der ASE, in den Verbund integriert.⁸⁹ In der letzten Phase von Anfang 2004 bis Ende 2005 bestand das Konsortium aus dreizehn Firmen, die auf verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette koordiniert Verbundprojekte durchführten.⁹⁰ Die Arbeitsgebiete des Konsortiums reichten von umfassenden Entwürfen für die Handhabungstechnik von Zellen in Produktionslinien über Transfermöglichkeiten bisher selten in der Photovoltaik gebräuchlicher Verfahren, etwa aus der Laser- und Plasmatechnologie, bis hin zu Optimierungsmöglichkeiten bestehender Anlagen, etwa zum bruchfreien Prozessieren dünnerer und größerer Scheiben oder zum Siebdruck der Kontakte. Zu großen Teilen sollten die Anlagenbauer, die in SOLPRO zusammengbracht wurden, im Folgejahrzehnt nicht nur die deutsche, sondern die globale Industrie mit Fertigungsanlagen ausrüsten. SOLPRO blieb einerseits über mehrere Jahre eine der wesentlichen wissenschaftlich-technischen Koordinationsplattformen zwischen der deutschen Forschungsszene und der Schnittstelle zwischen Anlagenbau und Fertigung. Andererseits war es Teil der Entwicklung einer wesentlichen Eigenart der deutschen Photovoltaikindustrie: ihrer verhältnismäßig weitreichenden Arbeitsteilung und modularen Strukturen.

Während der 1990er-Jahre wurden in Deutschland mehrere neue Fertiger gegründet, häufig durch Akteure aus dem Milieu der Solarinitiativen und Umweltbewegungen; sie wurden von jener Welle spekulativer Gründungsfinanzierung getragen, die als *Neuer Markt* bekannt werden sollte (Bruns/Ohlhorst/Wenzel 2009: 252). Im Unterschied zu den Fertigern vorheriger Jahrzehnte, die sich zumeist entweder auf die wertschöpfungs- und forschungsintensivere Wafer- und Zellfertigung konzentrierten oder die Zellfertigung mit der Verschaltung, Laminierung und Rahmung der Zellen zu Modulen integrierten, entstand in Deutschland eine Reihe von Kleinfirmen, die sich anfangs bloß an der Modulherstellung und deren Vertrieb und Installation versuchte. Diese neuen und

88 Dirk Untiedt et al., 2002: Innovative Production Technologies for Solar Cells – SOLPRO III. In: *PV in Europe. From PV Technology to Energy Solutions: Proceedings of the International Conference Held in Rome, 7–11 October 2002*.

89 Ralf Preu et al., 2004: Innovative and Efficient Production Processes for Silicon Solar Cells and Modules – SOLPRO IV. In: Winfried Hoffmann (Hg.), *Nineteenth European Photovoltaic Solar Energy Conference. Vol. 1: Proceedings of the International Conference Held in Paris, 7–11 June 2004*, 978–981.

90 Der letzte Abschlussbericht enthält zusätzlich viele Einsichten in die konkreten technischen Arbeiten des Verbundes. Siehe Gernot Emanuel et al., 2006: *Expertenkreis: Innovative und rationelle Fertigungsverfahren für Silizium-Photovoltaikmodule – SOLPRO V*. 0329868C. Schlussbericht für das Bundesumweltministerium. Fraunhofer ISE, Fraunhofer IPT.

zumeist im Vergleich zu den früheren weitgehend autarken Abteilungen von Großunternehmen forschungstechnisch rückständigen Firmen entwickelten sich seit der zweiten Hälfte der 1990er-Jahre zu einer der frühen Andockstellen für kleine, ebenfalls in der Photovoltaik verhältnismäßig unerfahrene Maschinenbauer, und für den um die früheren Platzhirsche aufgebauten Komplex aus Forschungsinstituten. Im Jahr 1996 gründete Georg Salvamoser, der zuvor mit Installationsbetrieben für Solaranlagen in der Branche aktiv war, die Solar-Fabrik mit Fertigungsanlagen der seit den frühen amerikanischen Förderprogrammen auf den Photovoltaikanlagenbau spezialisierten Spire, die in den späten 1990er-Jahren noch immer zu bis zu 80 Prozent von Regierungsverträgen abhängig war. Im Jahr 2002 berichtete das Freiburger Unternehmen schon, dass die Löt-, Verschalt- und Laminieranlagen für eine dritte Fertigungslinie mit kooperativ entwickelten Maschinen von deutschen Ausrüstern aus anderen Sektoren aufgebaut wurden.⁹¹ Ähnliche Vorgänge kooperativen Anlagenbaus entwickelten sich um die 1996 in Berlin gegründeten Vorläufer des Modulherstellers und Systemanbieters Solon, der mit relativ neu in der Photovoltaik engagierten Werkzeugherstellern eine automatisierte Fertigungsstraße für Module in die Fertigung überführte, die insbesondere in der Lamination – der Hersteller entstammte einem umweltpolitisch engagierten Ingenieursmilieu – mit einem wesentlich geringeren Energieeinsatz als vorherige Verfahren auskam.⁹² In Dresden begann 1996 die 1993 gegründete Solarwatt, Module in Serie herzustellen. Wie mehrere Modulhersteller arbeitete sie nach dem Jahr 2000 zu großen Teilen als OEM-Fertiger, ersetzte später die alte AEG-Zellfertigung in Heilbronn und vertrieb selbst weiterentwickelte größtenflexible Verschaltungsmaschinen an ihre Konkurrenten.⁹³ Mit zunehmender Automatisierung integrierte Solarwatt später Robotik von KUKA, einem Zulieferer der Automobil- und Waffenindustrie, Laminatoren von Meier, einem in den verschiedensten Branchen tätigen Neustädter Prozessanlagenbauer, von Bürkle, einem im Anlagenbau für die Holz- und Plastikverarbeitung aktiven Unternehmen, und Stringer von Teamtechnik, einem Automatisierungsexperten aus der Automobilindustrie. Obwohl es mehrere Jahre dauerte, bis die Modulherstellung auf den heutigen Stand der Technik gelangte und es in den späten 1990er-Jahren noch viel Raum zur Optimierung

91 Solar-Fabrik AG, 2002: *Unternehmensbericht 2002*. Freiburg, 46; Consors Capital, 2004: *Solar-Fabrik AG. Die Megawatt-Klasse. Unternehmensstudie*. Berlin, 18.

92 Beschreibungen der Berliner Gruppe, aus der Solon und später Q-Cells hervorgingen, finden sich bei Monika Maron, 2009: *Bitterfelder Bogen. Ein Bericht*. Frankfurt a.M.: Fischer, 39–46; Stefan Krauter, 2011: PV in Berlin – How It All Began: The Story of Solon, Q-Cells, PV in Brazil. In: Wolfgang Palz (Hg.), *Power for the World. The Emergence of Electricity from the Sun*. Singapur: Pan Stanford, 373–382.

93 Sonnenkönig von Sachsen. In: *Sonne, Wind & Wärme* 3, 2004, 52–54, hier: 53.

und Innovation gab, stellte sie im Vergleich zur Silizium-, Wafer- und Zellfertigung ein verhältnismäßig einfach zu beherrschendes industrielles Feld dar, was die hohe Anzahl von Industrieintritten unerfahrener Kleinfirmen erklärt.⁹⁴

Dennoch entstanden auch in diesen anspruchsvollen Feldern seit Mitte der 1990er-Jahre mehrere neue Firmen in Deutschland. Die 1993 von Forschern der Universität Konstanz als Systemhaus gegründete Sunways fertigte seit 1996 kleine Wechselrichter für Solaranlagen. 1999 begann Sunways mit der exklusiven Fertigung einer in den Konstanzer Labors entwickelten Siliziumphotovoltaikzelle.⁹⁵ In Baden-Württemberg entwickelte sich um Sunways, die Solar-Fabrik, den ebenfalls in Konstanz vertretenen Anlagenbauer Centrotherm und eine Reihe weiterer Maschinenbauer sowie mehrere der für die Photovoltaikindustrie wichtigsten Forschungsinstitute Deutschlands, das Fraunhofer ISE, das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, das Stuttgarter Institut für Physikalische Elektronik, die Universität Konstanz und das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), ein in den Folgejahren sehr einflussreicher Komplex industrieller Entwicklungsarbeit und die regionale Grundlage etlicher Entwicklungserfolge.⁹⁶ Im Jahr 1997 gründete Jürgen Hartwig in Erfurt den Zellhersteller ErSol, zuerst mit von der ASE in Wedel hinterlassenen Produktionsanlagen, in den folgenden Jahren mit einer selbst entwickelten Fertigung.⁹⁷ Ebenfalls in Erfurt gründete Hubert Aulich, vormaliger Geschäftsführer von Siemens Solar, im Jahr 1997 PV Silicon, das sich auf die Siliziumreinigung, die Kristallherstellung und das Sägen von Siliziumscheiben spezialisierte und über die nächsten Jahre neben Bayer in Freiberg zu einem der zentralen Zulieferer der neuen Zellfertiger wurde.

Zeitgleich mit den Neugründungen der zweiten Hälfte der 1990er-Jahre begannen im Jahr 1997 auch etablierte Fertiger, erneut über den Fabrikbau in Deutschland zu verhandeln. Die Vorreiter dieser Bewegung waren Shell Solar und die ASE. Shell kündigte Anfang 1998 nach der Brent-Spar-Affäre ein größeres Investitionsprogramm im Bereich regenerativer Energien an. In diesem Rahmen begann der Konzern mit dem Glashersteller Pilkington in Gelsenkir-

94 Siehe zu dieser Einschätzung: Armin Räuber, Werner Warmuth und Wolfram Wetling, 2003: *Photovoltaische Solarenergienutzung III*. 0329727. Schlussbericht. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 81.

95 Roland Burkhardt, 2005: *Rede zur Eröffnung der Sunways Production GmbH*. Arnstadt: Sunways AG.

96 Siehe die Beschreibung der baden-württembergischen Industrielandschaft in: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg 2008. *Antwort auf den Antrag: Situation der Photovoltaikindustrie*. 14/2766. Stuttgart: Landtag Baden-Württemberg.

97 Siehe: Es ist ein von außen provoziertes Niedergang. In: *Südtüringer Zeitung Online*, 23. März 2013; Gerhard P. Willeke und Armin Räuber, 2012: On the History of Terrestrial PV Development: With a Focus on Germany. In: *Semiconductors and Semimetals* 87, 7–48, 27.

chen, hundert Kilometer entfernt von seiner niederländischen Forschungsstätte für Photovoltaik, die damals größte Solarzellenfabrik der Welt zu errichten, mit einem geplanten Investitionsumfang von 50 Millionen Mark und einer geplanten Kapazität von 25 MWp in der letzten Ausbaustufe. Der Bau wurde von der nordrhein-westfälischen Landesregierung mit 10 Millionen und vom Forschungsministerium mit 7 Millionen DM subventioniert.⁹⁸ Um den Fabrikbau in Gelsenkirchen entstand eine beachtliche Euphorie. Nicht nur war sie der zeitgenössischen Meinung nach die erste westliche Fabrik für polykristalline Solarzellen und -module mit seit 25 Jahren weltweit beschworenen modernen Automatisierungsansätzen und Produktionsmengen, sie führte auch zu Hoffnungen in der Aktivistenszene, der Forschungsadministration und der Politik, in ihrem Umfeld ein deutsches Hightech-Solarcluster im Ruhrgebiet schaffen zu können.⁹⁹ Schon im Aufbau der ersten Produktionslinie bis Ende 1998 arbeitete man in Shells Fabrik mit zahlreichen für das nächste Jahrzehnt kristalliner Zellproduktion wichtigen technischen Entwicklungen, etwa mit fließbandintegrierten Strukturätz-, Passivier-, Siebdruck- und Prüfanlagen. Außerdem erlaubte der Betrieb der ersten Linie dem Konzern, seinen Entwicklungspartnern und Zulieferern, vor allem dem Fraunhofer ISE, das zur Begleitung des Fabrikbaus ein Servicezentrum und Labor in Gelsenkirchen errichtet hatte, insoweit Erfahrungen für die zweite ursprünglich für Ende 1999 geplante Linie zu sammeln, als sämtliche wesentlichen Fertigungsprozesse neu konzipiert wurden, der Wirkungsgrad der Zellen von 13 auf 15 Prozent erhöht und die Stärke der verwendeten Siliziumscheiben ohne allzu gravierend erhöhten Ausschuss von 330 auf 270 µm gesenkt werden konnten.¹⁰⁰ Die ASE, noch immer im Besitz von DASA und RWE, begann ebenfalls 1998 mit der Errichtung einer neuen Fertigungsstätte im bayerischen Alzenau. Das Unternehmen plante, das in den USA eingekaufte, im Rahmen von PVMaT weiterentwickelte und in den USA im Betrieb getestete EFG-Ziehverfahren in eine 12 bis 13 MWp große integrierte Modulfertigung zu überführen. In einer Art *Pork-Barrel*-Vereinbarung wurde auch diese Fertigung mit 5 Millionen DM vom Forschungsministerium und

98 Steffen Nowak, 2000: *Solarförderung (Photovoltaik) bei Produzenten. Strategien und Maßnahmen im Ausland*. Endbericht im Auftrag des Schweizer Bundesamtes für Energie. Programm Energiewirtschaftliche Grundlagen. St. Ursen, 13.

99 Siehe: Mit Sonne Kohle machen. In: *Financial Times Deutschland*, 20. September 2002; Joachim Berner, 1998: PV im Aufschwung. In: *Sonnenenergie* 2, 10–11, hier: 10; Deutsche Shell AG, 2000: *Zukunftstechnik aus dem Ruhrgebiet. Bundeskanzler Schröder besichtigt neue Shell Solarzellenfabrik*. Pressemitteilung, Hamburg; Gerhard P. Willeke und Armin Räuber, 2012: On the History of Terrestrial PV Development: With a Focus on Germany. In: *Semiconductors and Semimetals* 87, 7–48, hier: 27.

100 Sjouke Zijlstra, 2004: *Errichtung einer Solarzellenfabrik in Gelsenkirchen*. BMBF 0329813B/4. Schlussbericht, Shell Solar Deutschland für das Bundesumweltministerium. Gelsenkirchen.

Tabelle 5-6 Öffentliche Projektförderung in der Photovoltaikbranche in Deutschland, 1994–2005

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Gesamt
Projektförderung für alle regenerativen Energien (Mio. Euro)	63	28	45,5	46	36,4	88,4	35,2	32,2	79,6	82,5	536,8
<i>Projektförderung Photovoltaik</i>											
Anzahl Projekte Photovoltaik	26	18	31	40	26	32	32	32	22	21	280
Projektsumme 1996–2005 (Euro)	532.506.982										
Fördersumme 1996–2005 (Euro)	291.915.590										
<i>Förderschwerpunkte 1996–2005</i>											
Technologiebereich	Kristalline Vorprodukte	Kristalline Zellen und Module	Kristalline Produktionstechnik	Amorphe Silizium-Dünnschicht	ClS-Dünnschicht	Kristalline Silizium-Dünnschicht	Systemtechnik				
Geförderte Firmen	7	13	10	5	6	9	32				
Projektsumme (Euro)	112.351.924	109.308.571	10.880.451	42.859.720	45.413.815	8.143.892	25.762.411				
Fördersumme (Euro)	37.901.158	37.902.330	5.239.460	18.564.487	17.598.889	5.646.629	10.346.018				
Anzahl Projekte	20	19	15	13	13	10	37				
Geförderte Institute	12	7	4	4	5	7	8				
Projektsumme (Euro)	15.897.307	39.589.346	5.942.136	11.219.946	27.312.306	30.920.528	26.128.887				
Fördersumme (Euro)	14.703.618	36.687.874	4.980.224	11.127.914	21.212.462	27.974.937	24.677.932				
Anzahl Projekte	38	20	10	11	12	17	27				

Quelle: Prognos AG et al., 2007: *Evaluierung des 4. Energieforschungsprogramms Erneuerbare Energien*. Gesamtversion. Endbericht im Auftrag des Projektträgers Forschungszentrum Jülich für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin, Basel, Leipzig, Münster, Varel, Freiburg, 197, 377–399. Summenfehler im Original.

6 Millionen vom Land Bayern gefördert, mit der Zusage, dass Bayern auf die 12 MW Differenz zur Förderung der Fabrik im Ruhrgebiet bei Bedarf beliebig zugreifen könne.¹⁰¹

Mit der neuen Dynamik in der Industrie und im Licht der öffentlichen Diskussion und zivilgesellschaftlichen Bewegung um die Photovoltaik im Wahljahr 1998 wurde auch die Industrieförderung wieder erweitert. Das wesentliche angebotsseitige Förderprogramm, das die entstehende Photovoltaikindustrie zu entwickeln versuchte, war das 1996 verabschiedete Vierte Rahmenprogramm Energieforschung und Energietechnologien, das zuerst vom Forschungsministerium, dann seit 1998 mit der Übertragung der Kompetenzen in der Technologiepolitik vom Wirtschaftsministerium und seit 2002 vom Umweltministerium verwaltet wurde. Die Förderung regenerativer Energien erhielt im Programmverlauf mit 536 Millionen Euro gesamt Projektförderung den größten Anteil an der Gesamtförderung. Die Förderung der Photovoltaikindustrie wiederum – und das ist gemessen daran, dass sie zur selben Zeit zu den mit Abstand teuersten Technologien unter den regenerativen Energien zählte, beachtenswert – erhielt 44 Prozent aller Projekte und 54,4 Prozent der gesamten Fördermittel (der nächstgrößere Empfänger war die Windkraft mit 14,3 Prozent der Mittel).¹⁰² Die Mehrzahl der Projekte wurde auf die eine oder andere Weise in Verbundstrukturen zwischen Forschung und Fertigung organisiert. Im Unterschied zur eher punktuellen Projektförderung der 1980er-Jahre zielten sie auf die Entwicklung der gesamten Wertschöpfungskette, vom Maschinenbau über die Materialwissenschaften bis zur Systemtechnik (siehe Tabelle 5-6).

Aus der langjährigen punktuellen Förderung einer Zukunftstechnologie unter vielen entwickelte sich in Ansätzen ein flächendeckender entwicklungsstaatlicher Komplex zur Industrialisierung der Photovoltaik; damit wurde in Deutschland lediglich nachgeholt, was zuvor in den USA und Japan angelaufen war. Zwei Aspekte machen diese neue Bewegung zwischen Industrie, Politik und Zivilgesellschaft seit 1995 interessant. Erstens ist es das Ausmaß, in dem die Photovoltaik seit dem 1.000-Dächer-Programm zu einer überraschend breit unterstützten energie-, gesellschafts-, industrie-, regional- und wirtschaftspolitischen Perspektive heranwuchs. Mit dieser Betonung neuer Stakeholderver-

101 Vgl. Bayerischer Landtag, 1997: *Plenarprotokoll 13/93*. München, 6648–6649. Bruns et al. (2009: 252) meinen, die ASE erhielt noch 1997 25 Millionen DM für die Fabrik. Dieser Wert lässt sich nicht anderweitig verifizieren, scheint aber, trotz der privilegierten Quellenbasis ihrer Studie, etwas hoch gegriffen.

102 Prognos AG et al., 2007: *Evaluierung des 4. Energieforschungsprogramms Erneuerbare Energien. Gesamtversion*. Endbericht im Auftrag des Projektträgers Forschungszentrum Jülich für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin, Basel, Leipzig, Münster, Varel, Freiburg, 43–44.

schachtelungen soll hier keinesfalls die Bedeutung der umweltpolitischen Bewegungen, der politischen Koalitionen für eine technologieorientierte Abwendung des Klimawandels oder der Antiatomkraftbewegung für die gesellschaftliche Förderung der Photovoltaik heruntergespielt werden. Fragt man allerdings, was sich seit Tschernobyl bis in die zweite Hälfte der 1990er-Jahre in Bezug auf die Photovoltaik verändert hatte, so war dies *nicht* primär die Durchschlagskraft der *advocacy coalitions* für eine solare Revolution in der Energieversorgung. An deren Struktur, Forderungen und Engagement hatte sich seit Mitte der 1980er-Jahre ja nicht viel geändert. Auch geht das Argument pluralistischer politikwissenschaftlicher Arbeiten, bis Ende der 1990er-Jahre hätten die alten ökologischen Koalitionen »genug Stärke« gewonnen, um »battles over the shape of the institutional framework« zu gewinnen (statt vieler: Jacobsson/Lauber 2005), weitgehend am Problem vorbei. Wenn die Unterstützung regenerativer Energien wie in einem Interessengruppenmodell Mancur Olsons ausgehandelt worden wäre, würde sich die Frage stellen, wie sich Befürworter alternativer Energieversorgungsstrukturen *auch nur ansatzweise* gegen den politisch-ökonomischen Komplex um die konventionelle Energiewirtschaft mit geschätzten 160.000 direkten Beschäftigten, mit etwa 40 Milliarden Euro jährlichen Umsätzen allein in der Stromerzeugung und unzähligen Stakeholderverflechtungen von Kommunen über die Länder bis zur Bundespolitik hätten durchsetzen können. Außerdem sollten pluralistische Erklärungen ein Problem damit haben, dass die Förderung der Technologie für mehrere Jahre in nordrhein-westfälischen Kohlerevieren und in den konservativen Zentren der Kernkraftnutzung in Bayern und Baden-Württemberg vorangetrieben wurde. Einerseits also dort, wo Regierungen am ehesten mit energiepolitischen Legitimationsproblemen zu kämpfen hatten, andererseits aber auch dort, wo die *balance of power* erwartbar am nachteiligsten für eine ökologisch alternative Energieversorgung war.

Das führt zu einem zweiten interessanten Punkt der Entwicklung der 1990er-Jahre. Stückweise entwickelte die Industrie für Solarzellen in verschiedenen Ländern, gesellschaftlichen Zusammenhängen und auf verschiedenen Ebenen Anschlussstellen für eine Reihe von Organisationen, Gemeinschaften und Netzwerke. Wie die Investitionsklemmen in den USA der 1970er-Jahre vorführten, und wie in neueren Arbeiten zur Entwicklung der regenerativen Energien selten hinterfragt wurde, überrascht es, dass Firmen, Politiker, die Forschungsverwaltung und Forschungsinstitute, die alle selbst unter Legitimationszwängen standen, sich in einem solchen Ausmaß an der unsicheren Industrialisierung der Photovoltaik beteiligten. Jedenfalls zu einem wichtigen Teil hing der weitreichende Konsens um die Förderung der Technik davon ab, dass die Industrie sich über die 1990er-Jahre graduell in jene Arten kollektiver Entwicklung verstrickte, die relevanten administrativen und politischen Stellen glaubhaft vorführen

konnte, dass Unterstützung für die Nischentechnik zuerst technologiepolitisch und später industriepolitisch sinnvoll war. Dies allerdings – und das ist die Kritik, der sich lineare Beschreibungen dreißigjähriger politischer Durchsetzung stellen müssten – hatte wenig damit zu tun, dass die Branche wirtschaftlich stärker, forschungstechnisch besser aufgestellt oder politisch schlagkräftiger geworden war als mit komplizierten Prozessen, die heterogene Interessen temporär und praktisch übereinbrachten, die koordinierte Skalierungsprozesse und eine halbwegs fokussierte kontinuierliche Entwicklung und Förderung erst ermöglichten.

Kapitel 6

Die Wiederentdeckung des solaren New Deals

Das japanische Beispiel, die heimische Industrie mit einem größeren Nachfrageförderungsprogramm an eine weltweite Spitzenposition zu befördern, weckte in vielen Ländern Begehrlichkeiten. Darüber hinaus spitzten sich energiepolitische Problemwahrnehmungen seit den 1980er-Jahren weiter zu. Die Politik zum Klimawandel war keine Modeerscheinung geblieben, wie etwa das Waldsterben in Deutschland. Und die unter Bedingungen wirtschaftlicher Staatenkonkurrenz 1992 und 1997 ernüchternden internationalen Klimagipfel ließen Hoffnungen auf eine einfache Imitation der transnationalen Ozonpolitik weitestgehend wegschmelzen. Im Rahmen etlicher nationaler technologiepolitischer Programme zur Restrukturierung der Energieversorgung gegen Ende der 1990er-Jahre übernahmen mehrere Staaten die Grundidee des japanischen Dächerprogramms und leiteten damit eine neue Episode ernsthafter Nachfrageförderung für Solaranlagen ein. Es ließe sich durchaus darüber streiten, was zuerst kam – die politische Durchsetzung der Breitenförderung der Technologien oder ihre breite gesellschaftliche Unterstützung. Unzweifelhaft ist, dass die Förderung für die regenerativen Energien nach dem Jahr 2000 in nie dagewesener Breite Koalitionen festigte, die in der neuen Technologiepolitik ein Projekt zur Modernisierung von Industriegesellschaften fanden, dass sie Interessen um den *common carrier* des Leitbilds einer *grünen industriellen Revolution* zusammenführte. In der Entwicklungsökonomik ist für derartige Prozesse der Koalitionsformierung um wirtschaftliche Entwicklungsprozesse der Begriff der »multidimensional conspiracy« geprägt worden (Hirschman [1977]1981: 93). Wie etwa Evans am Beispiel der IT-Industrie in Brasilien, Korea und Indien gezeigt hat, ist der Aufbau von Koalitionen, die ihre Interessen mit der Entwicklung eines spezifischen Sektors identifizieren, kritisch für den Erfolg industriepolitischer Initiativen: »More important than the specific products that result from [the state's support] is inculcating a general sense that investing in technological capacity and taking technological risks hold the promise of rewards, both in the form of state favor and in terms of market advantage« (Evans 1995: 212–213).

Insbesondere für die Photovoltaik entwickelte sich gerade das deutsche Fördersystem seit 1999 für das folgende Jahrzehnt zum wichtigsten Zentrum

weltweit für Installationen. Und wie zuerst viel beachtet im japanischen Fall entstand auch in Deutschland im Gefolge der Nachfrageförderung eine im internationalen Vergleich ansehnliche Industrie. Drehten sich die meisten politischen Debatten um die Sonnenenergienutzung gegen Ende der 1990er-Jahre noch um Möglichkeiten, ihre Nutzung anzuschieben, und um ethisch-politische Gründe für Lovins' *soft energy path*, sprach man Mitte der 2000er-Jahre von einer neuen Leitindustrie des 21. Jahrhunderts, von Kostendegressionen, die mittelfristig die Verbrennung fossiler Kraftstoffe verdrängen könnten, und von einem neuen Beschäftigungswunder in der Herstellung der neuen Energieerzeugungsanlagen. Wenn auch mit einiger Verzögerung, verbreitete sich die Euphorie um die neue Industrie weltweit, und zwar in beiden Belangen, der Ausbauförderung und dem Aufbau einer neuen Industrie. Bis Ende des Jahrzehnts existierten wenige OECD-Länder, die nicht auf die eine oder andere Weise die Herstellung und Installation regenerativer Energietechniken förderten und versuchten, daraus beschäftigungs-, industrie- und wirtschaftspolitisches Kapital zu schlagen. Die Technologien brachen sich nach rund fünfzig Jahren der Rückschläge Bahn.

6.1 Erneute Hoffnungen in der Bundesrepublik

Die politische Durchsetzung der Förderung regenerativer Energien in Deutschland gehört zu den bestuntersuchten Gegenständen der globalen Energiepolitik der letzten zwei Dekaden. Der Grundtenor dieser Forschung wurde bereits oben in Kapitel 1 dargestellt. Es sind weniger die Beschreibungen der politischen Entwicklungen seit 1999, die hier hinterfragt werden, als ihre konzeptuelle und systematisch-historische Einordnung. Im Unterschied zu diesen Studien gehe ich detaillierter auf die Natur und Struktur der Koalitionen ein, die am Ausbau der Förderung und dem Aufbau der Industrie in Deutschland beteiligt waren. Weder in der Industrie noch in der Politik entstammten Unterstützer der Photovoltaikförderung einem homogenen Block, und dass sie über fast zehn Jahre so aufzutreten und zu wirken in der Lage waren, ist vor den Erfahrungen mit den Initiativen der 1970er-Jahre ein überaus bemerkenswerter Vorgang.

Der Regierungswechsel 1998 markierte mit dem Inkrafttreten der Liberalisierung der deutschen Elektrizitätsversorgung und der Förderung regenerativer Energien gleich in zwei Hinsichten eine Zäsur in der deutschen Energiepolitik. Die 1998 mehr als einhundert Jahre alten ökonomischen Theorien natürlicher Monopole in der Stromwirtschaft, die lange Zeit die doktrinäre Grundlage dafür bildeten, dass der Stromsektor von der Marktsteuerung ausgenommen war, standen in der deutschen akademischen Diskussion schon seit den 1950er-

Jahren in der Kritik. Ausreichend schlagkräftige politische Koalitionen für eine Deregulierung der deutschen Stromwirtschaft waren jedoch auch in der internationalen Privatisierungseuphorie der 1980er-Jahre nicht entstanden (Lobo 2011: 180–181). Sowohl in der Einheitlichen Europäischen Akte wie auch im Weißbuch der Europäischen Kommission zum Binnenmarkt von 1985 wurde die Energieversorgung – der wohl komplexeste und am tiefsten von länderspezifischen institutionellen Rigiditäten durchzogene Sektor – ausdrücklich ausgelassen (Suck 2008: 206–207). Pläne europäischer Beamter, den Binnenmarkt auf die Elektrizitätsversorgung auszuweiten, wurden seit 1987 verhandelt und 1988 mit der Veröffentlichung eines Arbeitspapiers der Kommission publik gemacht.¹ Schon Mitte 1989 diskutierten deutsche Politiker den Binnenmarkt für Elektrizität ab 1993, als sei er endgültig beschlossene Sache.² Und bereits in diesen frühen Stellungnahmen zeigte sich – trotz prinzipieller Zustimmung aufgrund beschäftigungs-, standort-, umwelt- oder gesellschaftspolitischer Erwägungen – die übermäßig komplexe Menge an Regelungsfragen, Interessenverflechtungen und Interessenkonflikten um die marktförmige Homogenisierung der über ein Jahrhundert gewachsenen nationalen Großen technischen Systeme. Allein die Verhandlungen in der deutschen politischen Ökonomie erstreckten sich in einem ersten Anlauf bis in das Jahr 1996. Die wesentlichen innenpolitischen Konfliktlinien verliefen in der Exekutive zwischen Umwelt- und Wirtschaftsministerium, innerhalb des Wirtschaftsministeriums zwischen dem Minister Rexrodt und Beamten, die sich tendenziell für Wirtschaftsforderungen nach einer Disziplinierung der Energiewirtschaft einsetzten, und solchen, die der Energiewirtschaft nahestanden, innerhalb von Parteien zwischen kommunalen, regionalen und bundespolitischen Interessen und in der Wirtschaft zwischen Verbrauchern und Erzeugern, die auf Preissenkungen hofften, zwischen Erzeugern mit verschiedenen Erzeugungsportfolios und zwischen Stadtwerken und großen Versorgern (Lobo 2011: 182–184). Die Auseinandersetzungen wurden 1996 von der mit ebenso komplexen Konflikten durchsetzten europäischen Politik durchkreuzt. Der ursprüngliche Ansatz der Kommission, die Deregulierung von Gas- und Elektrizitätsversorgung graduell über das Wettbewerbsrecht zu versuchen, war im Widerstand der Mitgliedsstaaten (in erster Linie Frankreichs, das die Initiativen 1988 noch mit Großbritannien mit Blick auf die deutsche Kohlepolitik unterstützt hatte), der Versorgungsindustrie, des europäischen Parlaments und zweier Urteile des Europäischen Gerichtshofs mit Bezug zur

1 Siehe Kommission der Europäischen Gemeinschaften, 1988: *Der Binnenmarkt für Energie*. KOM88/238. Arbeitspapier. Brüssel.

2 Politiker nehmen Stellung zur Energiefrage. In: *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 3. Oktober 1989, B4–B6.

Sonderstellung von Sektoren öffentlicher Daseinsvorsorge Anfang der 1990er-Jahre untergegangen (Schmidt 1998: 177–178). Die schließlich über vier Präsidenschaften im Europäischen Rat unter Aufrechterhaltung der Drohung der Kommission, unilateral gerichtlich vorzugehen, ausgehandelte Richtlinie zur Marktschaffung erinnert durch die Aufnahme von Ausnahmen, Aufweichungen und Kompromissen an die Liberalisierung der Gasversorgung in den USA der 1970er-Jahre.³ Die Richtlinie enthielt Regelungen zum reziproken Marktzugang zwischen Ländern, zwei erlaubte Modelle für die Genehmigung des Kraftwerksausbaus, drei erlaubte Netzzugangsmodelle (faktisch eines für Deutschland, eines für Frankreich und ein von der Kommission favorisiertes), die Zusage, dass heimische Energieträger zur Erhöhung der Versorgungssicherheit weiterhin bevorzugt werden konnten, die generelle Zusage, dass Regierungen Energieversorgern gemeinwirtschaftliche Verpflichtungen auferlegen durften, auch wenn diese den Wettbewerb einschränken sollten, und einen Leitplan zur graduellen Marktschaffung im Stromhandel (Suck 2008: 213–214). Im Bereich der regenerativen Energien erlaubte die Richtlinie ausdrücklich die Genehmigung von Auflagen über den Einspeisevorrang von Strom aus neuen Energietechniken im Verteil- wie Übertragungsnetz sowie den Vorrang der Stromerzeugung aus regenerativen Energieanlagen. Für die Förderung regenerativer Energien in Europa viel wichtiger noch als diese Ausnahmen aus dem Gemeinsamen Markt war, dass aus den Verhandlungen über die zukünftige Struktur der europäischen Stromversorgung *kein* ernsthafter koordinierter Anlauf hervorging, Forderungen nach einer ökologischen Erneuerung der Elektrizitätsversorgung beizukommen. Die europäischen Institutionen hatten zwar seit den frühen 1980er-Jahren technologiepolitische Förderprogramme, koordinierende Initiativen und Rahmenvereinbarungen hervorgebracht (dazu überblicksweise ebd.: 217–218). Ausreichend Initiative, um in der regenerativen Energiefrage etwas politischen Druck von den Regierungen der Mitgliedsstaaten zu nehmen, entwickelten sie jedoch nicht – und zwar trotz wiederholter Abwälzungsversuche etwa der deutschen Regierung zu Beginn der 1990er-Jahre.

Die erstmalige Umsetzung der Liberalisierungsbeschlüsse in Deutschland nahm wiederum mehrere Jahre in Anspruch und verlief in gleichbleibend unübersichtlichen Auseinandersetzungen (Renz 2001: 184–202). Politisch umstritten war nach den europäischen Beschlüssen allerdings nicht mehr ernsthaft, dass die Elektrizitätsversorgung liberalisiert werden sollte, sondern inwieweit und wie. Im Vergleich mit der Umsetzung in anderen europäischen Staaten endete die deutsche Spielart des freien Strommarkts in einer eigentümlichen Mischlö-

3 Siehe die Ergebnisse in Europäische Kommission, 1996: *Directive 96/92/EC Concerning Common Rules for the Internal Market in Electricity*. Brüssel.

sung aus einer vom Wirtschaftsministerium bevorzugten sofortigen Öffnung des Stromhandels auf allen Ebenen, einer von BDI, VDEW und Teilen der konservativen Regierung geforderten und in Europa erstrittenen abgeschwächten Fortsetzung von Verbändeverhandlungen zur Höhe von Netznutzungsentgelten, einer Streichung der wettbewerbsrechtlichen Ausnahmen für die Energiewirtschaft und mehreren Regelungen zur ansatzweisen vertikalen Entflechtung. Das neue Energiewirtschaftsgesetz hatte in mindestens zwei Hinsichten weitreichende Auswirkungen auf die Förderpolitik regenerativer Energien. Insoweit sich Teile der Opposition und Länder, Umwelt- und Verbraucherverbände, Kleinversorger, Landwirte und die schon in den Verhandlungen Mitte der 1990er-Jahre die Förderung regenerativer Energien unterstützenden IG Metall und VDMA nicht mit Forderungen durchsetzen konnten, Netzzugangsbedingungen durch eine staatliche Aufsicht zu regeln sowie umweltpolitisch entgegenkommend zu spezifizieren (dazu Suck 2008: 286–287), erhielt die Neuregelung des Energiewirtschaftsgesetzes die politische Spaltung zwischen Koalitionen für eine ökologische Wende und solchen um die grundlegende Regelung der Elektrizitätsversorgung. Die Förderung und energiewirtschaftliche Integration unabhängiger Stromerzeugung aus regenerativen Quellen wird bis in die Gegenwart in separaten Gesetzen, formal separaten Verhandlungen und teilweise in separaten Verhandlungssystemen organisiert. Das neue Energiewirtschaftsgesetz reihte sich in die lange Geschichte vertaner Gelegenheiten der Bundes- wie der europäischen Politik, unbestreitbar und sichtbar stärker werdende gesellschaftliche Forderungen nach umweltpolitischen Prioritäten in der Stromerzeugung halbwegs konsensuell zu integrieren. Zweitens verkam die deutsche Elektrizitätsversorgung mit Beginn der Liberalisierungsmaßnahmen zu einer permanenten Regelungsbaustelle. Das bis 2011 viermal neu geregelte Energierecht wuchs von 19 Paragrafen mit 2.360 Wörtern im Gesetzestext auf 176 Paragrafen mit 48.300 Wörtern Umfang an.⁴ Die kurzfristige Neuregelung im Hinblick auf die Förderung des landesweiten wie europäischen Wettbewerbs, die Senkung der Industrie- wie Verbraucherpreise, die technische Integration der europäischen Stromversorgung, die anhaltende Integration der ostdeutschen Versorgung, den Aufbau einer der europäischen (auf Übernahmen hoffenden) Konkurrenz standhaltenden heimischen Versorgungsindustrie und den Umbau des Gesamtsystems im Hinblick auf Klimaschutz- und umweltpolitische Ziele verwickelte die Politik in eine übermäßig komplexe Regelungs- und Vermittlungsaufgabe – und damit in eine nun fünfzehnjährige Serie aus Stückwerk und institutionellen Provisorien.

⁴ Die Zahlenwerte wie das Argument stammen aus der exzellenten seit 1991 geführten energiewirtschaftlichen Presseschau Energie-Chronik Udo Leuschners (Eintrag 110602).

Schon in den Liberalisierungsverhandlungen wurden erneut Forderungen nach einer Erweiterung des Stromeinspeisungsgesetzes laut. Wesentliche Konfliktpunkte waren neben der Frage der Regelung des Netzzugangs, der bloßen Höhe der Tarife und des Ausschlusses der Kraft-Wärme-Kopplung, die Verbraucherpreiskopplung der Einspeisetarife und die regionale Struktur des Umlagemechanismus. Energieexperten aller Parteien gingen davon aus, die Liberalisierung würde Strompreise in Deutschland sinken lassen, daher stritten die Gegner der schließlich verabschiedeten Novelle für Vergütungssätze im Stromeinspeisungsgesetz, die von Verbraucherpreisen entkoppelt waren.⁵ Gleichlautende Forderungen kursierten im Feld der Solarinitiativen, in anliegenden Verbänden und unter weiteren Fürsprechern seit der Einführung des Stromeinspeisungsgesetzes im Jahr 1991. Das Konzept, für das diese Gruppen stritten, wurde in den 1990er-Jahren als *kostendeckende Vergütung* bekannt. Seine politischen Vorläufer in Deutschland stammten aus einer seit 1986 aktiven Aachener Solarinitiative. Der Solarenergie-Förderverein Aachen arbeitete bis 1994 mit lokalen Umweltgruppen, dem Stadtrat, der Stadtverwaltung und dem Preisreferenten im nordrhein-westfälischen Wirtschaftsministerium an der Entwicklung und Durchsetzung des Konzepts (ebd.: 116–117).⁶ Ähnliche Initiativen entstanden in vielen anderen Gemeinden, vornehmlich in Bayern, Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen, die bis in die zweite Hälfte der 1990er-Jahre nach einer von der baden-württembergischen Landesregierung 1989 im Bundesrat eingebrachten Ergänzung der Bundes-Tarifordnung zu geschätzten 60 kommunalpolitisch erzwungenen Selbstverpflichtungen von Stadtwerken führten, kostenorientiert (für die Photovoltaik zumeist etwa 2 DM pro KWh) erhöhte Einspeisevergütungen für verschiedene regenerative Energieanlagen zu zahlen (Dewald 2011: 223–224). Neben ihrer Modell- und Symbolwirkung führten derartige regionale Initiativen zu einem permanenten Strom von Forderungen an die Bundespolitik, den für den Ausbau der Windkraft ausreichenden Einspeisetarif von 1991 für zusätzliche teurere Techniken nachzuahmen. Weitere Unterstützung für von Strompreisen entkoppelte Tarife kam wiederholt aus dem Europäischen Parlament und zumindest anfangs aus der Generaldirektion Energie der Europäischen Kommission.⁷

5 Siehe zur Position der Opposition: Deutscher Bundestag, 1997: *Plenarprotokoll 13/208*. Bonn, 18972–18975.

6 Die Auseinandersetzungen zwischen Stadtwerk, dem nordrhein-westfälischen Wirtschaftsministerium und der Aachener Initiative sind ansatzweise dokumentiert in Udo Leuschners *Energie-Chronik* (Einträge 930607; 940115; 940614). Siehe auch kursorisch Wolf von Fabock, 2004: Historische Entwicklung der kostendeckenden Vergütung. In: *Solarbrief Sonderheft, Aufsätze zur Energiewende*, 117–118.

7 Die frühen Initiativen des Europäischen Parlaments und die damit noch ein Stück weit zusammengehenden frühen Harmonisierungsvorschläge der Generaldirektion Energie erörtert Suck

Ernsthafte politische Bewegungen hin zu derartigen Vergütungsmodellen auf Bundesebene entstanden erst im Jahr 1999, nach dem Regierungswechsel und im Gefolge von erneuten Konflikten um das Stromeinspeisungsgesetz. Wie Beschberger (2000: 13–23) herausgearbeitet hat, bezogen sich die ersten Bewegungen hin zum rot-grünen Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vielmehr auf Folgeprobleme des Stromeinspeisungsgesetzes, seine Gefährdung durch die Europäischen Institutionen und seine Passung in die liberalisierte Elektrizitätsversorgung, als auf breite vorgefertigte Pläne bei Regierungsübernahme. Die hartnäckigste Konfliktquelle der Regelung von 1991 war die regionale Ausgestaltung der Umlage, mit der die Versorgungswirtschaft die gezahlten erhöhten Tarife an Verbraucher weitergeben sollten. Das Stromeinspeisungsgesetz war de facto ein Förderinstrument für die Windenergie (und zu geringeren Teilen der Wasserkraft und Biomasse) geblieben, sodass sich die Belastungen durch die Förderung bei norddeutschen Versorgern konzentrierten. Dies hatte seit Einführung der Vergütungen zu Widerstand insbesondere der PreussenElektra und ihren regionalen Beteiligungen geführt sowie zu fünfzehn Jahre andauernden Versuchen des Konzerns (und einiger süddeutscher Versorger), das Gesetz über Zahlungsboykotts, Verfassungsklagen, die Mobilisierung der Europäischen Kommission und schließlich über den Europäischen Gerichtshof zu Fall zu bringen. Mit der Liberalisierung verschärften sich die politischen Probleme mit der Umlagegestaltung in drei Hinsichten. Erstens kam die Frage auf, wie das regionale Umlagemodell ohne Gebietsmonopole organisiert werden würde. Mit dem Einzug von Konkurrenz unter Versorgern hätte zweitens aus der Ungleichbehandlung der Verbraucher verschiedener Regionen eine Ungleichstellung der Versorger werden können, was die Regelung regional- und wettbewerbspolitisch strittig machte. Drittens wurde befürchtet, dass der erwartete Verfall der Strompreise die Installation regenerativer Energietechniken wieder in die Unwirtschaftlichkeit zurückwerfen könnte. Seit dem Jahr 1998 erschien eine Reihe von Gutachten und von der Regierung angeforderten Studien, die mögliche Reformvorschläge diskutierten. Eine Gemeinsamkeit der meisten Studien aus dieser Zeit ist die Unterstützung für einen bundesweiten Ausgleichsmechanismus für die Mehr-

(2008: 221–223). Was Suck übergeht, ist, dass auch die ersten Forderungen van Mierts in Reaktion auf die Beschwerden von PreussenElektra von der Preiskopplung weg- und zu einer kostenorientierten Vergütung hinführten. Neben grundsätzlich kritischen Tönen und einer Empfehlung niedriger Tarifsätze – sowie der späteren Unterstützung der Beihilfeschwerde von PreussenElektra vor dem Europäischen Gerichtshof – forderte die Generaldirektion Wettbewerb eine Entkopplung der Tarife von Strompreisen und eine degressive Komponente in der Förderung, was den Modellen kostendeckender Vergütung dem Prinzip nach näher kam als das Modell des Stromeinspeisungsgesetzes. Die mehrjährigen Vorgänge sind aufgearbeitet in Hirschl (2008: 333–336, 350–352).

kosten regenerativer Einspeisung.⁸ Obwohl sie eine gravierende Vertiefung des Fördersystems bedeutete, entwickelte sich eben die Forderung nach einer zentralisierten Wälzung zu dem Punkt, an dem sich von der Windeinspeisung betroffene Energieversorger *für* die rot-grüne Erneuerung der Einspeiseregeln einsetzten. SPD-Parlamentarier konnten schon in den Verhandlungen zur Strommarktliberalisierung im Bundestag berichten, dass sie in der Frage der Wälzung Preussen-Elektra auf ihrer Seite hätten.⁹ In den Anhörungen zum Erneuerbare-Energien-Gesetz wurde der Konzern neben seiner verbandlichen Vertretung eingeladen und sprach sich offen gegen die Linie des VDEW für ein »entscheidendes Stück mehr Gerechtigkeit« mit dem neuen Gesetz aus.¹⁰

Die Durchsetzung des bundesweiten Wälzmechanismus kann in ihrer Bedeutung für das deutsche Fördersystem regenerativer Energien nicht zu hoch eingeschätzt werden. Nicht nur erschloss sie dem System Millionen zusätzlicher Lastenträger und neue Potenziale zum Wohlstandstransfer zwischen Regionen und Ländern, sie schuf entscheidende Spielräume zur *Konfliktvermeidung auf Zeit*. Im lokalen Umlageregime mussten sich Regionalpolitiker mit etlichen Ziel- und Interessenkonflikten auseinandersetzen.¹¹ Während der Windenergieausbau zwar regionale Arbeitsplätze und Wertschöpfung schuf, verteuerte er den Strom in den betreffenden Gebieten, schmälerte die Margen der jeweiligen Energieversorger und schwächte sie in den Konsolidierungsprozessen im Gefolge der Strommarktöffnung. Da politischer Widerstand innerhalb diffuser großer Gruppen oft nicht aus kontinuierlich berechneten Kosten-Nutzen-Kalkülen hervorgeht, sondern auf gesellschaftlich konstruierten diskreten Schwellen in der Artikulation gemeinsamer Interessen, im Entstehen gemeinsamer Identität und im Unrechtsempfinden beruht (Trumbull 2012: 7–14), linderte der neue Mechanismus das Widerstandspotenzial der jeweiligen Lastenträger. Das seit den 1970er-Jahren in jedem OECD-Land bestehende Problem des schier

8 Eine Übersicht der wesentlichen Studien, die in das EEG 2000 führen, gibt Beschberger (2000: 14–19). Siehe beispielsweise die Diskussion zum Schutz der bestehenden und zukünftigen Regelungen vor Europäischer Kommission und Europäischem Gerichtshof in der Studie des Umweltministeriums zur Reform der Einspeiseregelungen, die Mitte 1999 vorgelegt wurde: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt et al., 1999: *Klimaschutz durch Nutzung erneuerbarer Energien*. 29897340. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Bonn, 120–126.

9 Deutscher Bundestag, 1997: *Plenarprotokoll 13/208*. Bonn, 18976.

10 Siehe Deutscher Bundestag, 2000: Stellungnahmen der geladenen Sachverständigen zur Anhörung des Bundestagsausschusses für Wirtschaft und Technologie zum EEG. In: *Zeitschrift für Neues Energierecht*, Sonderheft 1, 30–90, 68.

11 Ein aufschlussreiches Symptom der politischen Problematik breitflächiger Förderung der regenerativen Energien im regionalen Umlageregime waren die ab 1996 zunehmend widersprüchlich werdenden Forderungen der Landesregierung Schleswig Holsteins. Siehe etwa die Diskussion in Deutscher Bundestag, 1997: *Plenarprotokoll 13/208*. Bonn, 18968–18969.

unüberwindlichen Widerstands gegen alle Formen ernsthafter kostenträchtiger ökologischer Neuausrichtungen in der Energieversorgung wurde mit der neuen Umlage auf Zeit ausgesetzt. Der Umlagemechanismus von 2000 sollte dem neuen Fördersystem – das ist mittlerweile bekannt – politische Spielräume bis hin zu einer auf zwanzig Jahre gestreckten Umverteilungsmasse von um die 300 Milliarden Euro bis in das Jahr 2013 eröffnen, bevor Politik gegen das Erneuerbare-Energien-Gesetz langsam wieder mehrheitsfähig wurde, Beschwerden und Investitionsstreiks der Wirtschaft und der Energieversorger erneut zunahmen und die Unterstützung anfangs zusammenstehender politischer Koalitionen wieder zerfaserte – und das ohne die gezielte Verteuerung bestimmter Energieträger, ohne Belastung des Staatshaushalts und unter Umgehung jener politischen Zielkonflikte, die die ökologische, industrie- und sicherheitspolitische Beweglichkeit in der Energieversorgung seit dem Zweiten Weltkrieg einschränkten.

Sukzessive vermischte sich der formale Reformbedarf der Einspeiseregeln mit den ursprünglichen politischen Motiven progressiver Parteien, nun an der Regierungsmehrheit, die als Erfolg wahrgenommene Förderung der Windenergie für weitere Technologien nachzuholen. In den politischen Prozessen in der neuen Regierungskoalition fanden sich sämtliche seit den 1970er-Jahren um die regenerativen Energien entstandenen politischen Motive wieder und von hier aus flossen sie stückweise in ein neues Förderregime ein. Die Wahlprogramme beider Regierungsparteien enthielten Zusagen für eine ernsthafte ökologische Energiepolitik. Was der SPD-Parteitag als »ökologische Modernisierung als Jahrhundertchance« anpries, nannte sich im Programm der Grünen schon »Energiewende«.¹² Wie schon im Jahr 1994 enthielten das SPD-Wahlprogramm sowie der spätere Koalitionsvertrag die ausdrückliche Forderung nach einem deutschen 100.000-Dächer-Programm für die Photovoltaik. Neben einem Bekenntnis zur deutschen Kohle, das eigentümlicherweise im selben Abschnitt eingefügt wurde, verwandte das SPD-Programm drei der vierzehn Zeilen zur *Brücke ins Solarzeitalter* für die Ankündigung, dass die »industrielle Massenfertigung für moderne Solartechnologien« politisch eingeleitet werden müsse und der Forderung nach weiteren Exportfördermaßnahmen für Solarzellen in Entwicklungsländer.¹³ Ferner schafften es die Solarzellen in den industriepolitischen Programmpunkten von 1998 gleichberechtigt neben die in der deutschen Politik seit den 1970er-Jahren nicht aussterbenden Hoffnungen, weltweit führend in der Produktion von Mikroprozessoren zu werden.¹⁴ Das grüne Vierjah-

12 Siehe Bündnis 90/Die Grünen, 1998: *Neue Mehrheiten nur mit uns. Vierjahresprogramm zur Bundestagswahl*. Bonn, 9; SPD, 1998: *Arbeit, Innovation und Gerechtigkeit. SPD-Programm für die Bundestagswahl 1998*. Leipzig, 35–37.

13 Ebd.: 37.

14 Ebd.: 9.

resprogramm zur Wahl – und es gehört zu den überraschendsten politischen Prozessen der letzten Dekade, wie sich dieses Modell in der Folge in alle Parteien verbreiten sollte – machte aus der ökologischen Energiepolitik ein umfassendes Programm zur Beschäftigungs-, Sektor- und Wirtschaftspolitik. Mit dem, was die Grünen »Offensive für ökologische Zukunftsmärkte« nannten, sollten »neue Branchen und Berufsbilder« entstehen, »High-tech-Umweltfirmen, aber auch das Handwerk profitieren«; »Umwelt schafft Arbeit«, schlossen die Grünen an das Leitthema des Wahlkampfes an.¹⁵ Wie vor allem in den späten Reden Jimmy Carters sahen die jeweiligen Aktivisten, Politiker und Wissenschaftler die ökologische Großreform als Weg der gesellschaftlichen Erneuerung und als Mittel zur zukunftsfesten Neuausrichtung der deutschen politischen Ökonomie. In gewisser Hinsicht kam es auf dem Feld der neuen Energietechnologien zu einer Wiederauflage der Forderungen nach staatlich gelenkter industrieller Spezialisierungspolitik aus den 1970er-Jahren. Die graduelle Ablösung der Förderung regenerativer Energien von Umweltschutz, Widerstand gegen die Kernkraft und Bekämpfung des Klimawandels vollzog sich in Teilen schon während der 1990er-Jahre, nicht zuletzt durch die internationalen Irritationen, die die aggressive Nachfrageförderung Japans für die Photovoltaik bewirkte, und nahm nur vorweg, welche heterogenen Gruppen das System in der Folge stützen sollten. Die Auseinandersetzungen im Wirtschaftsausschuss zum Erneuerbare-Energien-Gesetz befassten sich – abseits des Hauptthemas der Rechtsfestigkeit des neuen Gesetzes – fast mehr mit zu erwartenden Arbeitsplatzwirkungen und Exportchancen der zu fördernden Technologien als mit dem Klimaschutz.¹⁶

Die politisch-ökonomischen Allianzen um die zukünftigen wirtschaftlichen Chancen der Erneuerung der deutschen Energieversorgungsinfrastruktur bildeten sich nicht bloß zufällig. Überlegungen, den atomar-fossilen Komplex mit seinen eigenen Waffen zu schlagen, eine Profiteursbasis eines nachhaltigen Restrukturierungsprozesses der Weltwirtschaft zu schaffen, tauchten in den späten 1990er-Jahren immer wieder im Umfeld der Befürworter einer deutschen Energiewende auf. Hermann Scheer, europaweit vielleicht der exponierteste politische Fürsprecher regenerativer Energien, arbeitete in seinen Reden und Schriften gewissermaßen Schlachtpläne aus, wie sich die Beharrungskräfte bestehender Energieversorgungssysteme isolieren und aushebeln lassen könnten. Mit

15 Bündnis 90/Die Grünen, 1998: *Neue Mehrheiten nur mit uns. Vierjahresprogramm zur Bundestagswahl*. Bonn, 7.

16 Siehe Deutscher Bundestag, 2000: Unkorrigiertes Wortprotokoll der Öffentlichen Anhörung zu dem Gesetzentwurf der Fraktionen der SPD und Bündnis 90/Die Grünen. Entwurf eines Gesetzes zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien sowie zur Änderung des Mineralölsteuergesetzes. Ausschuss für Wirtschaft und Technologie. In: *Zeitschrift für Neues Energierecht*, Sonderheft 1, 93–117, 95–98.

einem für die neue Umweltbewegung in der Energiepolitik typischen, zutiefst materialistischen Politikverständnis resümierte er:

As industrial companies come to recognize and capitalize on their opportunities, new alliances will be formed: between electronics and glass, between the building materials and electrical industries and manufacturers of solar collectors and PV, between motor manufacturers and suppliers of chemical equipment. New groupings will form as old alliances dissolve; as the fossil industrial web unravels, so too will the power structures it sustains.¹⁷

Die wesentliche sektorale Spaltung, und damit sollte Scheer recht behalten, an der es anzusetzen gelte, sei die zwischen den Wertschöpfungsketten der Ressourcen- und Energiebranchen und denen des verarbeitenden Gewerbes, des Handwerks und technologieorientierter Branchen. Rein ökonomisch, das wurde Mitte der 2000er-Jahre immer deutlicher, bedeutete eine ökologische Energiereform kurzfristig ein groß angelegtes Programm zur Förderung von Investitionen und Produktionsinnovationen aus zukünftigen Einkommen und langfristig – wie vor allem in Japan diskutiert – eine Umverteilung von Ressourcen von der Förderung, Beschaffung und Nutzung von Brennstoffen hin zur Herstellung technischer Anlagen.

Ebenso wurden mit der rot-grünen Regierung die alten Visionen um eine Dezentralisierung des Eigentums in der Energiewirtschaft politisch wiederbelebt. In mehreren Technologiebereichen wurden schon in der Erstfassung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes höhere Fördersätze für kleinere Anlagen festgelegt (gezielt bei der Biomasse und erst in späteren Revisionen für die Photovoltaik, deren Förderung anfangs ohnehin praktisch auf kleinere Anlagen beschränkt war). Die ökologische Energiereform seit 1999 – das erklärt den enormen Stellenwert, den institutionelle Unternehmer wie der SPD-Politiker Hermann Scheer und die Grünen-Politiker Michael Hustedt und Hans-Josef Fell der Photovoltaik unter den unkonventionellen Energietechnologien einräumten – war von Beginn an auch als strukturpolitische Erneuerung des politisch-ökonomischen Komplexes zwischen Gesellschaft, Energiewirtschaft und Politik konzipiert.¹⁸ Dieses Motiv drückte sich nicht nur in anhaltender Uneinigkeit in der grünen Bewegung darüber aus, inwieweit Energieversorgungsunternehmen Teil des neuen Förder-

17 Hermann Scheer, [1999]2005: *The Solar Economy: Renewable Energy for a Sustainable Global Future*. London: Earthscan, 279–280.

18 Neben der oben in Kapitel 2 diskutierten Vermachtungskritik in den Antiatomprotesten sind die reichhaltigsten frühen Quellen zum Verständnis der gesellschaftspolitischen Ambitionen ökologischer Energiepolitik in den 1990er- und 2000er-Jahren die Veröffentlichungen Hermann Scheers. Siehe aus zahllosen Schriften die beiden späteren Bücher: Hermann Scheer, [1999]2005: *The Solar Economy: Renewable Energy for a Sustainable Global Future*. London: Earthscan, insbesondere Kapitel 6 und 9; Hermann Scheer, 2007: *Energy Autonomy. The Economic, Social and Technological Case for Renewable Energy*. London: Earthscan, Teil 3.

systems sein sollten, sondern auch im Feld der neuen Branchen selbst. Als im Jahr 2003 der deutsche Ableger des Club of Rome und die Hamburger Klimastiftung die Pläne der 1940er-Jahre wiederbelebten, Europas Elektrizitätsversorgung mit Sonnenkraftwerken in nordafrikanischen Wüsten zu sichern, regte sich entschiedener Widerstand aus dem Kreis der Initiatoren des deutschen Förder-systems. Seit 2008 suchte der TREC genannte Verbund um Gerhard Knies und den DLR-Ingenieur Franz Trieb nach Unterstützern, um im Anschluss um die Münchener Rückversicherung ein Industriekonsortium vornehmlich deutscher Technologie- und Energiekonzerne für die Planung der großtechnischen Vision zu versammeln (genannt *Desertec*). Das Konzept, kritisierte etwa Scheer in Reaktion auf die Veröffentlichung der ersten Szenariostudien des Industriekonsortiums, sei »ein Weg, auch Solarstrom unter Monopolbedingungen herzustellen. Die Stromerzeugung, wie sie durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz gefördert wird, sieht ganz anders aus. Sie ist dezentral und in den Händen vieler kleiner Anbieter. Ihre Strukturen sind mittelständisch«.¹⁹

Für die Förderung der Photovoltaik erließ die neue Regierung noch im Januar 1999 das seit 1994 geforderte 100.000-Dächer-Programm. Mit anfangs um 4,5 Prozentpunkte verbilligten KfW-Krediten mit zehnjähriger Laufzeit, zwei tilgungsfreien Jahren und Restschuldenerlässen im zehnten Jahr, falls die Anlagen dann noch liefen (circa 40 Prozent Förderquote), sollten mit dem Programm über sechs Jahre 300 MWp an Anlageninstallationen (ungefähr das Doppelte weltweiter Installationen im Jahr 1998) durch Privatpersonen und kleine und mittelgroße Unternehmen gefördert werden.²⁰ Das KfW-Programm lief enttäuschend langsam an. Die Förderbank erreichten innerhalb des ersten Jahres lediglich 3.922 Anträge mit einem Darlehensumfang von 63 Millionen Euro. Die intendierte Wirkung des Programms trat erst in Kombination mit den neuen Einspeisetarifen ein. Wie Beschberger (2000: 33–34) sowie Hirschl (2008: 144) gezeigt haben, entwickelte sich die Höhe des Tarifs für Einspeisungen aus Photovoltaikanlagen, die im Jahr 1999 für Anlagenbetreiber kostendeckend sein sollte, zu einem wesentlichen Streitpunkt in den internen Verhandlungen der rot-grünen Regierung zur neuen ökologischen Energiepolitik. Die ersten Arbeitsentwürfe des neuen Gesetzes enthielten die Höhe des neuen Tarifs erst gar

19 Siehe Hermann Scheer, 2009: Die Kalkulation von Desertec ist absurd. In: *Manager Magazin Online*, 13. Juli; siehe ausführlicher zu der Kritik an Desertec: Hermann Scheer, 2010: *Der energetische Imperativ. 100 Prozent jetzt: wie der vollständige Wechsel zu erneuerbaren Energien zu realisieren ist*. München: Kunstmann, Kap. 3.

20 Die ursprüngliche Förderankündigung wurde als Anhang im DLR-Gutachten zur Reform des Stromspeisungsgesetzes abgedruckt. Siehe Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt et al., 1999: *Klimaschutz durch Nutzung erneuerbarer Energien*. 29897340. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Bonn, Anhang 1.

nicht, um es nicht gleich zu diskreditieren. Der schließlich vorgesehene Einspeisetarif von 99 Pfennig pro kWh, der noch immer um circa 25 Prozent unter den Forderungen der Solarverbände lag, erregte unter wirtschaftsnahen SPD-Politikern Widerstand. Folgt man den historiografischen Andeutungen Beschbergers und Hirschls, war seine Durchsetzung einem *pork barrel* geschuldet, in dem im Gegenzug für den Photovoltaiktarif (und die Unterstützung der Kraft-Wärme-Kopplung) auf Widerstand gegen Befreiungswünsche für die Kohle von der ebenfalls 1999 verhandelten zweiten Stufe der Ökosteuern verzichtet und auf Drängen Wolfgang Clements und der Kohleindustrie die geplante Befreiung von Erdgas für hocheffiziente Gas- und Dampfkraftwerke abgeschwächt wurde.²¹ In Kombination mit dem neuen Einspeisetarif entstand ein wahrer Ansturm auf das 100.000-Dächer-Programm. Allein im März 2000 erreichten die KfW beinahe 10.000 Förderanträge.²² Die Bundesregierung verhängte noch am 1. April hektisch einen Bearbeitungsstopp in Reaktion auf das schon überschrittene Förderbudget mit 3.400 Genehmigungen, einem Darlehensvolumen von 368 Millionen Euro und einem Stock von 7.000 weiteren unbearbeiteten Anträgen.²³ Das Programm wurde mit leicht reduzierten Fördersätzen bis 2003 fortgesetzt und markierte den seit annähernd fünfzig Jahren herbeigesehnten Beginn der breitflächigen Energieerzeugung mit der Photovoltaik in einem Industrieland. Schon in den ersten Jahren des neuen Förderregimes zeichneten sich die Nachfragemuster ab, die den Markt in Deutschland bis in das Jahr 2009 prägten. 87 Prozent der bis Ende 2001 installierten Anlagen waren kleiner als 6 kWp, der Schwerpunkt lag auf kleinen Dachanlagen, die zu 88 Prozent von Privathaushalten angeschafft wurden. Regional fielen die Anschaffungen zu 40,9 Prozent in Bayern, zu 20,6 Prozent in Baden-Württemberg und zu 14,4 Prozent in Nordrhein-Westfalen an, Schwerpunkte, die sich ebenfalls bis in das Jahr 2009 fortsetzen, wenn nicht zuspitzen sollten und die insbesondere in den südlichen Ländern über die Jahre zu zusätzlicher politischer Unterstützung des Fördersystems führten.²⁴ Wie zugespitzt in der zweiten Hälfte der 2000er-Jahre

21 Die Konflikte zwischen Berlin und Düsseldorf beschreibt: Vielleicht ein wenig zu laut. In: *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 15. November 1999, 4. Die Auseinandersetzungen in der nordrhein-westfälischen Politik im Wahljahr sowie der Druck auf Clement nach der Drohung RWEs, im Licht der Ökosteuern auf 20 Milliarden Euro an geplanten Investitionen verzichten zu wollen, sind dokumentiert in: Eine Botschaft an die Bergleute. In: *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 26. November 1999, 12.

22 Klaus Oppermann, 2003: Förderergebnisse des 100.000-Dächer-Solarstrom-Programms – Eine Zwischenbilanz. In: *KfW-ObsERVER* 8, 5–21, hier: 17.

23 Die Geschichte der Verwaltung des 100.000-Dächer-Programms ist in Udo Leuschners *Energie-Chronik* dokumentiert (Einträge 000405; 000501; 000724).

24 Siehe zu den Daten bis in das Jahr 2002: Klaus Oppermann, 2003: Förderergebnisse des 100.000-Dächer-Solarstrom-Programms – Eine Zwischenbilanz. In: *KfW-ObsERVER* 8, 5–21, hier: 8, 18.

sichtbar wurde, bot das neue Regime zur Förderung regenerativer Energien den Ländern einen neuen Hebel für Wohlstandstransfers, der in eine Art regionale Zubaukonkurrenz führte. Beinahe jedes Bundesland entwickelte unter dem neuen Fördersystem Pläne, »energieunabhängig« zu werden, möglichst große Anteile der mit der neuen Förderung ermöglichten Wertschöpfung im eigenen Bundesland zu halten und möglichst große Anteile der neuen Zahlungsströme in das eigene Bundesland zu lenken. Während diese Transferkonkurrenz in den nördlichen Ländern vor allem über den Ausbau der Windenergie geführt wurde, entwickelten sich im Süden Schwerpunkte für den Photovoltaikzubau.²⁵ Diese innerstaatliche Umverteilung verursachte bei späteren Versuchen, die Förderung an gewandelte Bedingungen anzupassen, große Probleme. Die gesamte Umverteilungsmasse, die nur durch die EEG-Umlage getragen wurde, die sogenannten Differenzkosten zwischen dem Wert des vergüteten Stroms und der Summe der garantierten Vergütungen, belief sich im Jahr 2012 netto auf 12,88 Milliarden Euro, annähernd das Doppelte des Länderfinanzausgleichs aus demselben Jahr (circa 8 Milliarden Euro).

6.2 Investitionsrennen, sektorale Kohäsion und die Verfestigung der solaren Zukunftshoffnung

In der deutschen Industrie traf die Nachfrageförderung auf die seit den 1970er-Jahren unterhaltenen Überhänge von Forschungsinfrastruktur, Fertigung und Personal in der dreißig Jahre existierenden Branche ohne wirklichen Markt. Noch im Jahr 2000 kündigten fast alle in Deutschland vertretenen Zell- und Modulfertiger Kapazitätsinvestitionen an.²⁶ Über die ersten Jahre der Förderung wurde ein wesentlicher Anteil der Nachfrage von den amerikanischen und japanischen Volumenfertigern bedient. Im Jahr 2000 sorgte Siemens Solar für 14,8, Solarex als Zulieferer für das bayerische Installationshaus IBC Solar für 13,1, BP Solar für 12,9 und Kyocera für 10,3 Prozent der circa 19 MWp installierten Module mit KfW-Unterstützung. Für die deutsche Fertigungsindustrie besser verlief der Absatz von Wechselrichtern, kleinen Anlagen, die den Gleichstrom der Module für die Einspeisung in das Stromnetz vorbereiten. Die im Gefolge des 1.000-Dächer-Programms gegründete SMA sorgte über die ersten Jahre für

25 Eine kurze Übersicht der Umverteilungswirkungen des EEG zwischen den Ländern findet sich in: Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, 2013: *Erneuerbare Energien und das EEG: Zahlen, Fakten, Grafiken* (2013). Berlin, 63–76.

26 Siehe Gerhard Stryi-Hipp, 2001: Shine on Deutschland. In: *New Energy* 2, 40–41, hier: 41.

fast 65 Prozent der installierten Vorrichtungen.²⁷ Der Ausbau der Fertigungskapazitäten, das *industrial upscaling* von in Universitätslabors, in der Kleinfertigung oder in Pilotanlagen entwickelten Zelltechniken, dies prägte die deutsche Industrie über die nächsten Jahre, war zu Beginn ein langwieriger und von praktischen Rückschlägen durchzogener Prozess. Shell konnte die ursprünglich für 1999 geplante zweite Produktionslinie im Werk in Gelsenkirchen erst 2003 anlaufen lassen; alle »Anlagen dieses Vorhabens mussten neu konzipiert werden«, berichtete Shell Solars Geschäftsführer, »es waren keine marktgerechten ›Standard-Anlagen‹ zu erhalten.«²⁸ Vergleichbar lange zog sich der in Thalheim, Sachsen-Anhalt, 1999 von Q-Cells begonnene Übergang von einer Pilotlinie in die Mengenfertigung und der Ausbau der Fertigung von RWE-Schott Solar in Alzenau hin. Noch 2001 klagten Armin Räuber und Wolfgang Wettling in ihrer jährlichen Branchenanalyse für das Photovoltaik-Symposium in Staffelstein:

Höchstwahrscheinlich wären beträchtliche Investitionsmittel für die konventionelle Si-Solarzellen-Technologie vorhanden, die Investoren sind jedoch damit konfrontiert, dass man keine Fabrik »von der Stange« kaufen kann. Die Verfahrensentwicklung und der Anlagenbau sind »verschlafen« worden, hauptsächlich dadurch bedingt, dass jede Solarzellenfirma weitgehend auf Eigenentwicklungen gesetzt hat. [...] In Japan sind, bedingt durch die immensen Kapazitätsausweitungen, beträchtliche Fortschritte in der Anlagentechnik gemacht worden, westliche Firmen kommen aber an diese Technik nicht heran. Damit kann natürlich die japanische Industrie ihren jetzt schon großen Fortschritt weiter ausbauen.²⁹

Das Aufholspiel mit den japanischen Elektronikkonzernen entwickelte sich bis in das Jahr 2007 zu einem Leitmotiv in den deutschen sektorpolitischen Debatten um die Photovoltaik. Zum Verständnis der Industriestruktur in Deutschland über das nächste Jahrzehnt ist nun wesentlich, dass ein großer Teil des Kapazitätsausbaus in technologisch wie im Vertrieb tendenziell mangelhaft ausgestatteten oder unerfahrenen Firmen vorangetrieben wurde. Mit einiger Missgunst bemerkte Gerd Eisenbeiß, früherer Mitarbeiter im Forschungsministerium, später, die neuen deutschen Fertiger seien »mit Lehrbuchwissen zu Marktführern« aufgestiegen.³⁰ Genau diese Unterausstattung aber führte dem

27 Klaus Oppermann, 2003: Förderergebnisse des 100.000-Dächer-Solarstrom-Programms – Eine Zwischenbilanz. In: *KfW-Observer* 8, 5–21, hier: 21.

28 Sjouke Zijlstra, 2004: *Errichtung einer Solarzellenfabrik in Gelsenkirchen*. BMBF 0329813B/4. Schlussbericht, Shell Solar Deutschland für das Bundesumweltministerium. Gelsenkirchen, 2.

29 Armin Räuber, 2001: *Die PV-Szene Heute – Technologie, Industrie, Markt*. Vortragsmanuskript. Staffelstein: 16. Symposium Photovoltaische Solarenergie, 14. bis 16. März 2001: 11. Die Diagnose gilt mehr für die Wafer- und Zellfertigung als für die Herstellung von Modulen. Vor allem der japanische Werkzeugmaschinenhersteller Ulvac gehörte neben der amerikanischen Spire zu den internationalen Pionieren der Ausrüstung neuer Modulhersteller.

30 Hans-Jochen Luhmann, 2011: Von klugen Köpfen und Katastrophen: die Entwicklung der Photovoltaik in Deutschland. Interview mit Gerd Eisenbeiß und Adolf Goetzberger. In: *GAI* 20(4), 236–242, hier: 242.

Effekt, wenn auch nicht dem Geist nach zu vergleichsweise tief- und weitreichenden Strukturen der Arbeitsteilung, Verflechtung und Kooperation zwischen verschiedenen Firmen und der öffentlichen Forschungsinfrastruktur – und damit zu einer entsprechend schnellen und weiten Diffusion von Fertigkeiten in der Volumenproduktion. Im Vertrieb blieb die deutsche Industrie von Handwerkern und Systemhäusern und zu einem geringeren Teil von Vertragshändlern geprägt. Wenige Hersteller (wie etwa Solarworld, Solar-Fabrik und Solon) sorgten sich selbst um die Organisation der Installation von Kleinanlagen. Bis 2007 war ungefähr die Hälfte der durch die Installationsförderung entstandenen 40.000 Arbeitsplätze im Handwerk und in der Installation verortet, gegenüber etwas mehr als einem Viertel bei Herstellern von Solarsilizium, Scheiben, Zellen, Modulkomponenten und Modulen.³¹

Es wäre überzogen, wie es Studien zur Entwicklung der deutschen Industrien für regenerative Energien wiederholt tun (prägend: Jacobsson/Lauber 2005), die aufkommende Industriedynamik als Grundlage dafür zu sehen, dass mit den neuen Industrien ausreichend kapitalistische Unterstützung entstanden sei, um die Politik auf den Förderpfad festzulegen. Mit welchem Druckmittel sollte das geschehen sein – insbesondere im Vergleich zu den wesentlich einflussreicheren Interessen und Sektoren, die die neue Energiepolitik weiterhin vehement bekämpften? Betrachtet man Auseinandersetzungen der Branche mit der Politik um Förderbedingungen, etwa 2003 im Angesicht des auslaufenden 100.000-Dächer-Programms oder 2009, 2010 und 2011 im Hinblick auf außerordentliche Kürzungsforderungen, bestanden die wesentlichen Durchsetzungsmittel der Industrie bis in die Gegenwart darin, drohen zu können, zugrunde zu gehen, und warnen zu können, dass die ökonomischen Staatsinteressen an der neuen Zukunftsindustrie – anfangs in der Förderkonkurrenz zu Japan und den USA, später zu Ostasien generell – Schaden nehmen würden.³² Diese Warnungen wurden zwar umso wirksamer, je weiter sich Regierungen und Parteien in das Fördersystem und seine Versprechen verstrickten, sie hatten aber wenig mit klassischen Formen der *political power* zu tun. In der Einordnung viel treffender ist es, die neuen Investitionen als gemeinsames Anschauungsmaterial zu begreifen, mit dem Unterstützungs-konkationen ihre Reihen schlossen und ihre Visionen von einer grundsätzlichen

31 Eupd Research, 2008: *Standortgutachten Photovoltaik in Deutschland. Aktualisierung wichtiger Kennzahlen*. Bonn, 7.

32 Siehe aus der Anfangszeit etwa: Bundesverband Solarindustrie, 2004: *Faire Wettbewerbschancen für die deutsche PV-Solarstromindustrie. Unverlangtes Positionspapier zum Entwurf eines Gesetzes zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich (EEG)*. Berlin; Bundesverband Solarindustrie und Unternehmensvereinigung Solarwirtschaft, 2003: *Solarindustrie erweitert Produktionskapazitäten. Verzögerungen bei Gesetzesnovelle überschatten Neuinvestitionen*. Pressemitteilung. Berlin.

und zukunftssträchtigen Restrukturierung der deutschen politischen Ökonomie im Hinblick auf saubere Energie- und Umwelttechnologien untermauerten.

In einer Zeit, in der der BDI öffentlich schimpfen konnte, die »Farbe der Arbeitslosigkeit [sei] grün«, und der Präsident des DIHK-Tages nachlegte, er »empfehle den Unternehmen, nicht auf eine bessere Politik zu warten, sondern [...] die Chancen zu nutzen, die zum Beispiel in der Osterweiterung liegen«, halfen die Investitionen in die neuen Technologien, Zweifel zu zerstreuen und ein alternatives Narrativ glaubhafter zu machen, das einer möglichen grünen industriellen Revolution.³³ Ohne Zweifel erweiterte die Photovoltaikförderung schon in den ersten Jahren ihres Bestehens den Kreis ihrer Profiteure. In den neuen Bundesländern, in Süddeutschland und anfangs in Gelsenkirchen entwickelte sich die Photovoltaik zu einer industriellen Zukunftshoffnung einerseits und – um einige Jahre verzögert – zu einem direkten Wirtschaftsfaktor andererseits. Angezogen von Strukturhilfen, einer brachliegenden industriellen Infrastruktur, einer materialwissenschaftlich-verfahrenstechnischen *Reservearmee* und entgegenkommenden Lokal- und Regionalpolitikern entstanden bis Mitte des Jahrzehnts mehrere industrielle Zentren für Siliziumverarbeitung und Solarzellenproduktion in Ostdeutschland. In der Region um Thalheim investierte Q-Cells im ehemaligen Revier der Agfa, der AEG-Elektrochemie, der IG-Farben und der DDR-Chemiekombinate, das Monika Maron später ein »Synonym für marode Wirtschaft, vergiftete Luft und verseuchten Boden« genannt hat,³⁴ und legte damit den Grundstein für eine der bemerkenswertesten Erfolgsgeschichten industrieller Restrukturierung verfallender Industriegebiete in Deutschland. In Arnstadt, Erfurt und Jena entstand zwischen den Zellfertigern Ersol und Sunways, Zulieferern wie dem Jenoptik-Konzern aus Jena, dem Hersteller von Siliziumblöcken und -scheiben PV Silicon und einem späteren Joint Venture zur Siliziumverarbeitung zwischen Schott Solar, dem Nachfolgeunternehmen der ASE nach dem Rückzug des RWE, und der Wacker Chemie eine Anschlussvision zu den Hoffnungen der 1990er-Jahre, in Ostdeutschland eine Industrie zur Herstellung integrierter Schaltkreise zu etablieren. Um Freiberg und Dresden betrieb das ehemalige Bonner Systemhaus Solarworld nach Übernahme der Werke von Bayer Solar Fertigungsstätten für Siliziumscheiben, Zellen und Module. Ebenso entwickelten sich viele der Dresdner Zulieferer für die Halbleiterei zu Spezialisten für die Photovoltaikfertigung, etwa AIS Automation, Von Ardenne und Roth & Rau. In Brandenburg entstanden um die Modulhersteller Solon in Berlin und Aleo

33 Siehe zur Kritik der Industrie am ökologischen Restrukturierungseifer sämtliche BDI-Eingaben zum EEG sowie: Krach zwischen Regierung und Industrie. In: *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 23. März 2004, 13.

34 Monika Maron, 2009: *Bitterfelder Bogen. Ein Bericht*. Frankfurt a.M.: Fischer, 28.

Solar in Prenzlau und um den Zell- und Modulfertiger Conergy in Frankfurt an der Oder kleinere Fertigungsagglomerationen. Zwischen den Jahren 2000 und 2008 wurden in Deutschland nach Schätzungen des Branchenverbands circa 6,7 Milliarden Euro netto in Fertigungsstätten für Photovoltaikkomponenten investiert.³⁵ Bis 2009 waren im Bereich der regenerativen Energien in Deutschland um die 250.000 Menschen beschäftigt, 42.600 in der Photovoltaikbranche und circa 35 Prozent davon in den neuen Ländern, oftmals in der Fertigung.³⁶

Die Welle aus Fertigungsinvestitionen für Zellen und Module war nur eines unter mehreren Signalen, die die Politik, Verwaltung und Wirtschaft näher an den Zukunftsentwurf heranführten, mit den Reformen seit Ökosteuer, EEG und Grüner Energieforschungsschwerpunkte nicht bloß kosmetische Maßnahmen zur (noch immer international weitgehend unilateralen) Vermeidung des Klimawandels anzustoßen, sondern die deutsche politische Ökonomie grundlegender zu restrukturieren. Im Diskurs um den Aufbau Ost wurde die *Clean-Tech*-Revolution, nicht zuletzt am Beispiel der Erneuerung Bitterfelds und Thalheims, zum neuen Schlagwort für eine Perspektive eines selbsttragenden Aufschwungs. Die »Firmensitze sowie die Forschungs- und Entwicklungsstätten führender Solarfirmen befinden sich in Ostdeutschland«, resümierte eine Studie für das Bundesinnenministerium die viel beschworene Erfolgsgeschichte, diese »Situation ist für eine Industriebranche in den neuen Bundesländern einzigartig«.³⁷ Bis zum Ende des Jahrzehnts verfügten Berlin und Brandenburg, Thüringen, Sachsen sowie Sachsen-Anhalt über entwicklungsstaatliche Ansiedlungs-, Förder-, Koordinations- und Clusterprogramme, um Zentren für die Industrie zu verankern. Die großen deutschen Volksparteien fanden auf dem Umweg des Klimaschutzes ein Stück weit zurück zur Industriepolitik, zu einer Form *ökologischer Industriepolitik*.³⁸ Im Umfeld der IG Metall sprach man, trotz wiederholter Kritik an verhältnismäßig niedrigen Löhnen in den neuen Solarfertigungen und wiederholten Problemen, Mitbestimmung und Tarifbindung in den neuen Werken durchzusetzen, von der »Solarindustrie als [neuem] Feld

35 Bundesverband Solarwirtschaft, 2010: *Statistische Zahlen der deutschen Solarstrombranche. August 2010*. Berlin, 3.

36 Johann Wackerbauer et al., 2009: Cleantech in Ostdeutschland: Bestandsaufnahme und Entwicklungsperspektiven. In: *ifo Dresden Studien* 49, 3–10, 5.

37 Joachim Ragnitz et al., 2009: *Zukunftsfelder in Ostdeutschland. Cleantech – Markt mit Perspektiven*. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Berlin: Institut für Wirtschaftsforschung, XII.

38 Siehe unter vielen: Ulrich Kelber, 2011: Auf den Schultern eines Riesen. In: *Symposium im Gedenken an Hermann Scheer, herausgegeben von der Hermann Scheer-Stiftung*. Berlin, 20–29; *Ökologische Industriepolitik. Wirtschafts- und Politikwissenschaftliche Perspektiven* 2008. Dokumentation des Workshops am 18.04.2008. Berlin: Forschungsstelle für Umweltpolitik, FU Berlin.

industrieller Qualitätsproduktion«. ³⁹ Das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI) veröffentlichte im Anschluss an die 2007 von der schwarz-roten Regierung verabschiedeten Meseberger-Beschlüsse zu einem integrierten Plan für Energieeffizienz, Energiepolitik und Klimaschutz eine Szenarioanalyse zu den Möglichkeiten und Nutzen eines am Klimaschutz orientierten Umbaus des gesamten »Kapitalstocks der deutschen Wirtschaft« sowie zur Restrukturierung des Baubestands und der Energieversorgung. ⁴⁰ An derartigen Hoffnungsbekundungen und Initiativen ist weniger ihr jeweiliger konkreter Inhalt interessant als die neue Breite, mit der in der Bundesrepublik, wie in vielen anderen, jedoch keinesfalls allen Gesellschaften, über massive konzentrierte Restrukturierungserfordernisse debattiert wurde. Gewichtige Gründe dieser neuen Salonfähigkeit gingen auf die Erfahrungen mit der industriellen Dynamik in den Branchen für regenerative Energietechnologien zurück, die die Überzeugung bestärkten, es gebe *win-win solutions* für Umweltprobleme, Beschäftigungsmängel, Investitionsklemmen und Wachstumsschwächen.

So überraschend dynamisch die Fertigungsexpansion anlief, so überraschend dynamisch entwickelte sich die Nachfrage nach Photovoltaikanlagen. Neueren Schätzungen zufolge hat die Photovoltaikförderung in Deutschland bis einschließlich 2012 rund 70 Milliarden Euro an privaten Ersparnissen aufgesogen – und mit durch das EEG versprochenen Zahlungen über die nächsten zwanzig Jahre vergütet. ⁴¹ Zwar dauerte es bis in die zweite Hälfte der 2000er-Jahre, bis die Einspeisungen aus Photovoltaikanlagen in der Elektrizitätsversorgung mengenmäßig relevant wurden, Schätzungen – auch der wohlgesonnenen – Energie-szenarien der 1990er-Jahre überstiegen sie dennoch um Längen (siehe Abbildung 6-1). Wie in den ersten Jahren der KfW-Förderung setzte sich auch in der Folgezeit das Muster fort, mit dem Anlageinstallationen vornehmlich in den südlichen Bundesländern konzentriert waren. Im Jahr 2012 gingen circa 56 Prozent der über das EEG gelenkten Zahlungsströme für Photovoltaikeinspeisungen nach Baden-Württemberg und Bayern. ⁴² Neben dem im 100.000-Dächer-Programm angestoßenen Markt für Aufdachanlagen auf Wohnhäusern entstand

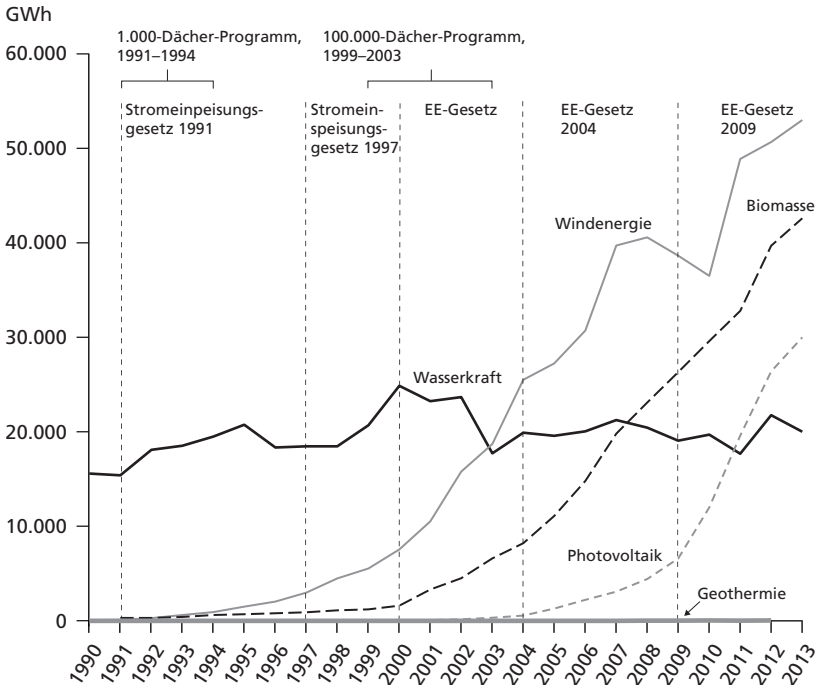
39 Siehe Ursula Richter, Gregor Holst und Walter Krippendorf, 2008: *Solarindustrie als neues Feld industrieller Qualitätsproduktion – das Beispiel Photovoltaik*. OBS-Arbeitsheft 56. Studie im Auftrag der Otto Brenner Stiftung. Frankfurt a.M.

40 European Climate Forum et al., 2008: *Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland*. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin.

41 Zum Vergleich: Die nach der Wirtschafts- und Finanzkrise in Deutschland gewährte, viel diskutierte Abwrackprämie umfasste 5 Milliarden Euro. Siehe zur Schätzung des Investitionsvolumens für Photovoltaikanlagen: Harry Wirth, 2014: *Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland*. Fassung vom 9.3.2014. Freiburg: Fraunhofer ISE, 30.

42 Siehe Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, 2013: *Erneuerbare Energien und das EEG: Zahlen, Fakten, Grafiken (2013)*. Berlin, 72.

Abbildung 6-1 Bruttostromerzeugung mit regenerativen Energien in Deutschland, 1990–2013



Quellen: Werte für 1990–2012: Arbeitsgruppe Erneuerbare-Energien-Statistik, Bundesumweltministerium; Werte für 2013: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen.

seit 2004 ein langsam, aber stetig an Bedeutung gewinnender Markt für größere Freiflächenanlagen in Deutschland. In den Verhandlungen zur Novellierung der Photovoltaikförderung nach dem Auslaufen des KfW-Programms führten Forderungen der Fertigungsindustrie zum Einschluss von Großanlagen noch zu einer Reihe von Konflikten. Hirschl (2008: 112–113, Fn. 118) berichtet aus erster Hand von Mediationsgesprächen des Umweltministeriums, in denen Umweltverbände sich gegen den Einschluss der Freifläche in die neuen Förderbedingungen wandten.⁴³ Dass im EEG von 2000 überhaupt Anlagen berücksichtigt wur-

⁴³ Siehe zu den Konfliktlinien auch Naturschutzbund Deutschland, 2006: *Leitfaden Erneuerbare Energien. Konflikte lösen und vermeiden*. Bonn, 15–21, ebenfalls zitiert in Hirschl (2008); Solarenergie-Förderverein Deutschland, 2003: *Freiflächenanlagen – Position des SFV*. Aachen; Solarenergie-Förderverein Deutschland, 2003: *Novellierung des EEG – PV-Freiflächenanlagen*. Aachen.

den, die nicht auf Hausdächern angebracht waren, war schon ein Kompromiss zwischen Industrie und ethisch-ökologischen Reforminteressen. Mit dem EEG 2004 wurde dieser durch den Einschluss größerer Anlagen etwas in Richtung der Industrieinteressen verschoben, unter der Zusicherung, dass Bebauungspläne für geförderte Großanlagen verbindlich seien und sich der Ausbau auf Brach- und Konversionsflächen konzentrieren sollte. Das kam auch der von Anfang an in die Konsultationen einbezogenen Landwirtschaft entgegen, insoweit das EEG damit tendenziell weniger Druck auf die Preise von Ackerflächen ausübte.⁴⁴

Wie bis in die zweite Hälfte der 2000er-Jahre immer wieder, gelang es den verschiedenen Akteuren recht zügig, einen Kompromiss zwischen ethisch-ökologischen und industriellen Interessen auszuarbeiten. Die frühen Warnungen Hermann Scheers, jetzt, da man aus dem ethischen Anliegen der *solaren Revolution* politisch »ein business« gemacht habe, stehe das Fördersystem vor der Gefahr seiner Korruption und der Loslösung vom Geist seiner Initiierung, bewahrheiteten sich kurzfristig nicht.⁴⁵ Fälle der relativ erfolgreichen Mediation von Interessenkonflikten im Feld der Unterstützer der ökologischen Reformen wie innerhalb der Industrie selbst waren in den ersten Jahren des Fördersystems noch recht zahlreich. Beispiele sind die Verbandsentwicklung um die Solarenergie seit den späten 1990er-Jahren und die relative Einmütigkeit verschiedener Interessengruppen in den Novellierungsverhandlungen des EEG. Ende der 1990er-Jahre existierten für die Solarwirtschaft mindestens vier bundesweit tätige Verbände. Zuerst in Essen und dann in München arbeitete der 1978 gegründete und in den Anfangsjahren recht exklusive Bundesverband Solarenergie (BSE; Mener 2001: 434–435), in dem hauptsächlich große Hersteller und Großhändler aus der Solarwärme- und Photovoltaikbranche organisiert waren. In Freiburg gab es den 1979 ursprünglich aus Verdruss über die Nichtaufnahme kleiner Solarwärmefirmen in die Vorläufer des BSE gegründeten Deutschen Fachverband Solarenergie (DFS; ebd.: 437), der eher auf kleine Installateure, Projektierer und Anlagenbauer und ursprünglich auf Wärmeerzeugungsanlagen

⁴⁴ Der Einschluss von Großanlagen sollte das Fördersystem insbesondere in der zweiten Hälfte des Jahrzehnts gravierend verändern. Bestand bis 2003 noch über 50 Prozent der gesamten installierten Menge aus Anlagen, die kleiner als 10 KWp waren, würden über die Folgejahre zuerst Anlagen zwischen 10 und 100 KWp mehr als die Hälfte neuer Installationen ausmachen; ab 2009 brachen sich große Photovoltaikparks mit Nennleistungen über 500 KWp Bahn. Siehe die Schätzungen in Fraunhofer ISE, 2013: *Photovoltaics Report*. Präsentationsfolien, 7. November 2013. Freiburg, 14. Planung und Betrieb großer Anlagen öffneten das deutsche Fördersystem für völlig neue Branchen, insbesondere Banken und Anlagefonds, die unter Bedingungen der Niedrigzinspolitik einige Jahre nach dem Ausbruch der Finanzkrise offensichtlich verstärkt Interesse an staatlich garantierten zwanzigjährigen Vergütungen entwickelten.

⁴⁵ Siehe Hermann Scheer, 2000: Solarbewegung zwischen ethischer Verantwortung und Kommerzialisierung. In: *Solarzeitalter* 1, 1–3.

ausgerichtet war. Mit einer Zentrale in München war seit 1975 die Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie tätig, die einerseits Anwender mitvertrat und sich andererseits nicht als bloßer Industrieverband, sondern als umfassende Austausch-, Bildungs- und Aktionsplattform, als eine Art Verein für Interessierte, Unterstützer, kleine Firmen, das Handwerk und die Wissenschaft verstand. Zuletzt gründeten die neuen Brandenburger und Berliner Solarfirmen eine eigene Branchenorganisation zur Interessenvertretung vor dem Berliner Senat und zur Information potenzieller Kunden und Investoren über Angebote und staatliche Fördermöglichkeiten, die Unternehmensvereinigung Solarwirtschaft (UVS). Unter den Verbänden entstanden etliche Redundanzen, die Zahl ihrer Mitglieder wuchs seit den späten 1990er-Jahren um ein Vielfaches und die kollektive Abhängigkeit von der bundespolitischen Förderung änderte Anforderungen der Mitglieder an ihre jeweilige Vertretung. Aus der wesentlich nach Innen arbeitenden Verbandslandschaft der 1980er- und frühen 1990er-Jahre entwickelte sich nach Einführung des EEG schnell ein wesentlich nach Außen arbeitendes Ökosystem aus Lobbyorganisationen, ein Prozess, den die Verbände selbst »Professionalisierung« nannten.⁴⁶ Dem war förderlich, dass die Politik über mehrere Jahre vor allem den Dachverband aller regenerativen Energiebranchen in formale Konsultationen einbezog, den 1991 gegründeten Bundesverband Erneuerbare Energien (BEE). Insbesondere die UVS gewann als für einige Zeit einziger in Berlin angesiedelter Bundesverband innerhalb von zwei Jahren rasant an Mitgliedern aus den verschiedensten Branchen und Segmenten der Wertschöpfungskette. Bis Ende des Jahres 2001 vertrat sie circa 300, bis Mitte 2003 circa 400 Mitglieder. Ebenso vertraten alle vier Verbände die Solarwärme- sowie die Photovoltaikbranche, die in der Herstellung wie in der technischen Systemintegration wenig miteinander zu tun hatten. Bemerkenswert ist nun, wie weitgehend die Branchen seit 2000 ihre Interessen in einer gemeinsamen Vertretung übereinbringen konnten. Noch 2003 fusionierten BSE und DFS zum Bundesverband Solarindustrie (BSi) und zogen ebenfalls nach Berlin. 2006 wiederum fusionierten der BSi mit circa 200 Mitgliedern und die UVS mit circa 400 Mitgliedern zum Bundesverband Solarwirtschaft (BSW), nachdem die Verbände über mehrere Jahre koordiniert und später schon im selben Gebäude arbeiteten.⁴⁷ Obwohl die Förderung der Solarwärmeindustrie weit hinter den neuen Großprojekten in der Stromversorgung zurückblieb und seit 2001 wiederholt Kandidat für die Konsolidierung des öffentlichen Haushalts wurde, warben die Verbände entschieden für beide Branchen, besetzten ihre Vorstände teilweise

46 Bundesverband Solarindustrie, 2002: *Solarindustrie formiert sich neu*. Pressemitteilung, Berlin.

47 Siehe zu den Fusionsplanungen: Bundesverband Solarindustrie und Unternehmensvereinigung Solarwirtschaft, 2004: *Führungen von BSi und UVS planen Verbändedefusion*. Pressemitteilung, Berlin.

paritätisch (später zumeist mit Vertretern der zu Installateuren und Fertigern neutraler stehenden Wechselrichterfertigung als Verbandspräsidenten) und gieten in erstaunlich wenige öffentlich ausgetragene Konflikte. Ebenso ging die Branche über einige Jahre gut mit Konflikten entlang der Wertschöpfungskette um. Als um das Jahr 2006 gravierende Knappheiten bei Solarzellen auftraten und insbesondere kleine Modulhersteller ihre Produktion teilweise um zwei Drittel zurückfahren mussten, führte die auf den Export bedachte Vertriebspolitik der deutschen Zellhersteller zwar zu einiger Verstimmung zwischen den Industriesegmenten, ein öffentlicher Konflikt blieb aber aus. Zellhersteller, die von der Politik und ihren Aktionären getrieben wurden, im Export unter Beweis zu stellen, dass sie nicht nur auf der deutschen Förderwelle schwammen, und die auf der anderen Seite eine zunehmende Menge kleiner, von ihnen abhängiger reiner Modulfertiger belieferten, gaben sich durchaus bedingt kooperativ, Preissteigerungen im Rahmen zu halten und allzu gravierende Engpässe zu vermeiden.⁴⁸ Ebenso gelang es der deutschen Industrie, eine von 2004 bis 2007 herrschende gravierende Siliziumknappheit recht gut zu überstehen. Bis weit in die zweite Hälfte der 2000er-Jahre deckte die Industrie einen Großteil ihres Siliziumbedarfs von Zulieferern aus der Halbleiterindustrie, deren Kapazitätsausbau für die neue Industrie mehrere Jahre auf sich warten ließ.⁴⁹ Die Mehrzahl der deutschen Fertiger musste zwar überhöhte Preise für Rohmaterialien und Vorprodukte hinnehmen, entging aber den bis 2006 teilweise auf das Vierfache und bis 2007 auf das Sechzehnfache der Preise von 2003 gestiegenen Spotmarktpreisen für Silizium größtenteils durch längerfristige Lieferverträge. Und, ganz wichtig, es schien so, als würde es bis in zweite Hälfte der 2000er-Jahre niemanden in der Industrie gravierend stören, dass man individuelle Geschäftsmodelle auf technischen Pfaden hielt, die wenig proprietär und wenig differenziert waren – zum unbestreitbar kollektiven Vorteil der Branche und unbeabsichtigt im Geist von Cherry Hill. Dass industrielle Fertigkeiten über die direkte Kooperation, Forschungsverbünde und -institute, Anlagenbauer und Zulieferer in der Branche diffundierten, stellte für einige Jahre der kollektiven *Catch-up*-Industrialisierung offensichtlich selten einen Grund für die Fertiger dar, aus dem schrittweisen *upscaling* der kristallinen Technik auszuscheren.

Was für die interne Organisation der Branche galt, galt auch für die Organisation der Unterstützer der Photovoltaikförderung. In den Aushandlungen der

48 Siehe zu diesen Vorgängen: In der Wüste. In: *Photon* 5, 2006, 32–36.

49 Noch 2009 schätzte PricewaterhouseCoopers die durchschnittliche Dauer der Planung und Errichtung einer Polysiliziumfabrik auf drei Jahre. Siehe Peter Claudy, Michaela Gerdes und Janosch Ondraczek, 2010: *Die deutsche Photovoltaik-Branche am Scheideweg. Herausforderungen und Chancen für Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette*. Branchenreport. PricewaterhouseCoopers, 41.

Novellen des EEG 2004 und 2008 blieben potenziell konfliktstiftende Forderungen sowie Abwägungen zwischen den verschiedenen Zielen des Gesetzes weitgehend außen vor. Das letzte Mal, dass eine Interessenvertretung der Solarwirtschaft in den jeweiligen Anhörungen öffentlich das Einziehen von *Local-Content*-Ergänzungen in das Förderregime forderte, die dem Prinzip nach sowohl in die Interessen des Installationsgewerbes wie in umweltpolitische Ziele zugunsten des Industrieaufbaus geschnitten hätten, war im Jahr 2004.⁵⁰ Als das Branchenblatt Photon im Jahr 2005 zum ersten Mal versuchte, der Solarbranche nachzuweisen, dass sie die jährlichen Zubauzahlen um die Hälfte zu gering geschätzt habe, fiel es ihr sichtlich schwer, Stimmen aus dem Sektor zu finden, die auf die Warnung unkontrollierten Zubaus einschwenken wollten. »Entscheidend ist die kritische Masse«, ließ sich der ansonsten sehr auf die politische Legitimität des Förderregimes bedachte Hermann Scheer zitieren.⁵¹ Das sogenannte Photovoltaik-Vorschaltgesetz, mit dem die Vergütung für Photovoltaikstrom Anfang 2004 wegen des auslaufenden KfW-Programms hektisch ein weiteres Mal erhöht wurde, passierte die Öffentlichkeit wie den Bundestag beinahe ohne Widerspruch. Mit Ausnahme der FDP, die das EEG weitgehend ablehnte und deren Abgeordnete von der Photovoltaik als der »Steinkohle der Zukunft« sprachen, stimmten alle Fraktionen im Bundestag der Fördererhöhung zu.⁵² Bis auf die üblichen Gegner der ökologischen Energiepolitik, allen voran BDEW und BDI, wurde die Photovoltaik in den frühen Ausschusssitzungen weitgehend im Konsens als zukünftig vielversprechende Exportindustrie und als Hort heimischer innovativer Hochtechnologie im Energiebereich diskutiert.⁵³ Noch Anfang 2010 sollte Norbert Röttgen, Umweltminister der konservativen Regierung vor der Reaktorkatastrophe in Fukushima 2011 und vormalig designierter Hauptgeschäftsführer des BDI, die neuen Industrien in einem Ton anpreisen, der sehr nah an den Visionen des grünen Wahlprogramms von 1998 lag:

Die Umstellung unserer Energieversorgung auf erneuerbare Energien ist eine fundamentale, aussichtsreiche, ja *die konkrete Wachstumsstrategie* für unser Land. Die Wirtschaftsstruktur, die sich hier entwickelt, ist keine oligopolistische, in der sich vier Große den Markt aufteilen. Es ist eine mittelständisch organisierte und strukturierte Wirtschaftsbranche. Es ist eine im höchsten Maße innovative Branche. Es ist eine Branche, die schon heute bei 16 % Anteil an

50 Bundesverband Solarindustrie, 2004: *Faire Wettbewerbschancen für die deutsche PV-Solarstromindustrie. Unverlangtes Positionspapier zum Entwurf eines Gesetzes zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich (EEG)*. Berlin.

51 Boom im Verborgenen. In: *Photon* 11, 2005, 60–69.

52 Siehe die dazugehörige Abschlussdebatte in Deutscher Bundestag, 2003: *Plenarprotokoll 15/79*. Berlin, 6995–6998.

53 Siehe etwa Deutscher Bundestag, 2004: *Ausschuss für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Korrigiertes Wortprotokoll. 15/33*. Berlin, 47, 50.

der Stromversorgung knapp 300.000 Beschäftigte stellt. Wir sind im Bereich der Umwelttechnologien Weltmarktführer. Das verdanken wir den Fähigkeiten deutscher Ingenieure.⁵⁴

Als im Jahr 2008 eine erneute Novellierung des EEG von einer Welle von Presseberichten begleitet wurde, die ausbleibende Preissenkungen für Photovoltaikanlagen, überzogene Renditen und eine Überförderung kritisierten, verliefen die Verhandlungen unerwartet konsensual. Selbst der Vertreter der Verbraucherzentralen zeigte sich neben wiederholten Ermahnungen, die EEG-Umlage nicht ausufern zu lassen, zurückhaltend. Immerhin stehe hinter der Technik das Versprechen, einen »Teil der Energieversorgung vom Investitionsgüterbereich in den Konsumgüterbereich zu verlagern«.⁵⁵ Die Industrie – zumindest das Segment großer Fertiger, das über etwas mehr preislichen Spielraum verfügte – gab über das Jahr 2009 mehrfach Angebote zur Kürzung der Förderung und zur Begrenzung des Zubaukorridors aus. Sie schloss sich den Anpassungsinitiativen der Regierung, an der mittlerweile die Konservativen beteiligt waren, zumindest öffentlich an und befürwortete mehrfach eine Begrenzung des Zubaus.⁵⁶ Wie sich später zeigen sollte, hatte viel dieser kooperativen Atmosphäre im Unterstützerkreis damit zu tun, dass das EEG zuvor ungekannte Ressourcenflüsse und eine bis in das Jahr 2011 stetig wachsende Verteilungsmasse für den Sektor bedeutete.

Der politische Zusammenhalt des Förderregimes in Deutschland wurde dadurch bestärkt, dass sich über die 2000er-Jahre sowohl die Nachfrageförderung regenerativer Energien wie die Industrieförderung für unkonventionelle Energietechnologien international verbreiteten – aus der vorsichtigen technologischen Konkurrenz zwischen Europa, Japan und den USA entwickelte sich über die 2000er-Jahre eine globale Euphorie um die grünen Energietechnologien sowie ein globales Investitionsrennen um eine industrielle Basis für ihre Herstellung. Bis in das Jahr 2010 existierten wenige Länder, in denen nicht auf irgendeine Weise neue Energietechnologien und neue Energieindustrien öffentlich gefördert wurden.⁵⁷ Sowohl hinsichtlich Technologieschwerpunkten als

54 Norbert Röttgen, 2010: Was bedeutet Fortschritt heute? Perspektiven einer zukunftsfähigen Umwelt- und Energiepolitik. Grundsatzrede des Bundesumweltministers an der Berliner Humboldt-Universität am 12.2.2010. In: *Solarbrief 1/2010*. Solarenergie-Förderverein Deutschland, 6–11, 9.

55 Deutscher Bundestag, 2008: *Ausschuss für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Korrigiertes Wortprotokoll*. 16/64. Berlin, 11.

56 Siehe: Kuscheln mit Angela und Guido. In: *Photon* 11, 2009, 16–21.

57 Einen guten – wenn auch notwendig kursorischen – Überblick internationaler *policies* zur Förderung regenerativer Energien geben die Sammelbände von Volkmar Lauber (2005) sowie von Lutz Mez (2007). Einen Überblick über traditionell finanziell, technologisch und zeitlich zerklüfteten Förderlandschaft in US-Bundesstaaten, Energieversorgungsgebieten und Gemeinden geben Prasad und Munch (2012). Leah Stokes (2013) hat einen aufschlussreichen Überblick zur kanadischen Politik regenerativer Energien ausgearbeitet. Einen ständig aktualisierten Über-

auch hinsichtlich energie- und industriepolitischen Instrumenten unterschieden sich die Fördersysteme verschiedener Länder gravierend. Teils hing dies mit den spezifischen natürlichen und geografischen Bedingungen unterschiedlicher Länder zusammen. Beispiele sind der Geothermieschwerpunkt in Island, die Förderung der Landwirtschaft für biogene Kraftstoffe in Brasilien, der Wasserkraft in Norwegen oder Schweden oder der Windkraft in Dänemark und Großbritannien. Teils folgten die Förderschwerpunkte politisch-ökonomischen *legacies*, wie etwa im Fall der frühen Konzentration Japans auf die Photovoltaik oder der Verbreitung von Solarwärmanlagen für die Warmwasserbereitung in China und Israel. Und teils erwuchsen Förderschwerpunkte aus komplexeren sozio-ökonomischen Prozessen in den 1980er- und 1990er-Jahren, wie etwa im Fall Deutschlands oder im Fall der Photovoltaikförderung in der Schweiz und in Tschechien. Die internationale Verbreitung von Förderleistungen – und noch mehr die internationale Diffusion kostendeckender Vergütungsmodelle – bestrkte das deutsche Förderregime in mehreren Hinsichten. Sie gab Fürsprechern Anschauungsmaterial, an der Spitze einer Entwicklung zu stehen, statt einen realitätsfernen nationalen Sonderweg zu verfolgen. Sie erlaubte, das deutsche Fördersystem zu entlasten und damit den fortwährend über Mehrbelastungen klagenden Wirtschaftsverbänden entgegenzukommen, ohne Einschnitte in den neuen Branchen vornehmen zu müssen, und bot dem Förderregime damit das, was in frühen deutschen sektorpolitischen Debatten »Exportventil« genannt wurde (Borchardt 1977: 87) – eine Möglichkeit, vertrackte innere politisch-ökonomische Interessenabwägungen (etwa im Fall von Strukturkrisen) über den Export zu vermeiden oder zumindest hinauszuzögern (siehe auch Katzenstein 1985: 23). Schon 2003 richtete das Wirtschaftsministerium Infrastrukturen – im Grunde klassische industriepolitische *extension services* – für die Branche ein, um die Exportquote der neuen Industrien zu erhöhen, hauptsächlich Plattformen zur Netzwerkbildung unter exportierenden Unternehmen, weitere staatlich geförderte Leuchtturmprojekte in Zielmärkten und Informationsdienste zu internationalen Förderregimen.⁵⁸ Auch wenn die staatlichen Exportfördermaßnahmen in den ersten Jahren ihres Bestehens auf gemischtes Echo in der Industrie stießen (Hirschl 2008: 92–93, Fn. 87), entwickelte sich die Erhöhung der Exportquote zu einer wesentlichen Forderung der Politik einerseits und zu einem wesentlichen Profilierungsmittel der neuen Industrien andererseits, zu einer Art gemeinsamem Zukunftsprojekt. Der deutschen Zell- und Modulindustrie

blick zur Installationsförderung und Marktlage in verschiedenen Ländern gibt die Deutsche Energie-Agentur.

58 Siehe den ursprünglichen Plan der Exportinitiative Erneuerbare Energien: Deutscher Bundestag, 2002: *Deutsche Exportinitiative – Erneuerbare Energien. Antrag der Fraktionen der SPD und Bündnis 90/Die Grünen*. 14/8278. Berlin.

gelang die Erhöhung ihrer Exporte über die Jahre vornehmlich im europäischen Ausland, in der zweiten Hälfte der 2000er-Jahre vor allem in Spanien und später in Italien. In der Branche kursierten im Jahr 2007 Schätzungen, nach denen Deutschland bis 2008 Nettoexporteur für Solarmodule sein und die Industrie bis in das Jahr 2020 75 Prozent ihres Umsatzes im Ausland verdienen würde.⁵⁹ Und zumindest im Jahr 2008 sah es trotz des ausgelaufenen japanischen Dächer-Programms und der weit hinter den anfänglichen Erwartungen zurückbleibenden Installationsförderung in der Anfang 2006 von George W. Bush angekündigten Solar America Initiative so aus,⁶⁰ als ginge die globale Bedeutung der deutschen Installationsförderung zurück – hauptsächlich verursacht von einem internationalen Rennen um die neu eingerichtete spanische Förderung von Einspeisungen aus Freiflächenanlagen (siehe Abbildung 6-2).

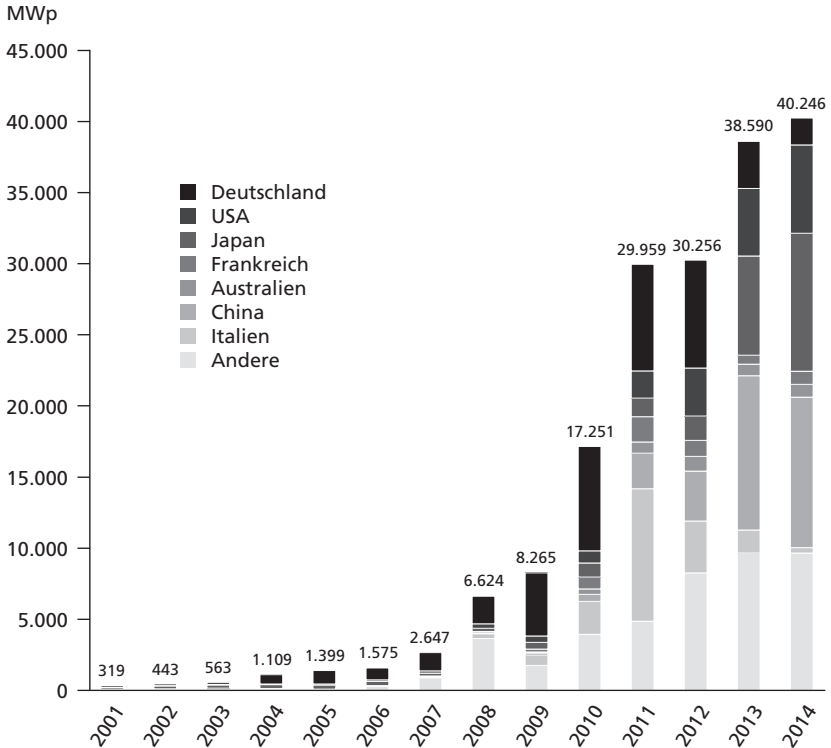
Das Wachstum weltweiter Installationsförderung führte zu einem wahren Investitionsrennen in der Zell- und Modulproduktion. Dies galt sowohl für die deutschen Fertiger wie für eine zunehmende Anzahl neuer Fertiger aus allen möglichen Ländern (siehe ausschnittsweise Tabelle 6-1). Die globale Photovoltaikfertigung bleibt bis in die Gegenwart technologisch, organisational und geografisch verhältnismäßig fragmentiert. Fast jeder große Fertiger expandierte in der zweiten Hälfte der 2000er-Jahre in seinen Kerntechnologien – anfangs mit wenigen Ausnahmen in der Herstellung mono- und polykristalliner Zellen und Module. Zusätzlich zum Wachstum der größten Volumenproduzenten aus Europa und Japan expandierten seit 2006 insbesondere chinesische und taiwanische Firmen erheblich, allen voran das seit 1999 in der Photovoltaik aktive taiwanische Unternehmen Motech und das 2001 gegründete chinesische Unternehmen Suntech. In China entstanden zwischen 2004 und 2007 zahlreiche später enorm große und technologisch fortschrittliche Fertiger. Diese hatten zumeist starke Bindungen an bestimmte Regionen oder Industriezentren, waren häufig durch regionale industriepolitische Allianzen aus semiöffentlichen Banken, anliegenden Firmen und der Regionalpolitik gegründet oder hochgezogen worden und wurden in Kooperationsbeziehungen mit Konkurrenten und Kunden aus Europa, Japan und den USA im Verbund an die Industrie herangeführt (Marigo 2007; Mitchell 2011; Nahm/Steinfeld 2014: 156).⁶¹ Zusätzlich zur Ausweitung

59 Siehe zu den Schätzungen die vom Branchenverband in Auftrag gegebene Studie: Eupd Research und Institut für Wirtschaftsforschung, 2008: *Standortgutachten Photovoltaik in Deutschland – Kurzfassung*. Bonn, Berlin, 11. Zu den konkreten politischen Hoffnungen auf Entlastung durch den spanischen Markt: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2007: *Erfahrungsbericht 2007 zum Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG-Erfahrungsbericht)*. Berlin, 129.

60 Siehe US National Economic Council, 2006: *Advanced Energy Initiative*. Washington, DC.

61 Gerhard P. Willeke und Armin Räuber, 2012: On the History of Terrestrial PV Development: With a Focus on Germany. In: *Semiconductors and Semimetals* 87, 7–48, hier: 35–37.

Abbildung 6-2 Jährliche Photovoltaikinstallationen in ausgewählten Ländern, 2001–2014



Quelle: 2001–2003: berechnet nach einer Zusammenstellung des Earth Policy Institute. 2004–2014: berechnet nach: *BP Statistical Review of World Energy*, June 2015, A5.

der Produktion der seit dem japanischen Dächer-Programm weitgehend marktbestimmenden kristallinen Siliziumphotovoltaik begannen mehrere etablierte Fertiger, neben ihren Kerntechnologien in Dünnschichtfabriken zu investieren, Mitte der 2000er-Jahre noch häufig *second- und third-generation photovoltaics* genannt.⁶² Die verstärkten Aktivitäten im Dünnschichtbereich gingen strukturell teilweise auf Diversifizierungsversuche zurück, teilweise auf Erfahrungen mit dem mehrjährigen Siliziumengpass und teilweise auf die zunehmende Bedeutung von großen Flächenanlagen, bei denen die Effizienz der Module we-

62 Jürgen H. Werner, 2004: Second and Third Generation Photovoltaics – Dreams and Reality. In: *Advances in Solid State Physics* 44, 51–66.

niger zentral war als bei kleinen Aufdachanlagen. In Deutschland nahm Schott 2008 ein weiteres Werk für amorphe Siliziummodule in Jena in Betrieb; Q-Cells arbeitete über eine Reihe von Tochterfirmen und Beteiligungen an Cadmium Tellurid-, CIGS- und Tandem-Modulen aus amorphem und mikrokristallinem Silizium. Shell, das 2002 Siemens' und EONs Photovoltaiksparte übernommen hatte und 2006 seine Aktivitäten für kristalline Produkte vollständig an Solarworld veräußerte, nahm mit dem Glashersteller Saint-Gobain im Joint Venture Avancis 2008 eine Fertigung für CIS-Module in Torgau in Betrieb und erweiterte seine Dünnschichtfertigung in seinem japanischen Ableger Showa Shell (später Solar Frontier).⁶³ Derartige Fabriken mit alternativen Zelltechniken sind schwerlich als reine Fertigungsstätten zu verstehen. Vielmehr stellen sie zumeist eine Form der Forschung und Entwicklung in technologischen Feldern dar, in denen die wesentliche Herausforderung darin bestand, reichlich vorhandene Labortechniken stabil in die Volumenfertigung zu überführen.⁶⁴

Zusätzlich zur Expansion der Fertiger, die in den späten 1990er-Jahren in der Photovoltaik aktiv waren, trat eine Reihe etablierter technologieorientierter Konzerne in die Branche ein. Im Jahr 2004 kaufte General Electric den zahlungsunfähigen amerikanischen Zellfertiger AstroPower. Mitte 2008 übernahm Bosch den Zellhersteller Ersol sowie 2009 den Modulhersteller Aleo Solar. Ebenfalls seit 2008 weiteten LG Electronics und eine Reihe großer ostasiatischer Elektronikkonzerne ihr Engagement in der Photovoltaik mit Übernahmen oder

63 Siehe zu diesen und weiteren Beispielen: Solaraufbau Ost – Ein Überblick. In: *Sonnenenergie* 5, 2007, 31–35. Die umfassendsten Quellen zur Entwicklung der Fertigung in Deutschland seit dem Jahr 2000 sind die öffentlichen Korrespondenzen zwischen der Europäischen Kommission und der deutschen Regierung. Da fast jede Fabrikunternehmung neben kommunalen Hilfen auf genehmigungspflichtige Gelder aus Struktur-, Investitions- oder Kleinfirmenprogrammen zugreifen konnte, gibt der Schriftverkehr einen reichhaltigen Einblick in Struktur und Umfang der jeweiligen Unternehmungen. Siehe etwa zur Struktur von Avancis: Neelie Kroes, 2007: *Schreiben an die Deutsche Bundesregierung. State aid N 863/2006 – Avancis (MSF 2002) – Germany*. Brüssel: DG Competition, European Commission; zum Joint Venture in der Waferfertigung zwischen Schott und Wacker: Neelie Kroes, 2007: *Schreiben an die Deutsche Bundesregierung. State aid N 773/2007 – DE-LIP – Wacker Schott Solar GmbH*. Brüssel: DG Competition, European Commission; zur Kapazitätsausweitung bei Ersol nach der Übernahme durch Bosch: Neelie Kroes, 2007: *Schreiben an die Deutsche Bundesregierung. State aid N 539/2008 – Germany – LIP – ersol Solar Energy AG*. Brüssel: DG Competition, European Commission.

64 Ein oft übersehener Grund für die organisationalen Strukturen der ostdeutschen Firmen und ihre Tendenz, die Arbeit an neuen Technologien oder einzelnen Wertschöpfungsschritten in formell abgeschiedenen Firmen durchzuführen, ist die Tatsache, dass die Firmen sich neben Strukturhilfen und Investitionsbeihilfen für SME-Bonus-Programme qualifizieren konnten. Siehe etwa die Auseinandersetzungen zwischen Europäischer Kommission und deutscher Bundesregierung um die Eigenständigkeit des Joint Ventures zwischen Q-Cells und Evergreen Solar namens EverQ in: Neelie Kroes, 2008: *Schreiben an die Deutsche Bundesregierung. State aid C 27/2008 (ex N 426/2005) – Germany EverQ (SME bonus)*. Brüssel: DG Competition, European Commission.

Tabelle 6-1 Schätzungen zur Photovoltaikproduktion nach Firmen und Regionen, 2003–2012

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Mengen in MWp										
BP/Solarex	70	85	88	86	228	150				
Ersol/Bosch		16	20	43	53	143	200	335	450	460
First Solar		6	20	60	307	440	1.057	1.387	1.980	1.875
Hanwha							260	500	687	1.400
Ja Solar						210	509	1.460	1.695	1.600
Kyocera	72	105	142	180	207	290	340	630	660	800
Motech		35	60	111	240	260	338	850	1100	1.280
Q-Cells	28	75	166	253	389	550	518	995	783	1.066
Sanyo	35	65	125	155	155	220	260	405	350	
Schott	42	63	95	96	80	145	113	320	295	
Sharp	198	324	428	434	363	460	570	914	857	1.077
Shell	73	72	59							
Solarworld	17	28	38	70		220	252	400	550	608
Sunpower			23	63	150	220	347	570	922	925
Suntech		28	82	158	327	498	672	1.530	2.096	1.350
Trina					40		399	905	1.510	1.600
Yingli				35	143		525	1061	1.600	1.950
China/Taiwan	14	42	70	258	768	1.703	3.640	9.223	14.855	17.461
Europa	176	273	408	615	983	1.703	1.424	2.610	1.651	1.043
Japan	351	546	718	873	891	1.208	1.266	2.088	2.830	3.127
USA	95	137	127	139	246	384	396	1.044	707	782
Andere	47	53	70	99	154	439	1.108	2.436	3.537	3.649
Gesamt	675	1.050	1.408	1.985	3.073	5.492	7.913	17.402	23.579	26.062

Siehe oben Tabelle 5-2 zur Aussagekraft, Herkunft und Qualität des Datenmaterials. Es sind Rundungsfehler enthalten. Manche der Inkonsistenzen zwischen Firmen- und Länderwerten sind Inkonsistenzen zwischen den Datenquellen geschuldet.
 Quellen: Firmendaten 2003–2005 nach IC2 Institute, 2007: *Opportunity on the Horizon: Photovoltaics in Texas*. Austin, TX: University of Texas at Austin, 10; Firmendaten 2008 nach US Department of Energy, 2010: *2008 Solar Technologies Market Report*. Washington, DC, 22; Firmendaten 2009 nach US Department of Energy, 2011: *2010 Solar Technologies Market Report*. Washington, DC, 28. Firmendaten ergänzt mit Arnulf Jäger-Waldaus *PV Status Reports 2007–2013 des EU-JRC*; Große Pläne. In: *Photon*, Nr. 1, 2007, 29–34; Von wegen Krise. In: *Photon*, Nr. 4, 2011, 38–65; Das Jahr des Tigers. In: *Photon*, Nr. 4, 2011, 38–71; Das Jahr des Drachen. In: *Photon*, Nr. 4, 2012, 42–75. Regionale Produktion nach SPV Market Research, 2013: *US Market Development*. IEA PVPS Task 1. September 30, 2013. Presentation Slides. Paris: International Energy Agency, 21. Summenfehler im Original.

internationalen Joint Ventures aus. Neben der Fertigungsexpansion größerer Firmen entstanden in Deutschland wie in den meisten anderen Ländern mit einer Fertigungsbasis in der Photovoltaik zahlreiche kleinere Fabriken, üblicherweise mit 5 bis 20 Prozent der Produktionskapazität der größten Firmen und häufig ohne bedeutende Forschungs- und Entwicklungskapazitäten. Verlässliche und öffentlich zugängliche Schätzungen zur Gesamtzahl der über die zweite Hälfte der 2000er-Jahre errichteten kleineren Fabriken existieren nicht. Als Näherung enthielt die internationale Firmendatenbank des chinesischen Branchendienstleisters ENF im August 2006 62 Zellfertiger sowie 235 Fertiger von Modulen, im August 2007 102 Zell- und 427 Modulfertiger und im August 2008 schon 153 Hersteller von Zellen und 663 von Modulen, reine OEM- und ODM-Fertiger sowie Großhändler ausgeschlossen.⁶⁵

Die industrielle Dynamik wurde von einer massiven Ausweitung grüner Industriepolitik in zahlreichen Ländern begleitet. Die Weltbank hat geschätzt, dass im Jahr 2010 3,4 Prozent aller Exporte aus Entwicklungsländern Umweltgüter waren, gegenüber schon 6 Prozent Anteil an den Exporten von Hochlohnländern.⁶⁶ In Ostasien wie in Europa und den USA verwandten Staaten in der zweiten Hälfte der 2000er-Jahre jegliches bekannte industriepolitische Instrument, von Steuerbefreiungen, Beihilfen und angepassten Umweltstandards über Kredite und Bürgschaften bis hin zur Forschungs- und Ausbildungsförderung, um die neuen Industrien heimisch zu verankern. In der Photovoltaik waren es neben den mit dem Sektor erfahrenen Ländern Deutschland, Japan und den USA in erster Linie China, wo seit 2004 verstärkt politisch am Aufbau einer heimischen Industrie gearbeitet wurde, die Philippinen, wo sich in der zweiten Hälfte der 2000er-Jahre der wichtige amerikanische Fertiger kristalliner Zellen Sunpower niederließ, und Malaysia, wo eine Reihe chinesischer Fertiger, der amerikanische Dünnschichtfertiger First Solar, die deutsche Q-Cells, Bosch (bis hin zum Grundstück), der japanische Panasonic-Konzern, der 2009 die in schwere finanzielle Schwierigkeiten geratene Solarsparte Sanyos übernommen hatte, sowie wiederum Sunpower sehr große integrierte Fabriken errichteten.⁶⁷

65 Die Werte wurden im Jahr 2012 aus historischen Abbildern des *Internet Archive* der ENF-Homepage (www.enf.cn) gewonnen, die mittlerweile nicht mehr zur Verfügung stehen. Die Abbilder der zitierten Seitenzustände sind auf Anfrage vom Autor zu erhalten.

66 World Bank, 2012: *Inclusive Green Growth: The Pathway to Sustainable Development*. Washington, DC, 69.

67 Malaysia, vermutlich das erfolgreichste Land im Anwerben der Expansionsinvestitionen internationaler Fertiger, gewährte Zellfertigern nach Schätzungen teilweise direkte Staatskredite für den Fabrikbau (etwa an die amerikanische Sunpower) sowie einen fünfzehnjährigen *tax holiday* auf ihre Einkommen und verfügte, nach den zahlreichen Ansiedlungen, über eine breit ausgebaute industrielle Infrastruktur für die Technologie (Wessner/Wolff 2012: 380).

Die neben der Ausweitung öffentlicher Förderung von Installationen und Kapazitätsinvestitionen zentrale Bedingung für das globale Wachstum in Produktionskapazitäten war eine massive Herabsetzung von Markteintrittsbarrieren durch die Entstehung eines spezialisierten Segments im Anlagenbau für die Photovoltaikindustrie, die zu nicht geringen Teilen aus der deutschen Branchenentwicklung der späten 1990er- und frühen 2000er-Jahre hervorging. Schon 2002 berichtete Rüber in einem Industrieüberblick für das Umweltministerium, dass Anlagenbauer mittlerweile fähig seien, komplette Fertigungen für kristalline Photovoltaikkomponenten zu liefern.⁶⁸ 2007 sah Gerhard Stryi-Hipp, langjähriger Geschäftsführer des DFS, BSI und BSW, die grundlegend neue Realität nach 35 Jahren der Produktionsentwicklung darin, dass »Produktions-Know-how [...] käuflich, international verfügbar« sowie »kaum mehr national [zu] sichern« sei – »Wettbewerbsfähigkeit basiert nicht mehr auf Produktions-Know-how«.⁶⁹ In bestimmter Hinsicht traf Stryi-Hipps Bemerkung nicht zu: Es war keinesfalls so, dass sich in der Produktion keine Spielräume mehr für inkrementelle herstellerspezifische Prozessinnovationen ergaben – alle großen Fertiger forschten in den Folgejahren weiterhin an Prozessoptimierungen und Prozessen für die Volumenfertigung von Produktinnovationen. Parallel dazu lieferten Anlagenbauer sowohl einzelne Prozessanlagen an große Firmen als auch ganze *Turnkey*-Linien auf derart ansehnlichem Niveau (und zumeist inklusive Effizienz Zusicherungen, Wartungs-, Ausbildungs- und Zertifizierungsunterstützung), dass einerseits völlig produktionsfremde Investoren mäßig wettbewerbsfähige Photovoltaikzell- und Photovoltaikmodulfabriken errichten konnten und andererseits grundlegende Prozessfertigkeiten dermaßen breit in der Industrie diffundierten, dass Größen- und Verbundvorteile eine immer wichtigere Rolle spielten. Die Massenfertigung, von der in der Industrie seit 1973 geträumt wurde, war zum Teil Realität geworden – mit allen Vor- und Nachteilen, die das mit sich brachte. Neben der Herstellung einzelner Prozessanlagen expandierte die Mehrzahl der Anlagenbauer, die seit den späten 1990er-Jahren in der Photovoltaikindustrie aktiv war, in den 2000er-Jahren in die weltweite Lieferung von *Turnkey*-Linien. Hersteller wie Centrotherm aus Konstanz, anfangs vor allem ein Spezialist für Diffusionsöfen, Manz aus Reutlingen, das zunächst vor allem mit Beschichtungs- und Siebdruckanlagen erfolgreich war, und Roth & Rau aus

68 Armin Rüber, Werner Warmuth und Wolfram Wetling, 2003: *Photovoltaische Solarenergienutzung III*. 0329727. Schlussbericht. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 24.

69 Gerhard Stryi-Hipp, 2007: *Die Solarindustrie in Deutschland – Entwicklung der Produktionstechnologien für Solarkomponenten und Systeme*. Präsentationsfolien. Themen 2007. Produktionstechnologien für die Solarenergie. Jahrestagung des Forschungsverbands Sonnenenergie in Kooperation mit dem Bundesverband Solarwirtschaft, 26.–27. September, Hannover, 22.

Chemnitz, zunächst auf Passivierungsanlagen spezialisiert, wandelten sich Mitte des Jahrzehnts in Aktiengesellschaften, erweiterten ihr Angebot auf beinahe die gesamte Prozesskette und verschiedene Materialien und rüsteten in der Folge die globale Industrie aus. Der deutsche Anlagenbau für die Photovoltaikindustrie erwirtschaftete seit dem Jahr 2007 mehr als die Hälfte seines Umsatzes im Ausland. In den Folgejahren erhöhten sich die Exportquoten der etwa einhundert im VDMA organisierten deutschen Hersteller von Produktionsmitteln für die Photovoltaik auf 80 bis 90 Prozent des Umsatzes.⁷⁰ Schätzungen für das Jahr 2011 gehen von einem Weltmarktanteil deutscher Komponentenzulieferer, Maschinen- und Anlagenbauer in der Photovoltaik von etwa 46 Prozent aus.⁷¹

Die spätere Dominanz chinesischer, japanischer, malaysischer und taiwanesischer Fabriken wurde zumindest bis in das Jahr 2009 von keiner Branchenanalyse vorhergesehen. Ein Umschwenken in der öffentlichen Wahrnehmung fand erst im Sommer 2009 statt, angestoßen durch eine für institutionelle Kunden angefertigte Branchenanalyse der Landesbank Baden-Württemberg, beziehend betitelt mit *Solardarwinismus*. Als im Jahr 2009 die spanische Regierung die Förderung von Solaranlagen nach einem Jahr wahrgenommener Überförderung unerwartet tief greifend austrocknete, die Wirtschafts- und Finanzkrise endgültig auf dem europäischen Kontinent ankam, sich erste Meldungen wirtschaftlicher Schwierigkeiten von Fertignern auf der ganzen Welt mehrten, Nachrichten unerwartet großer chinesischer Kapazitätsexpansionen häufiger wurden, die deutschen Vergütungssätze ein weiteres Mal gesenkt wurden und Preise nach Jahren der Silizium- und Modulknappheit wieder schneller fielen, führte dies in der deutschen Industrie, in den Medien und in der Politik zu länger anhaltender Besorgnis. Die LBBW-Studie ging von einer massiven Konsolidierungswelle aus, die viele der jungen Kleinfertiger aus der Industrie werfen und einen Umverteilungsprozess hin zu Tochterunternehmen von finanzstarken Konzernen bewirken sollte. Allerdings, so resümierte Wolfgang Seeliger den durchaus noch zuversichtlichen Ausblick der LBBW: »Wir rechnen schon 2010 mit steigender Nachfrage, 2011 kommt der richtige Durchbruch. Man muss nur bis dahin

70 Siehe zu den Schätzungen bis 2007: Eupd Research, 2008: *Standortgutachten Photovoltaik in Deutschland. Aktualisierung wichtiger Kennzahlen*. Bonn. Für 2009: Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau 2010. *VDMA Photovoltaik-Produktionsmittel: Umsatz im vierten Quartal rettet Jahresbilanz 2009*. Pressemitteilung, Frankfurt a.M.; für 2010: Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau, 2011: *Photovoltaik-Produktionsmittel: Auftragseingang auf Rekordniveau*. In: *Produktion Online*. An der Exportquote hat sich bis in die Gegenwart nicht viel geändert.

71 Harry Wirth, 2014: *Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland*. Fassung vom 9.3.2014. Freiburg: Fraunhofer ISE, 27.

durchhalten.«⁷² Im Einklang mit der Mehrzahl einschlägiger Branchenstudien gab sich auch das ifo-Institut relativ zuversichtlich:

Der technologische Vorsprung und die mit der Größe der ostdeutschen Photovoltaikunternehmen in der Regel verbundene Finanzstärke lassen erwarten, dass die ostdeutsche Photovoltaikindustrie die Krise meistern wird und Preissenkungen überstehen kann. In diesem Fall könnte sogar die Netzparität früher als erwartet erreicht werden und ostdeutschen Unternehmen stünden dann gänzlich neue Marktchancen offen.⁷³

Die »Überkapazitätskrise«, von der im Umfeld der Branche im Jahr 2009 gesprochen wurde, galt schon Ende 2010 als teilweise überstanden. Modulpreise stiegen nach sechs Quartalen des Preisverfalls wieder leicht an und die Krisenmeldungen gingen zurück. »Die gesamte Branche«, berichtete die Bank Sarasin in ihrer jährlichen Branchenstudie erleichtert, nachdem ihre Berichte über die zwei vorangegangenen Jahre noch weitgehend aus Beschreibungen von Produktionsüberhängen und Nachfrageeinbrüchen bestanden, »entwickelt sich je länger, je mehr in Richtung einer reifen Industrie mit einer kompetitiven Massenproduktion.«⁷⁴

Vor dem Hintergrund, dass ihr Einsatz in modernen Energieversorgungssystemen noch Ende der 1990er-Jahre nach vierzigjähriger Entwicklungsarbeit regelmäßig als ökologisch-wissenschaftliches Hirngespinnst abgetan wurde, ist die Entwicklung der Photovoltaik über die 2000er-Jahre eine bemerkenswerte Geschichte soziotechnischer Durchsetzung. Dass es nur zehn Jahre später so weit kommen konnte, dass Staaten großflächige Handelskonflikte für die Photovoltaik riskieren, hatte gegen Ende der 1990er-Jahre wohl niemand ernsthaft für möglich gehalten. Der Technik und ihren frühen Unterstützern war über ein Jahrzehnt gelungen, was in den 1980er-Jahren schlicht abwegig erscheinen musste – gegen Ende des letzten Jahrzehnts äußerten sich internationale konservative und neoliberale Politiker, Energieversorgungsunternehmen und Industrieverbände in einem Ton zu der Technik, der zuvor vornehmlich in den Schriften Shumans und Lovins', in den Reden Carters und in den Wahlprogrammen von grünen Parteien zu finden war. Ansatzweise verwirklichte sich im Bereich der Photovoltaik im Besonderen und der neuen Umwelttechnologien im Allgemei-

72 Arvid Kaiser, 2009: Solarindustrie. Nur die Starken überleben. In: *Manager Magazin Online*, 20. Juli.

73 Joachim Ragnitz et al., 2009: *Zukunftsfelder in Ostdeutschland. Cleantech – Markt mit Perspektiven*. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Berlin: Institut für Wirtschaftsforschung, 79.

74 Matthias Fawer und Balazs Magyar, 2008: *Solar Energy – Stormy Weather Will Give Way to Sunnier Periods*. Basel: Bank Sarasin; Matthias Fawer und Balazs Magyar, 2009: *Solarwirtschaft – Grüne Erholung in Sicht*. Basel: Bank Sarasin; Matthias Fawer und Balazs Magyar, 2010: *Solarwirtschaft – Unterwegs in neue Dimensionen*. Basel: Bank Sarasin, 5.

nen die alte Vision, dass kapitalistische Gesellschaften nicht bloß zur kollektiven Selbstbeherrschung fähig seien, ihre natürlichen Grundlagen zu erhalten, sondern auch, dass sich der Widerspruch zwischen wirtschaftlicher Dynamik und ökologischer Vernunft technologisch auflösen lasse. Die neuen Energietechnologien sollten je nach Episode Wachstums- und Investitionsschwächen, Beschäftigungsmängeln, Zinstiefs, Leistungsbilanzdefiziten und regionalen industriellen Strukturproblemen entgegenwirken – während sie die Weltgesellschaft quasi umsonst vor dem anthropogenen Klimawandel, den Gefahren der Kernkraft und der Abhängigkeit von fossilen Rohstoffimporten schützten. Mehr noch, *nach* der Durchsetzung umfangreicher Förderprogramme verbreiteten sich rein materielle Interessen an der Entwicklung und Förderung der Technologie. Sie entkoppelte sich vom Geist ihrer Initiierung.

Der Zweck der vorangegangenen Darstellung war nicht, Erklärungen des Aufstiegs der Industrie seit den frühen 1990er-Jahren mit an Macht gewinnenden *advocacy coalitions* oder technischen Lernprozessen eine weitere monokausale Erklärung entgegenzustellen. Vielmehr ging es um den Nachweis, dass der kollektive Zusammenhalt der Unterstützerkoalitionen wie der jeweiligen Branchen – trotz weitgehend gemeinsamer Interessen am Aufbau der Industrie – »bewegliche Ziele« waren, und wie die Entwicklung seit den späten 1990er-Jahren genau die Strukturen, Erwartungen und Dynamiken wiederbelebten, die die frühen amerikanischen Programme vergeblich zu institutionalisieren versuchten. Die Menge an gesellschaftlichen Gruppen, die sich in der Folge von der Zukunftshoffnung einer neuen Leitbranche des 21. Jahrhunderts anstecken ließ, entwickelte sich im Wechselspiel mit industriellen Strukturen, die in außergewöhnlichem Maß zur inkrementellen und kontinuierlichen Entwicklung der Technik beitrugen und damit die alten Hoffnungen von Cherry Hill in die Tat umsetzten.

Kapitel 7

Kollektivversagen nach der politischen Durchsetzung

So beeindruckend die rasche Genese der breiten Koalitionen um enorme staatliche Förderleistungen für die Industrie seit Mitte der 1990er-Jahre ist, so beeindruckend ist die Geschwindigkeit, mit der sie sich seit dem Jahr 2008 zersetzte. Während die Industrie in eine massive Überkapazitätskrise geriet und das Fördersystem zunehmend seine politische Legitimität verspielte, entwickelten sich Interessen um die Industrie so weit auseinander, dass es in einem Maß unbeweglich wurde, das die Krise der Branche wie des Fördersystems verstetigte und verschärfte. Auf industrieller Ebene führte das in den 2000er-Jahren international viel beachtete Experiment der deutschen politischen Ökonomie, eine grüne industrielle Revolution mit der Photovoltaik anzustoßen, in ein ausartendes Investitionsrennen und in entsprechende Überhänge bei Produktionskapazitäten. Eigentümlicherweise war es die vormalig enge Kooperation und damit die auf Dauer gestellte Fragmentierung während des Aufstiegs der Branche, die die in Deutschland ansässige Fertigungsindustrie vergleichbar verletzlich für ruinöse Konkurrenz werden ließ. Nicht nur waren zentrale industrielle Fertigkeiten nicht hinreichend bei ihr verortet, die gesamte Wertschöpfungskette war derart zersplittert, dass mehrere Einfallstore für bloße Preiskonkurrenz entstanden. Auf der politischen Ebene gerieten die Förderprogramme ab 2009 zunehmend außer Kontrolle und verursachten vermehrt politischen Widerstand. Die Branche brachte es fertig, sich – in einem immer noch überdurchschnittlich und in völlig unerwartetem Ausmaß wachsenden Markt – in den vermutlich schlechtesten aller möglichen Pfade zu manövrieren. Während die Fertigungsindustrie zusehends verfiel, schwand die politische Unterstützung für die Förderung der Technologie und für die Industrie. Die Reform des Fördersystems in Deutschland scheiterte in einem *gridlock* zwischen politisch-ökonomischen Interessen – zum individuellen wie kollektiven Nachteil berührter Gruppen. Und während Rationalisierung in der Fertigung nur marginal und völlig unkoordiniert stattfand, verwickelte sich eine Reihe von Staaten in neue Handelskonflikte um die »Zukunftsindustrie« in der Krise.

Wie im Lauf des Jahres 2011 immer deutlicher wurde, stellte die Erholung der Industrie im Jahr 2010 nur eine kurze Auszeit auf dem Weg in eine wesent-

lich schwerere Strukturkrise dar, die die globale Industrie über die nächsten vier Jahre prägen sollte. In der deutschen Industrie verdichteten sich die Krise der globalen Industrie, zunehmende politische Probleme in der Regelung des Fördersystems und damit zusammengehende Regelungsprobleme des Sektors zu einer eigentümlichen Mehrfachkrise der Branche. Ich gebe hier zuerst einen Überblick zur Entwicklung der Industrie. Teils aufgrund exogener Bedingungen und teils aufgrund industriespezifischer Entwicklungen brach die deutsche Industrie in einem noch kurz zuvor nie für möglich gehaltenen Ausmaß zusammen. Zweitens zeige ich, wie im Konzert mit den Problemen der Industrie auch das deutsche Fördersystem in eine tiefe Krise geriet, an politischer Legitimität verlor, sich immer mehr von seinen ursprünglichen Zielen entfernte und finanziell aus dem Ruder lief. Zuletzt führe ich vor, wie der Sektor im Wechselspiel mit diesen Entwicklungen in einem Maß in internen Konflikten unbeweglich wurde, das die Krise der Industrie auf Dauer stellte, die Probleme des Fördersystems vertiefte und in schweren Handelskonflikten endete.

7.1 Globale Kapazitätsrennen und Industriereservefall

Lässt man immer noch verbreitete Anschuldigungen außen vor, die globale Photovoltaikindustrie sei durch energiepolitisch motivierte Förderkürzungen in Deutschland in ihre Krise geraten, besteht in der Deutung ihrer Entwicklung wenig Zweifel daran, dass Firmen kollektiv zu viele Fertigungskapazitäten errichteten – sich in ein *investment race* verstrickten, wie es in neuen und schnell wachsenden Industrien nicht selten ist (Spence 1979; Porter/Spence 1982: 286). Die Industrie war vom Jahr 2009 bis in die Gegenwart im Aggregat keinen unerwarteten negativen Nachfrageschocks ausgesetzt, weder von politischer noch von wirtschaftlicher Seite, womit auch populären Erklärungen der Krise der Branche mit politischen Fehlanreizen eine wesentliche Komponente für ihre Passung fehlt. Im Gegenteil, seit 2008 haben installierte Mengen jährliche Nachfrageprognosen – in Deutschland und weltweit – durchweg und in Teilen massiv übertraffen. Statt einer Mitte des Jahres vorhergesagten oberen Grenze der Nachfrage von 6,8 GWp wurden 2009 beinahe 7,4 GWp installiert, 3,8 GWp davon allein in Deutschland.¹ Statt einer 2010 erwarteten oberen Nachfragegrenze von 8,7 installierte die globale Industrie circa 17 GWp.² Und statt erwarteten maximal

1 European Photovoltaics Industry Association, 2009: *Global Market Outlook for Photovoltaics Until 2013*. Brüssel, 5.

2 European Photovoltaics Industry Association, 2010: *Global Market Outlook for Photovoltaics Until 2014*. Brüssel, 9.

21 wurden 2011 geschätzte 30 GWp Kapazität ans Netz gebracht.³ Trotz des überdurchschnittlich und unvorhergesehen stark wachsenden Marktes gelang es der Industrie, auf Jahre gerechnet ungefähr das Doppelte der wirtschaftlich auslastbaren Kapazitäten zu errichten.⁴ Allein in China und Taiwan waren bis Ende 2012 geschätzte Produktionskapazitäten von ungefähr 150 Prozent der weltweiten jährlichen Nachfrage errichtet worden – und das bei Preisen, bei denen von 2011 bis 2013 fast jeder Fertiger Verluste anmelden musste (siehe Abbildungen 7-1 und 7-2).

Keine andere Fertigungsindustrie wurde von der sich seit Anfang 2011 verfestigenden Depression derart hart getroffen wie die deutsche. Ende 2012 waren vom deutschen Fertigungsstandort nach Schätzungen noch 1,5 GWp laufende jährliche Fertigungskapazitäten für kristalline Solarzellen übrig geblieben, in etwa so viel wie die Produktionsmenge eines größeren chinesischen Fertigers und weniger als im Jahr 2009 in Deutschland produziert wurde.⁵ Insolvenzmeldungen, Werksschließungen, Geschäftsaufgaben, Restrukturierungen und ausländische Übernahmen konzentrierten sich insbesondere zu Beginn des Jahres 2012 (siehe Tabelle 7-1). »Beinahe im Wochenrhythmus stirbt derzeit ein Stück grüne Hoffnung«, berichtete die Süddeutsche Zeitung in Reaktion auf die Insolvenzmeldung des 2008 noch als Weltmarktführer gefeierten Zellfertigers Q-Cells aus Thalheim im April des Jahres.⁶

Ein Großteil der in Deutschland – wie in den USA – gescheiterten Fertigungen bestand aus seit 2005 gegründeten oder ausgebauten Fabriken für neuere Technologien und unkonventionellere Fertigungskonzepte. Insbesondere kleinere Fabriken zur Umsetzung diverser Forschungsentwicklungen im Bereich von Dünnschichttechnologien, unter Bedingungen der mehrjährigen Siliziumengpässe und der mit fallenden Systempreisen und zunehmender Förderung in

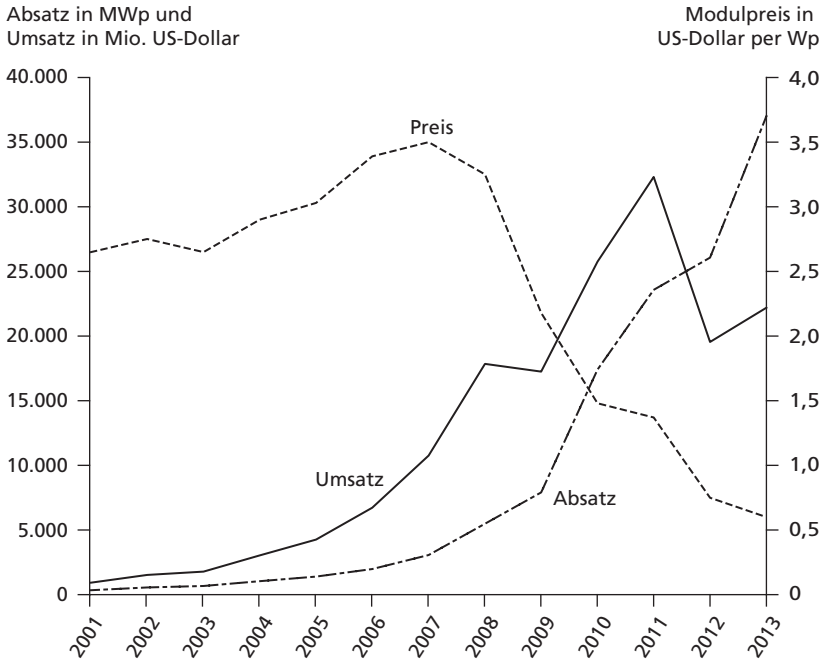
3 European Photovoltaics Industry Association, 2011: *Global Market Outlook for Photovoltaics Until 2015*. Brüssel, 35.

4 Die 100 Prozent Kapazitätsüberhang haben sich im globalen Diskurs zur Entwicklung Industrie festgesetzt. Insgesamt muss festgehalten werden, dass keine öffentlichen verlässlichen Daten über tatsächlich nutzbare Kapazitäten, tatsächliche Produktionsmengen und nicht nachhaltige Überhänge existieren. Darauf angesprochen, wie es zu den Überkapazitäten kommen konnte, bemerkte Eicke Weber in einem Interview richtig, es gebe »ja keine internationale Meldestelle für neue Solarfabriken«. Siehe: Beim Stompreis wird viel gelogen. Interview mit Eicke Weber. In: *WirtschaftsWoche*, 26. Mai 2012, 100–103, hier: 102. Daten zur Kapazitätsauslastung der Industrie in den Boomjahren der Zell- und Modulengpässe 2006 und 2007, die zumeist auf Geschäftsberichten der jeweiligen Fertiger basieren, schwanken zwischen 50 und 70 Prozent – eine Überkapazitätskrise folgte daraus jedoch nicht. Siehe zu den älteren Schätzungen: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 2008: *Antwort auf den Antrag: Situation der Photovoltaikindustrie*. 14/2766. Stuttgart: Landtag Baden-Württemberg, 3–4.

5 Aus der Traum. In: *Photon* 1, 2013, 16–24, hier: 20.

6 Markus Balsler, 2012: Wie Ikarus. In: *Süddeutsche Zeitung*, 4. April, 2.

Abbildung 7-1 Absatz, Umsatz und mittlerer jährlicher Preis für Photovoltaikmodule, 2001–2013

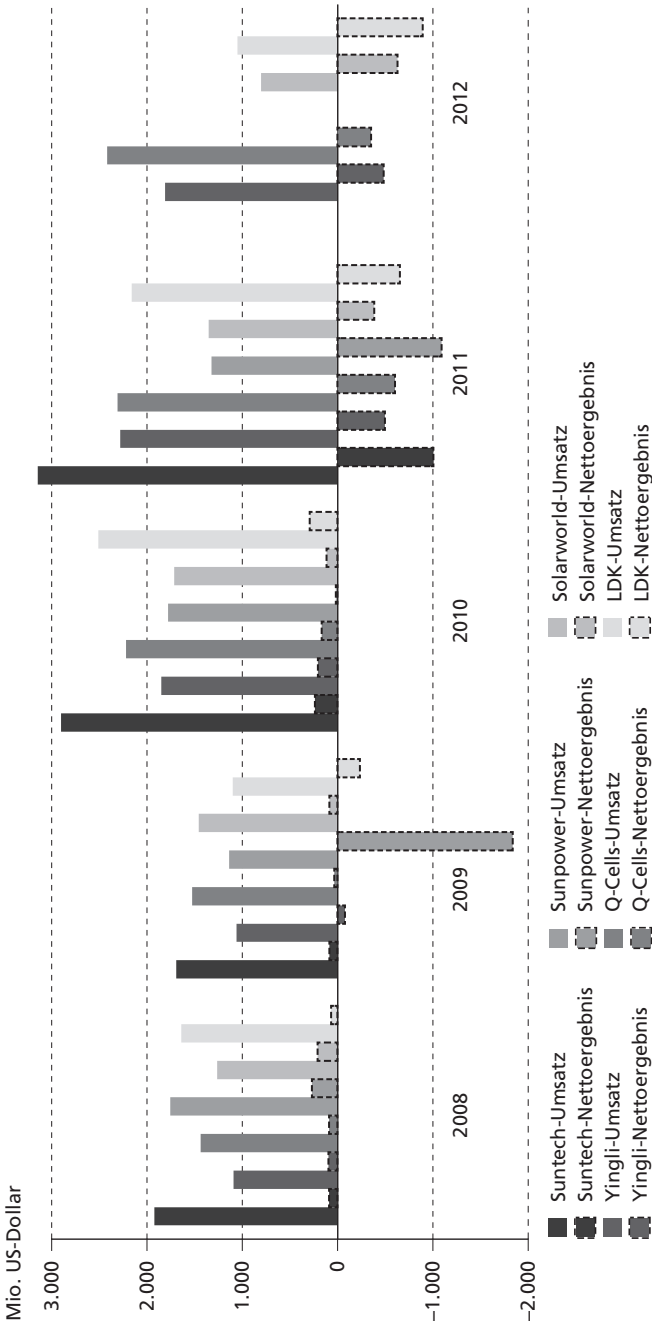


Umsatz aus Multiplikation von Preis und Menge.

Quelle: SPV Market Research, 2013: *US Market Development. IEA PVPS Task 1. September 30, 2013. Presentation Slides. Paris: International Energy Agency.*

sonnenreichen Ländern wachsenden Bedeutung von großen Photovoltaikparks lange als Zukunft der Branche gehandelt, gingen in der Schwemme ostasiatischer kristalliner Massenproduktion unter. Die extreme Siliziumknappheit bis 2009 hatte eine Reihe von Fertiggern in eine teils extreme materialtechnische Diversifizierungsbewegung geführt, deren Ergebnisse bei stark sinkenden Preisen für kristalline Siliziumvorprodukte seit 2009 zunehmend entwertet wurden. Ebenso wenig gelangen während des Preisverfalls Versuche, den Markt mit Nischenprodukten zu fragmentieren. Beispiele sind etwa die auf neue solare Architekturkonzepte ausgerichtete Odersun, die eine Fertigung für Kleinserien von Modulen in kundenspezifischer Form aufgebaut hatte, oder die Solarsparte des Bauzulieferers Schüco, der unter anderem an der Integration von Dünnschichtmodulen in Fassaden arbeitete. Fabriken etablierter, großer und in der Herstellung kristalliner Technik erfahrener Konzerne gingen ebenso im Preiskampf

Abbildung 7-2 Umsatz- und Ergebnismeldungen ausgewählter Zellfertiger, 2008–2012



Quelle: Geschäftsberichte und Pressemitteilungen. Rundungsfehler durch Währungsumrechnungen enthalten. Währungsumrechnung mit mittleren jährlichen Wechselkursen der jeweiligen Veröffentlichungsjahre.

Tabelle 7-1 Firmenscheitern in der deutschen Photovoltaikfertigung, 2010–2013

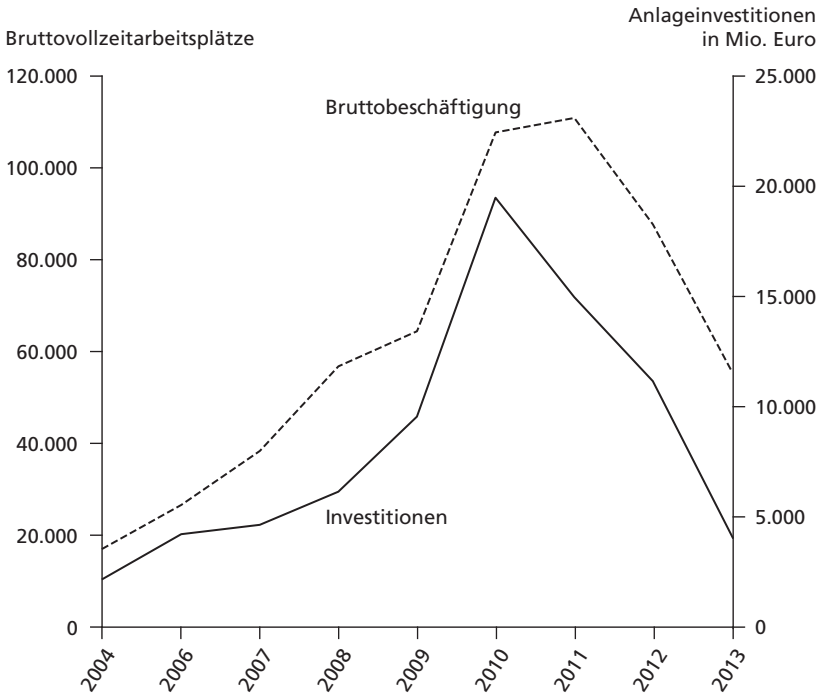
2010	2012	
Signet Solar (I)	Aleo Solar (R)	Solicio (I)
Sunfilm (I)	Bosch Thin Film (S)	Soltecture (I)
	Bosch CIS (S)	Sovello (I)
2011	First Solar (S)	Schueco TF (S)
Aurubis (S)	Malibu (S)	Sunways (T)
BP Solar (S)	Odersun (I)	
Photowatt (I)	Q-Cells (I)	2013
PV Crystalox (R)	Scheuten Solar (I)	Avancis (S)
Solar Millennium (I)	Schott Solar (S)	Bosch Solar (S)
Solon (I)	Schott Solar Wafer (S)	Centrosolar (I)
	Schueco Int. (E)	Conergy (I)
	SolarWorld (R)	Solland Solar Cells (I)
	Solibro (T)	Würth Solar (S)

Quellen: Verschiedene Veröffentlichungen. I = Insolvenz; S = Schließung oder Produktionsstopp; R = größeres Restrukturierungsprogramm; T = Übernahme.

unter. Mit der vollständigen Aufgabe der Photovoltaiksparte des Glaskonzerns Schott Mitte 2012 riss die fünfzigjährige Geschichte der Photovoltaikentwicklung bei AEG/Telefunken, der DASA, Mobil Solar und Nukem. Die Photovoltaikpatente Schotts wurden schließlich vom Fraunhofer ISE übernommen. Mit den Insolvenzen von Q-Cells und Sovello Anfang 2012 fiel das Zentrum des seit 2008 als Exzellenzcluster geförderten mitteldeutschen Solar Valley weitgehend weg. Mit der Ankündigung Boschs, das zwischen 2008 und 2013 3,7 Milliarden Euro an Verlusten auf seine Aktivitäten in der Photovoltaik anmelden musste und die übernommene Zellfertigung Ersols in Arnstadt mit rund 500 Millionen Euro an Investitionen ausgebaut hatte, verlor Anfang 2013 auch Thüringen seine wesentliche Hoffnung, ein industrielles Zentrum für die Photovoltaik zu werden (siehe zur kurzen Geschichte von Boschs Expansion in der Photovoltaik: Bähr/Erker 2013: 531–535). In weniger als zwei Jahren halbierte sich die Beschäftigung im deutschen Photovoltaiksektor bis in das Jahr 2013 und fiel auf das Niveau des Jahres 2008 zurück (siehe Abbildung 7-3).

Die Bedingungen, die die Industrie in diese Lage führten, sind teilweise schlicht historisch-individueller und zur Entwicklung der Industrie selbst exogener Natur – eine Art Unfall – und viele von ihnen gehen auf historische Besonderheiten der Situation der chinesischen politischen Ökonomie zurück. Die chinesische politische Ökonomie besteht aus einer Vielzahl regionaler konkurrierender entwicklungsstaatlicher Gefüge mit überdurchschnittlichen ökonomischen Fähigkeiten, Kapital zu aggregieren, und überdurchschnittlichen politischen Fähigkeiten, ortsansässige Fertigungen hochzuskalieren und zu unterstützen (Haley/

Abbildung 7-3 Beschäftigungsentwicklung in der deutschen Photovoltaikbranche, 2004–2013



Quelle: Zusammengestellt aus den jährlichen Schätzungen von DLR, ZSW, DIW, GWS und (später) Prognos für das Umweltministerium (2006–2013).

Haley 2013: 180; ten Brink 2010: 274–275). Die exorbitante Menge in kurzer Zeit errichteter Produktionskapazitäten großer Fertiger wie die zahlreicher kleiner Fabriken ging zu einem gewichtigen Teil auf konkurrierende und unkoordinierte Versuche von Banken, Investoren, Unternehmern und Eliten zurück, in der neuen »Zukunftsindustrie« Fuß zu fassen. Darüber hinaus setzte die Finanzkrise 2008 das exportbasierte Wachstumsmodell Chinas unter enormen Druck. Strukturell, das zeigen neuere Studien, ersetzte die chinesische politische Ökonomie die 2008 einbrechenden Möglichkeiten westlicher Gesellschaften, sich für den Konsum chinesischer Waren zu verschulden, mit einer massiven – und zum Rückgang der Ausfuhrüberschüsse weitgehend proportionalen – Ausweitung inländischer Kreditvergabe, die in der auch in China verhältnismäßig kapitalintensiven Produktion von Solarzellen mit der regional konkurrierenden Erweiterung

der Produktionskapazitäten zusammentraf.⁷ »Money is free right now«, bemerkten die Geschäftsführer großer Firmen aus der Photovoltaikbranche auf einem Symposium im Sommer 2013, während ihre Industrie international noch immer weitgehend Verluste anmeldete und unter erdrückenden Überkapazitäten litt.⁸ Einen koordinierten Kreditentzug für die globale Branche hat es bis in die Gegenwart nicht gegeben – er fand stattdessen vor allem in der deutschen Branche statt. Weiterhin schien die chinesische politische Ökonomie auch nach dreißigjähriger Erfahrung mit der *freien Wirtschaft* nicht gelernt zu haben, geordnete Rationalisierungsprozesse in Strukturkrisen von Fertigungsindustrien zu organisieren. Alle großen chinesischen Fertiger *erweiterten* ihre (gemeldeten) Produktionskapazitäten und Ausfuhrmengen in Reaktion auf Preisverfall und Verluste seit 2011, ein Verhalten, das als *inverse Reaktion* vor allem aus der Landwirtschaft bekannt ist. Das hatte einerseits damit zu tun, dass in der Industrie Skaleneffekte zu *dem* Mittel der Kostensenkung geworden waren und Regierungen, Finanziers sowie Unternehmer viel mehr um ihre Position im zukünftigen *Leitmarkt* als um ein unmittelbar einträgliches Geschäft konkurrierten. Andererseits ging dieses Verhalten darauf zurück, dass der chinesische Staat in der zweiten Hälfte der 2000er-Jahre offensichtlich weder über ausreichend effektive Mittel verfügte, Einschnitte in die industriepolitischen Ambitionen regionaler Industriekomplexe durchzusetzen, noch über ausreichend ausgebaute Kompensationssysteme, die Produktionsbegrenzungen, Rationalisierungs- oder Konsolidierungsprozesse hätten erleichtern können (wie etwa einen ausgebauten Wohlfahrtsstaat, Frühverrentungs-, Kurzarbeits-, Kartellierungs- oder koordinierte Stilllegungsprogramme).⁹

7 Siehe zum Zusammenhang zwischen der Wirtschafts- und Finanzkrise seit 2008 und der Ausweitung inländischer Kreditvergabe in China den Eintrag von Atif Mian und Amir Sufi auf dem Promotionblog zu ihrem 2014 erschienenen Buch zur Verschuldung: *houseofdebt.org, China and the Dangers of Debt*, 13. März 2014.

8 Jeffrey Ball und Jonas Meckling, 2013: *Avoiding Sunstroke. Assessing National Competitiveness in the Global Solar Race. Results from a Scenario-Planning Workshop at Stanford University*. Stanford, CA: Steyer-Taylor Center for Energy Policy und Finance, 5.

9 Den Punkt übernehme ich in Teilen aus Laura Gruff' Forschung zur chinesischen Photovoltaikindustrie an der Universität zu Köln. Die politisch-ökonomische Flexibilität durch *marktbegrenzende* Institutionen war ein wichtiges Thema der vergleichenden politökonomischen Forschung der 1980er-Jahre (unter vielen: Dore 1986; Katzenstein 1985). Gute Beispiele dafür, dass im Fall der chinesischen politischen Ökonomie zwar außergewöhnlich effektive Fähigkeiten existieren, Fabriken hochzuskalieren, aber ein eklatanter Mangel an Möglichkeiten, sie bei Bedarf wieder vom Netz zu nehmen, bietet der Anfang 2014 über ein Jahr andauernde undurchsichtige Kampf um den 2011 noch größten chinesischen Fertiger Suntech zwischen Regionaleliten in Wuxi, der Zentralregierung, überregionalen Förderbanken, einem Konsortium aus acht chinesischen Gläubigern, die den Fertiger in eine Insolvenz zu treiben versuchten, dem Gründer und 2012 abgesetzten Geschäftsführer Shi und internationalen Investoren. Siehe: Chinese Solar Panel Giant Is Tainted by Bankruptcy. In: *New York Times*, 21. März 2013, B1; Greentech Media, 2013: *GTM Research on Suntech's Bankruptcy: An Optical Illusion*. Online Report 20/03/2013. Boston, MA.

Ebenso wenig gelang es, die zahlreichen kleineren Fabriken, die einen Grunddruck auf die globalen Preise für Solarmodule ausübten, in ausreichendem Maße in Konsolidierungsprozesse zu zwingen.¹⁰ Diese industriepolitische *Governance*-Schwäche ist eine historische Eigenart der chinesischen politischen Ökonomie im beginnenden 21. Jahrhundert (das gleichzeitige Korrelat in Europa stellen die Probleme in der Konsolidierung des Finanzsektors dar), die einerseits nicht auf die Photovoltaikindustrie beschränkt ist und die andererseits Gegenstand enorm kostenträchtiger politisch-ökonomischer Lernprozesse bleibt.

Zusätzlich zu ihrem Einfluss auf die chinesische Situation setzte die Finanzkrise 2008 europäische Fördersysteme im Allgemeinen und die deutsche Förderung im Besonderen unter erheblichen Druck. Neben fiskalischen Problemen für Länder ohne reines Umlagesystem verstärkte die Niedrigzinspolitik westlicher Zentralbanken die Tendenz, dass Ersparnisse in staatlich gesichert vergütete Anlagen flossen.¹¹ Staaten mit Umlagesystemen steuerten den Ausbau zumeist über gesetzlich festgelegte Preise für eingespeisten Strom und seltener über Mengenvorgaben oder Förderdeckelungen, die sie, um eine gegebene Abkühlung im Zubau zu erreichen, nach 2008 stärker als zuvor senken mussten. Mengenbegrenzungen und Förderdeckelungen wurden zumeist von den neuen Industrien selbst entschieden bekämpft, weil sie die Unsicherheit ihrer Kunden fürchteten, mit ihrem jeweiligen Projekt nicht in die jeweils festgelegten Zielvorgaben zu fallen. In Deutschland wurde zwischen 2009 und 2012 ein hektischer Kürzungsversuch nach dem nächsten angestoßen, um den Photovoltaikausbau zurück in den ursprünglich anvisierten Korridor von jeweils etwa der Hälfte der tatsächlich installierten Leistung zurückzudrängen. Die wiederholten Förderkürzungen schlugen sich auf die Preissensitivität von Endkunden und Projektierern durch und erzeugten damit weiteren Preisdruck auf Fertiger.

10 Im Herbst 2013 hat die chinesische Zentralregierung Richtlinien für die Unterstützung von Photovoltaikfabriken herausgegeben und den Zubau neuer Kapazitäten im Effekt formal verboten. Ob sie die Machtmittel besitzt, diese Pläne auch zu implementieren, während in China gleichzeitig die Förderung von Installationen ausgeweitet wird, bleibt eine offene Frage. Eine erste, vom Ministry of Industry and Information Technology (MIIT) frei veröffentlichte Liste förderungswürdiger Unternehmen umfasste schon 109 Firmen; ihr wurden einige Monate später weitere 52 Firmen hinzugefügt. Siehe John Parnell, 2014: China Cuts the Cord on Struggling Solar Manufacturers. In: *pvtech Online*, 2. Januar; Ben Willis, 2014: China Expands List of Government-approved PV Firms. In: *pvtech Online*, 18. Juli.

11 Siehe zum Zusammenhang zwischen Zinsverfall und Investitionen in die Photovoltaik: Knut Kübler, 2013: EEG-Förderung der Photovoltaik: Über den Anfang nach dem Ende. In: *Energiwirtschaftliche Tagesfragen* 63(9), 27–31, hier: 30.

7.2 Sektorale Fragmentierung und die Krise des deutschen Förderregimes

Während die Industrie in Preiskämpfen versank, geriet das deutsche Fördersystem zunehmend in die Kritik. Ab dem Jahr 2010 fiel es der Branche sichtlich schwer, selbst wohlgesonnene politische Kräfte gegen weitere Einschnitte zu mobilisieren. Und noch konsequenzenreicher gab sie den traditionellen Gegnern der deutschen ökologischen Energiepolitik vorzügliches Material an die Hand, die deutsche Energiepolitik – sowie zunehmend staatliche Eingriffe in die Wirtschaft als solche – zu diskreditieren.¹² Die Leitstudie des Umweltministeriums 2008, die vom Preisverfall der Folgejahre noch nichts wissen konnte, ging noch von einem Zubau von 7 GWp zwischen 2007 und 2010 und einem verminderten Zubau in den Folgejahren von 5 bis 6 GWp alle 5 Jahre aus.¹³ Allein diese Zahlen waren schon ein Zugeständnis an die Solarindustrie, nachdem die Leitstudien bis 2007 mit etwa 500 MWp Zubau pro Jahr gerechnet hatten. An diesen Zielvorstellungen sollte sich im Ganzen bis in das Jahr 2012 nicht viel ändern.¹⁴ Dagegen wurden allein im Jahr 2009 im Gefolge des Zusammenbruchs des spanischen Fördersystems und einer unter wirtschaftlichem Druck stehenden Branche 3,8 GWp in Deutschland installiert, 2010 schon 7,4, 2011 7,48 und 2012 nochmals 7,6 GWp. Bis Anfang 2012 hatten sich die ausstehenden Zahlungsverpflichtungen aus dem Photovoltaikzubau nach optimistischen

12 Die Monopolkommission etwa, die sich seit Initiierung des EEG häufiger gegen die »neue ökologische Planwirtschaft« wandte, ließ sich in ihrem Sondergutachten zur Energiewende die Möglichkeit nicht entgehen, mit einer detaillierten Fallstudie der Photovoltaikindustrie und am Beispiel der mit ihrem Ausbau angehäuften Kosten vorzuführen, welches Unheil der Staat anrichten kann, wenn er der Wirtschaft politische Ziele einzupflanzen versucht. Siehe Monopolkommission, 2013: *Energie 2013: Wettbewerb in Zeiten der Energiewende*. Sondergutachten 65. Bonn, 28–37, 133, 137–138, 157.

13 Joachim Nitsch, 2008: *Leitstudie 2008. Weiterentwicklung der Ausbaustrategie Erneuerbare Energien vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas*. Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. DLR. Stuttgart, 82.

14 Siehe Joachim Nitsch und Bernd Wenzel, 2009: *Leitszenario 2009. Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland unter Berücksichtigung der europäischen und globalen Entwicklung*. Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. DLR, IfnE. Stuttgart, Teltow, 50; Joachim Nitsch et al., 2010: *Leitstudie 2010. Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global*. Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. DLR, Fraunhofer IWES, IfnE. Stuttgart, 186; Joachim Nitsch et al., 2012: *Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global*. Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. DLR, Fraunhofer IWES, IfnE. Stuttgart, 19.

Schätzungen auf nominal 109 Milliarden Euro bis in das Jahr 2031 summiert, 46 Milliarden davon allein aus dem Zubau der Jahre 2010 und 2011.¹⁵ Im Jahr 2012 sollte der Zubau ein letztes Mal über 7 GWp neuer Anlagenleistung liegen, bevor er nach der vierten gravierenden Förderkürzung seit dem Jahr 2009 auf 3,3 GWp im Jahr 2013 eingedämmt wurde. Im ausufernden Photovoltaikzubaute zeigte sich – wie ich im nächsten Abschnitt ausführe – nur eine aus einer Reihe von Entwicklungen, mit denen zunehmend schwierige politische Interessenabwägungen in der ökologischen Transformation des deutschen Energieversorgungssystems und in der Regelung der Branche mithilfe des EEG-Kontos vertagt wurden.

Weitere derartige Entwicklungen waren die Änderungen im Ausgleichsmechanismus seit 2009 und das System aus selektiven Entlastungen, das seit 2003 ausgebaut wurde. Mit der 2010 in Kraft getretenen Verordnung zur Weiterentwicklung des bundesweiten Ausgleichsmechanismus wurden die seit dem Jahr 2000 bestehenden Regelungen zum physischen und wirtschaftlichen Ausgleich des nach dem EEG eingespeisten Stroms zwischen Übertragungsnetzbetreibern und Energieversorgungsunternehmen mit der Vorgabe ersetzt, dass Einspeisungen direkt am Spotmarkt einer Strombörse anzubieten seien. Damit wurde einerseits die ökonomische Verantwortung für die Bandveredelung des wetterabhängig eingespeisten Stroms von den Versorgungsunternehmen auf Marktsignale am Spotmarkt umgewälzt. Andererseits wurden die Kosten der Bereitstellung jener Anreize fortan in größtmöglichem Umfang über die EEG-Umlage an nicht privilegierte Stromverbraucher statt verdeckt über Versorgerpreise oder Netzgebühren weitergegeben. Mit wachsenden wetterabhängig gestauchten Angeboten am Spotmarkt der Strombörsen – über das genaue Ausmaß dieses Effekts existieren konkurrierende Schätzungen – entstand plangemäß zusätzlicher Druck auf die EEG-Umlage, da sie, verkürzt gesagt, aus der Differenz zwischen dem Einkommen, die der eingespeiste Strom am Markt einbrachte, und den Sätzen, die seinem jeweiligen Einspeiser gesetzlich garantiert wurden, hervorging.¹⁶ Es gehört zu den überraschenden Vorgängen der deutschen ökologischen Energiepolitik des letzten Jahrzehnts, dass die gesetzliche Grundlage dieser Regelung 2008 ohne Widerspruch und teilweise mit Unterstützung ökologischer Interessen verabschiedet wurde. Mit ihr schlugen sich zum einen seit 2008 im Nachhall der Finanzkrise sinkende Börsenstrompreise vollumfänglich auf die

15 Ebd.: 230.

16 Kurze Übersichten der Geschichte des EEG-Ausgleichsmechanismus geben: Christian Buchmüller und Jörn Schnutenhaus, 2009: Die Weiterentwicklung des EEG-Ausgleichsmechanismus. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 59(11), 75–79; Adrian Schwarz, 2014: *Die Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland. Hintergründe und Entwicklungen*. Infobrief. Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestags. Berlin.

EEG-Umlage durch und senkten den gebuchten Wert des nach dem EEG eingespeisten Stroms und damit die Einnahmeseite des EEG-Kontos merklich (siehe zur Entwicklung der Umlagekosten im Vergleich mit eingespeisten Mengen und Auszahlungen Abbildung 7-4). Zum anderen trafen sie mit der politischen Tendenz zusammen, Verbraucher verstärkt von der Zahlung der Umlage zu befreien, sodass die Kosten der Veredelung des EEG-Stroms auch in jenen Pool aus Zahlungsverpflichtungen hineinflossen, der bei einer zunehmend dezimierten diffusen Gruppe jener verblieb, die sich politisch nicht mit Privilegierungswünschen durchsetzen konnten.¹⁷

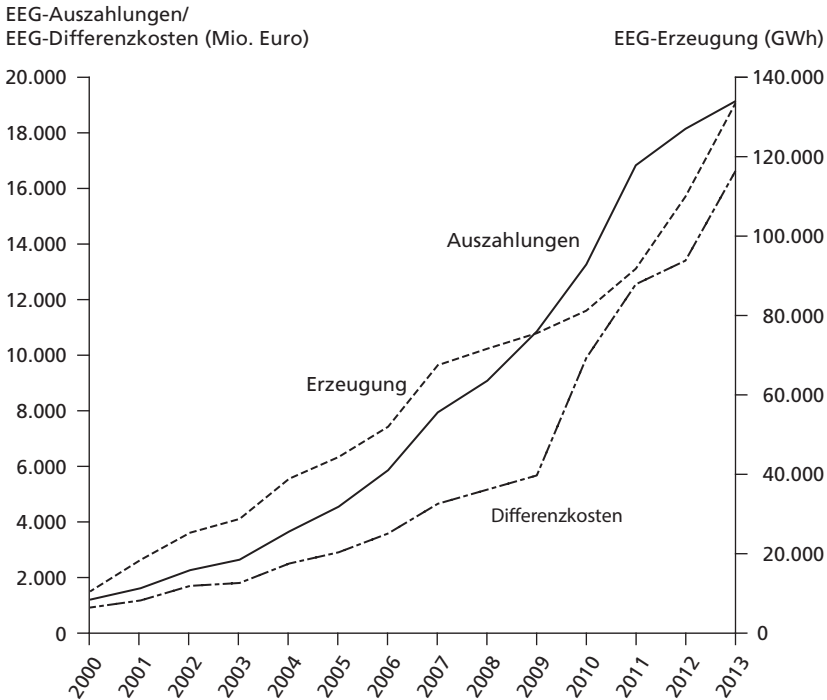
Das seit dem Jahr 2003 im Erneuerbare-Energien-Gesetz angelegte System aus Begünstigungen stromintensiver Unternehmen im internationalen Wettbewerb wurde über die Jahre ständig erweitert. Im Jahr 2004 schloss die Politik den Schienenverkehr in die Entlastungsregelungen ein und ließ eine Klausel entfallen, nach der befreite Unternehmen in ihrer internationalen Wettbewerbsfähigkeit beeinträchtigt sein mussten, um begünstigt zu werden. Im Jahr 2006 erweiterte sie die Begünstigungen ein weiteres Mal und hob die Deckelung der Gesamtbefreiungen auf (Hirschl 2008: 156–172). Mit der Novellierung 2012 wurde der Kreis privilegierter Akteure sowohl im Hinblick auf die absolute Verbrauchsmenge der jeweiligen Unternehmen als auch im Hinblick auf die Energieintensität ihres Geschäfts zusätzlich erweitert. Und dennoch hielten Drohungen des verarbeitenden Gewerbes an, die deutsche Energiepolitik führe in einen »schleichenden Prozess der Deindustrialisierung«.¹⁸ Nach neueren Schätzungen wurden im Jahr 2013 circa 96 TWh gewerblichen Stromverbrauchs von 4 Milliarden Euro an Umlagezahlungen befreit, was einer Mehrbelastung des zahlenden Verbrauchs von ungefähr 1 Cent pro verbrauchte Kilowattstunde entsprach.¹⁹ Seit der Durchsetzung des EEG hat sich die Umlage (sowie der Verbraucherstrompreis selbst) zunehmend zu einem Puffer entwickelt, mit dem die Kosten der Umgehung politischer Interessenabwägungen und ausstehender systemtechnischer Probleme auf Gruppen mit geringerem Widerstand verschoben wurden, mit entsprechenden Auswirkungen auf die Höhe der Umlage, auf

17 Vgl. die Diskussion der Regelung in Udo Leuschners *Energie-Chronik* (Eintrag 091201 u. v. a. m.). Leuschners Verdacht ist, dass die beteiligten Akteure (mit Ausnahme des VIK) nicht verstanden haben, was ihnen da vorgelegt wurde. Eine andere Deutung wäre, dass dies eine von vielen Stellen war, an der durch die ökologische Energiepolitik bedingte Verteilungskonflikte auf Kosten der Umlage vertagt wurden.

18 Unter vielen: Ulrich Grillo, 2012: *Insolvenzverfahren Voerde Aluminium GmbH*. Stellungnahme. Berlin: Wirtschaftsvereinigung Metalle.

19 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2014: *Hintergrundinformationen zur Besonderen Ausgleichsregelung*. Memorandum. Berlin, 12. Der Bruttostromverbrauch im Inland lag in Deutschland nach Daten der AG Energiebilanzen im Jahr 2013 bei circa 596 TWh.

Abbildung 7-4 Entwicklung der jährlichen Stromerzeugung, Auszahlungen und Differenzkosten nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz, 2000–2013



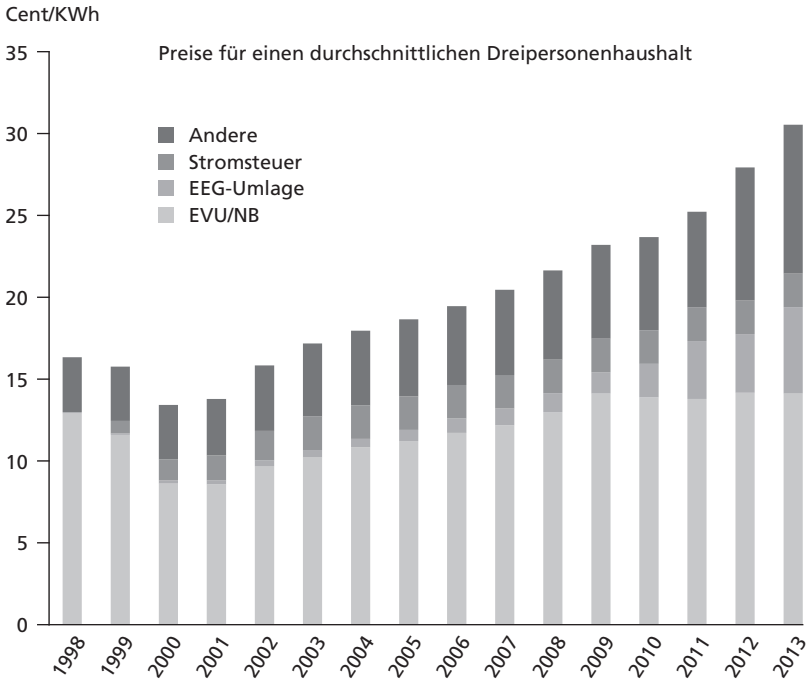
Quelle: Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, 2013: *Erneuerbare Energien und das EEG: Zahlen, Fakten, Grafiken* (2013). Berlin, 37–38.

den Strompreis selbst und, wie sich seit 2011 verstärkt zeigte, letztlich auf die politische Legitimität des Gesamtvorhabens (siehe Abbildung 7-5).²⁰

Zu einem Teil sind die Widersprüche, Dilemmata und Probleme des deutschen ökologischen Transformationsprogramms gemessen am Umfang der Vorhaben durchaus erwartbare Rückschläge im Verlauf komplexer gesellschaftlicher Wandlungsprozesse. Zu einem anderen Teil jedoch muss es überraschen, wie innerhalb von drei Jahren ein international symbolträchtiges Leuchtturmprojekt

²⁰ Weitere systemtechnische Probleme waren, dass noch immer keine Speicher- oder Koordinationstechnologien für den Abgleich wetterabhängig fluktuierender Erzeugung mit seit über einem Jahrhundert an geradlinige Erzeugung gewöhnte Verbrauchsstrukturen existierten und dass der freie Strommarkt in seiner damaligen Form augenscheinlich immer weniger dazu geeignet schien, Versorgungsunternehmen mit der Aussicht auf Profite zu motivieren, fluktuierende Einspeisungen systemisch zu veredeln.

Abbildung 7-5 Jährliche Strompreisentwicklung in Deutschland, 1998–2012

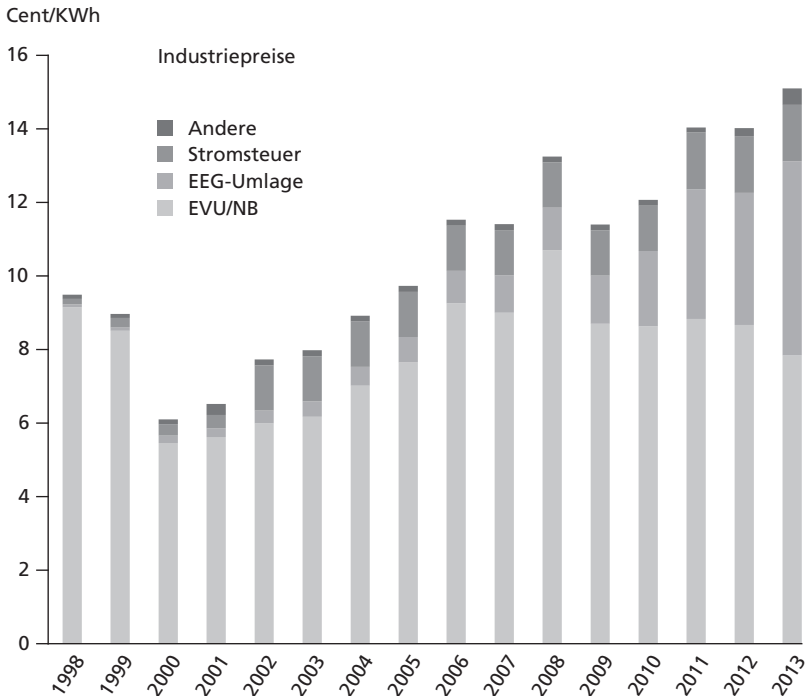


Rundungsfehler enthalten.

Quelle: Übernommen aus: Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, 2013: *Erneuerbare Energien und das EEG: Zahlen, Fakten, Grafiken* (2013). Berlin, 41–42.

zur Auflösung der über Jahrzehnte als selbstverständlich erachteten Widersprüche zwischen beschäftigungspolitischen, industriellen, ökologischen und wirtschaftlichen Zielen zu einem Komplex werden konnte, der all diesen Zielgrößen gleichzeitig entgegenzuwirken schien. Die Probleme des Fördersystems sowie die Krise der Industrie waren alles andere als naturwüchsig und nicht nur exogenen Entwicklungen geschuldet. In mehreren Hinsichten gingen die Strukturprobleme der Industrie sowie des Fördersystems seit 2011 auf Bedingungen zurück, die einige Jahre zuvor noch äußerst förderlich für das Unterstützungsregime wie für die Industrie waren, die aber in einem geänderten Kontext völlig gegenläufige, ja pathologische Wirkungen hatten. Dies gilt auf mehreren Ebenen. Dass die Photovoltaik im Zuge der Förderexpansion weitgehend heterogene Akteure und Interessen zu ihrer Unterstützung verband, führte in einer Situation, in der Industrie und Fördersystem der Anpassung bedurften, in kollektive Unbeweglich-

Abbildung 7-5, Fortsetzung



keit. Teilweise waren es in der Branchenentwicklung entstandene interne Interessenkonflikte und *Governance*-Schwächen, die die Industrie derart tief greifend in ihrer Krise verstrickten. Die vertikale Fragmentierung der Industrie ermöglichte Anfang des Jahrzehnts ein schnelles *upscaling* der Fertigung, die schnelle Diffusion von Fertigkeiten und die Durchsetzung eines völlig neuen Modells der Stromerzeugung durch sektorfremde Akteure. Seit dem Jahr 2009 erlaubte eben diese fragmentierte Struktur den Einfall schärfster Preiskonkurrenz. Sie schloss die Branche zunehmend in ihrer Fixierung auf das deutsche Fördersystem ein und blockierte schließlich alle kollektiven Restrukturierungsmöglichkeiten, als sowohl Industrie wie Fördersystem der Anpassung bedurften.

Die Interessen verschiedener Segmente der Branche entwickelten sich spätestens seit dem Jahr 2006 zusehends auseinander. Die Preise für Solarmodule sanken nach Einführung des EEG nur über die ersten vier Jahre, und zwischen 2004 und 2006 sowie in der zweiten Hälfte des Jahres 2007 stiegen sie sogar wieder. Teilweise ging dies auf steigende Siliziumpreise zurück, teilweise erzielten

fast ausnahmslos in Aktiengesellschaften umgewandelte Firmen in der Photovoltaikfertigung in Börsennachrichten viel gefeierte Renditen und schöpften in der Zeit regelmäßiger Engpässe für Module tendenziell die Renditen von Installateuren und Anlageninvestoren ab (siehe Tabelle 7-2 mit einem Rechenbeispiel).

Als 2007 erneut Diskussionen über eine Erhöhung der Degressionssätze für die Photovoltaik aufkamen, wandte sich insbesondere die Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie gegen den stillen Konsens um die Photovoltaikvergütung zwischen Umweltministerium, Wirtschaftsministerium, dem BSW und den Modulfertigern, in deren Namen Solarworld-Eigner Frank Asbeck noch Anfang 2007 abwiegelnd verkündete: »Ohne Marge fällt die Par(i)ty aus.«²¹ Hauptsächlich im Namen von Installateuren und Anlagenkäufern forderte der Präsident der DGS einerseits eine merkliche außerplanmäßige Absenkung der Vergütungssätze und andererseits eine Schwerpunktverlagerung der Förderung auf komplexere Installations- und Anlagenmodelle, wie die gebäude- und fassadenintegrierte Photovoltaik. Zwar enthielt das EEG 2004 einen »Fassadenbonus«, der führte aber bis zu seiner Streichung 2009 nur zu rund 7 MWp an Installationen. »In der Gebäudeintegration sehen wir [...] die Stärke des solaren Mittelstandes«, klagte er die zunehmende Kommodifizierung des Installationsgeschäfts an, »[wenn spezialisierte Firmen] zum Beispiel ein gedämmtes Modul zur Integration entwickelt haben, wird man das in China nicht so leicht nachmachen können.«²² Die Kritik an überzogenen Gewinnen, dem *rent-seeking* der Fertiger und einem aggressiven Verband zog sich in den Folgejahren immer wieder durch die Debatten um die Photovoltaikindustrie. Ein Vertreter des fränkischen Systemhauses Gehrlicher Solar etwa ließ sich Anfang 2008 mit den Worten zitieren: »Wenn der alte Geist noch ein bisschen mehr präsent wäre, hätten wir heute auch keine 35-Prozent-Margen gegenüber der Öffentlichkeit zu verteidigen.«²³ Ende 2007 trat Johannes Lackmann, Gründungspräsident des BEE, aus Protest gegen die Ansprüche der Mitgliedsverbände von seinem Amt zurück und beklagte öffentlich, dass »das, was von uns jetzt erwartet wird – sowohl von der Branche als auch von der Politik – [...] reiner Lobbyismus« sei und bezeichnete den Geschäftsführer des BSW als den »Super-Lobbyisten«.²⁴ Einerseits waren diese Auseinandersetzungen späte Symptome der Ablösung der ökologischen Energiepolitik vom

21 Frank Asbeck, 2007: Ohne Marge keine Par(i)ty. In: *Photon* 4, 12; siehe auch das Streitgespräch zwischen dem Q-Cells-Geschäftsführer Anton Milner und dem Greenpeace-Vertreter Sven Teske zur Preispolitik der großen Fertiger in: *Photon* 3, 2007, 24–30.

22 Zitat aus: DGS will Vergütung auf 34 Cent senken. In: *Photon* 5, 2007, 20–21; siehe auch Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, 2007: Positionspapier zur EEG Novelle. In: *Sonnenenergie* 07–08, 14–18.

23 Kommt ein Verband für den Mittelstand? In: *Photon* 1, 2008, 26.

24 Siehe: Nicht mein Job. In: *Photon* 12, 2007, 14.

Tabelle 7-2 Entwicklungstendenzen von Systempreis, Vergütungshöhe und Rentabilität kleiner Photovoltaikanlagen, 1994–2012

Jahr	Anlagenpreis (Euro/KWp)	Vergütung (ct/KWh)	Angelegter Ertrag (KWh)	Jährliche Einkünfte (Euro)	Rücklaufzeit (Jahre)
1994	10.016	8,84	900	80	126,0
2000	5.781	50,62	900	456	12,7
2001	5.513	50,62	900	456	12,1
2001	5.340	48,10	900	433	12,3
2003	4.843	45,70	900	411	11,8
2004	4.345	57,40	900	517	8,4
2005	4.437	54,53	900	491	9,0
2006	4.933	51,80	900	466	10,6
2007	4.456	49,21	900	443	10,1
2008	4.212	46,75	900	421	10,0
2009	3.022	43,01	900	387	7,8
2010	2.715	39,14	900	352	7,7
2011	2.015	28,74	900	259	7,8
2012	1.614	24,43	900	220	7,3

Quelle: Übernommen aus Knut Kübler, 2013: EEG-Förderung der Photovoltaik: Über den Anfang nach dem Ende. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 63(9), 27–31, 30. Die im und teilweise auch nach dem 100.000-Dächer-Programm bereitgestellten KfW-Kredite sind in der Berechnung der Rücklaufzeit nicht berücksichtigt, was den plötzlichen Abfall von 2003 auf 2004 ohne entsprechenden Abfall im Systempreis erklärt. Ebenfalls ausgespart ist die Aufteilung der verbleibenden Marge zwischen Installateur und Anlageeigner.

Geist und vom sozialen Milieu, aus denen sich ihre Durchsetzung gespeist hatte. Andererseits deuteten sie eine Entwicklung an, mit der die Solarwirtschaft, ihr Verband und ihre politischen Unterstützer sich zunehmend in Allmendeträgödien hinsichtlich ihrer Bestandslegitimität und in *short-termism* (Jackson/Petraki 2011) verstrickten. Zu Beginn des Jahres 2007 gaben sich Vertreter der Branche noch durchaus einsichtig, dass die Preisentwicklung sowie die Entwicklung der Gesamtkosten für die noch über Jahrzehnte nötige öffentliche Stützung der Industrie essenziell waren. »Die politische Akzeptanz wird schwinden, wenn nicht die Kosten weltweit gleichmäßiger verteilt werden«, warnte etwa der aus der DFS stammende zweite Geschäftsführer des BSW auf dem Branchensymposium in Staffelstein.²⁵ Ausbleibende Preissenkungen und Diskussionen um die Börsenerfolge der neuen Fertiger führten zu öffentlichen Anfeindungen und Kritik an der Industrie, die bis in die Gegenwart anhalten. »Wenn sich [...] die Aktienkursgewinne bei einigen Solartechnologieherstellern binnen zweier Jahre verzwanzigfacht haben, drängt sich der Verdacht auf, dass manche neue Technologien derzeit eher ›Subventionsstaubsauger‹ als ›Energiequellen‹ sind«, schimpf-

25 Die Kosten des Wachstums. In: *Photon* 4, 2007, 14–15, hier: 15.

te etwa Marie Luise Dött 2007 aus dem CDU-Wirtschaftsflügel.²⁶ Als ab 2009 zunehmend internationale Wettbewerber auftraten und der Zusammenbruch des spanischen Fördersystems und Preisverfall auf die Branche durchschlugen, wurde der zusätzliche Konkurrenzdruck in Deutschland nicht nur von Gegnern der Förderung euphorisch begrüßt. Selbst Hermann Scheer applaudierte noch im Jahr 2010, dass »PV-Unternehmen [...] ihre Vertriebs- und Marketingaktivitäten verstärken [mussten], um ihren Absatz halten zu können; die früheren Quasi-→PV-Anlagen-Zuteilungsstellen« der Unternehmen wurden zu Vertriebsabteilungen. Und zum ersten Mal ließen sich über den Preis für Module und Gesamtsysteme Rückschlüsse auf die Herstellungskosten ziehen.²⁷

Scheer machte damit auf ein grundlegendes Problem der neuen Vergütungssysteme aufmerksam. Westliche politische Systeme im Allgemeinen und die deutsche Politik im Besonderen hatten überhaupt nicht die Kompetenzen oder Durchgriffsmöglichkeiten, um plötzlich »angemessene Preise« in einem formell freien Markt festzulegen. Leah Stokes (2013: 497–498) hat die politischen Probleme, die daraus erwuchsen, die *politics of asymmetric information* genannt. Einerseits sahen sich Politiker fortwährend vor dem Problem, Vergütungshöhen dem technischen Fortschritt und der Marktlage anzupassen, ohne wirklich zu wissen, was in den Fertigungen geschah – sie mussten aus der Beobachtung von Marktprozessen schließen, inwieweit zu einem gegebenen Zeitpunkt Über- oder Unterförderung bestand. Andererseits ließ die Unsicherheit über tatsächlich angemessene Vergütungshöhen ein breites Feld für interessengeleitete Manipulation und politische Einflussnahme entstehen, in dem Koalitionen für und gegen den Ausbau einer bestimmten Energietechnologie über die Beschreibung und Interpretation von Marktprozessen stritten. Über die Kritik an der Preispolitik der Fertiger hinaus mehrten sich dementsprechend seit dem Jahr 2007 Stimmen, die warnten, die Photovoltaikförderung würde aus dem Ruder laufen, und die dem BSW vorwarfen, Prognosen und Zwischenstände des Zubaus vorsätzlich kleinzurechnen, um weitere Förderkürzungen zu vermeiden. Das RWI Essen, die offensichtlich auf die Aufdeckung eines Skandals setzende Branchenzeitschrift Photon sowie die DGS verbreiteten Mitte 2007 Schätzungen, dass bei einem unveränderten Zubauwachstum bis 2010 Zahlungsverpflichtungen von bis zu 50 Milliarden Euro angehäuft würden.²⁸ Spätestens mit der Bekanntgabe der Zubauzahlen für das Jahr 2009 begann in Deutschland eine dreijährige cha-

26 Marie-Luise Dött, 2007: Klimapolitik ohne »ökologischen Tunnelblick«. In: *Mittelstandsmagazin* 2008/1, 29–31.

27 Hermann Scheer, 2010: Die Photovoltaik innovativ fortentwickeln. Konzept für eine Solare Innovationsstrategie in Deutschland. In: *Solarzeitalter* 2010/1, 26–31, 27.

28 Siehe: Boom im Verborgenen. In: *Photon* 11, 2005, 60–69; Das 150-Milliarden-Euro-Ding. In: *Photon* 5, 2007, 16–19; Manuel Frondel, Nolan Ritter und Christoph M. Schmidt, 2007:

otische Kaskade aus hektischen politischen Eindämmungsversuchen, weiterhin steigenden Zubauzahlen und Zahlungsverpflichtungen, heftigster öffentlicher Kritik und weiterem Preisverfall für Module. In den Novellierungsverhandlungen für das EEG wurde im Mai 2008 als Kompromiss zwischen zunehmend aggressiv gegen die Photovoltaikförderung vorgehenden wirtschaftsnahen Politikern und diversen an der Förderung der Photovoltaik interessierten Vertretern der Union aus Bayern und den neuen Ländern, Umweltpolitikern und der SPD ein Zubaukorridor zwischen 1 und 1,5 GW_p für 2009: 1,1 und 1,7 GW_p für 2010 und 1,2 und 1,9 GW_p für 2011 vereinbart, dessen Über- oder Unterschreitung zu korrigierenden Revisionen der festgelegten Degressionssätze führen sollte (Dagger 2009: 304). Noch im Bundestagswahlkampf 2009 häuften sich äußerst kritische Medienberichte zu den Kosten der Solarförderung, zu meist unter Rückgriff auf die Berechnungen des RWI Essen.²⁹ Während der Koalitionsverhandlungen der konservativen Regierung im Herbst 2009 gingen wirtschaftsnahe Politiker mit ihren Kürzungsforderungen von 2008 von einmalig 30 Prozent und weiteren Regelungen zur Marktintegration an die Presse und versuchten erfolglos, eine außerordentliche Kürzung zum 1. Januar 2010 in der Vereinbarung unterzubringen.³⁰ Stattdessen enthielt der Vertrag schließlich den angesichts der Debatte überraschend versöhnlichen Passus:

Wir bekennen uns zur Solarenergie als wichtige Zukunftstechnologie am Standort Deutschland. Wir werden mit einer Anhörung in den Dialog mit der Solar-Branche und Verbraucherorganisationen treten, mit welchen Anpassungen kurzfristig Überförderungen bei der Photovoltaik vermieden werden können.³¹

Dass die Koalition sich zu dieser Position durchrang, hatte nicht nur damit zu tun, dass auch konservative Parteien mittlerweile Interessen an der Solarförderung entwickelt hatten, sondern auch damit, dass die neue Regierung – wie im Wahlkampf und Koalitionsvertrag angekündigt – einen wesentlich komplizierter durchzusetzenden Schlag gegen die ökologische Reformbewegung in der deutschen Energiepolitik plante: die Aufkündigung des Atomkonsenses von 2000. Die politische Aushandlung der Förderanpassungen zog sich nach einem ersten öffentlichen Entwurf und einem anvisierten Inkrafttreten zum 1. April bis in den Juli. Ein bedeutender regierungsinterner Streitpunkt war neben der Höhe

Photovoltaik: Wo Licht ist, ist auch viel Schatten. RWI: Positionen 18.2. Essen: Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung.

29 Unter vielen: Politik stellt Solarhilfen infrage. In: *Financial Times Deutschland*, 2009, 17. August; Thema des Tages. Der Niedergang der Solar-Industrie. In: *Süddeutsche Zeitung*, 18. August, 2009, 2.

30 Siehe: FDP will Solarförderung kappen. In: *Handelsblatt*, 1. Oktober, 2009, 1; Kuscheln mit Angela und Guido. In: *Photon* 11, 2009, 16–21, 16.

31 *Wachstum. Bildung. Zusammenhalt. Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und FDP 2009.* Berlin, 27.

der Kürzungen vor allem der Konflikt zwischen CSU- und FDP-Vertretern um den bayerischen Wunsch, Ackerflächen aus der Förderung auszuschließen, um damit Druck vom Flächenmarkt zu nehmen.³² Was seit Februar mit dem Kabinettskompromiss geschah, ist paradigmatisch für die politische Ökonomie der Solarförderung der folgenden Jahre. Einerseits begann die Branche im Februar – trotz beipflichtender Stellungnahmen Mitte 2009 – mit einer Reihe von Protesten und Kampagnen gegen die Kürzungspläne. Der BSW organisierte bundesweite Protestaktionen mit Unterstützung von Industriegewerkschaften (IG Metall und IG BCE), Umweltorganisationen, Handwerksverbänden, Politikern aus den neuen Ländern und den Belegschaften der Fertigungsindustrie mit größeren Kundgebungen und symbolischen Werksschließungen.³³ Die Kürzungspläne, so die Warnung der BSW-Geschäftsführung, würden die »Zukunftsbranche ihrer Technologieführerschaft berauben und hunderten deutschen Solarunternehmen die Geschäftsgrundlage entziehen«.³⁴ In der öffentlichen Anhörung zu den Kürzungsvorstößen sprachen sich mit Ausnahme der Vertreter des BDEW, der Verbraucherzentralen und der Zeitschrift Photon sämtliche geladenen Akteure, von IG Metall über den Bund der Energieverbraucher und den Zentralverband der Deutschen Elektro- und Informationstechnischen Handwerke bis hin zum Analysten der Landesbank Baden-Württemberg und der Vertretung des Städtebunds, gegen die vorgesehenen Kürzungshöhen aus. Sie warnten vor exzessiver Preiskonkurrenz, dem Verlust der Marktchancen deutscher Fertiger, dem Abwandern der Technologie nach Ostasien und unzureichenden Fristen für die Fertigstellung im Bau befindlicher Anlagen.³⁵ Zusätzlich kündigten im März die Vertreter der Länder Baden-Württemberg, Brandenburg, Rheinland-Pfalz, Sachsen-Anhalt und Thüringen im Bundesrat ihren Widerstand gegen die Kürzungen an.³⁶ Im Juli erreichte die Regierung schließlich einen Kompromiss im Vermittlungsausschuss, mit dem die Kürzungen abgeschwächt und bis Anfang 2012 gestreckt wurden, ein absoluter Deckel der Förderung ausblieb, die Förderung von Anlagen auf Ackerflächen – gegen die Interessen von vornehmlich

32 Siehe die Zusammenfassung in Udo Leuschners *Energie-Chronik* (Einträge 100105 und 100203) sowie die Beschreibung des Kompromisses in: Deutscher Bundestag, 2010: *Plenarprotokoll 17/34*. Berlin, 3172; Deutscher Bundestag, 2010: *Plenarprotokoll 17/40*. Berlin, 3876.

33 Bundesverband Solarwirtschaft, 2010: *Massenprotest gegen Röttgens Rotstift*. Pressemitteilung, Berlin.

34 Bundesverband Solarwirtschaft, 2010: *Solarwirtschaft: Wer die Solarenergie beschneidet, beschneidet unsere Zukunft!* Pressemitteilung, Berlin.

35 Siehe die zur Anhörung eingereichten Stellungnahmen sowie das dazugehörige Protokoll: Deutscher Bundestag, 2010: *Ausschuss für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Korrigiertes Wortprotokoll*. 17/11. Berlin.

36 Deutscher Bundesrat, 2010: *Antrag: Entschließung des Bundesrates zur geplanten Kürzung bei der Solarförderung*. 110/4/10. Berlin.

in Brandenburg ansässigen Dünnschichtmodulherstellern und Kraftwerksbauern und im Interesse der CSU und teilweise der Hersteller kristalliner Silizium-photovoltaik – völlig gestrichen und der nach dem Zubaurekord 2009 von 3,8 GWp faktisch ausgehebelte Korridor von 1,1 bis 1,7 für das Jahr 2010 mit einer neuen Zielgröße zwischen 2,5 und 3,5 GWp ersetzt wurde.

Statt der geplanten Stabilisierung des Zubaus wuchs er im Jahr 2010 auf einen neuen Rekordwert von 7,41 GWp – mit der weitgehend gleichen Wirkung auf die Zunahme öffentlicher Angriffe, industrieller Verlagerungsandrohungen und weiterer Kürzungsforderungen. In außergewöhnlichen Vorstößen begannen Ende des Jahres angesichts noch gravierenderer Prognosen auch der Umweltbranche nahestehende Wissenschaftler eine merkliche Eindämmung des Zubaus und »eine deutliche, über die festgeschriebene Degression hinausgehende Absenkung der Vergütungssätze zu Beginn des Jahres 2011« zu fordern, um das gesamte Fördersystem vor der Photovoltaik zu schützen.³⁷ Die Solarbranche bemühte sich in der zweiten Hälfte des Jahres darum, nach den hitzigen Auseinandersetzungen Anfang 2010 zurück zu einem kooperativeren Umgang mit der Politik zu finden. Im November veröffentlichte sie eine Roadmap für ihre Entwicklung bis in das Jahr 2020, in der sie eine Selbstverpflichtung ankündigte, den für 2010 erwarteten exzessiven Zubau von 8 GWp nach einem »Übergangsjahr« 2011 mit 6 GWp auf 3,1 GWp im Jahr 2012 zu drosseln.³⁸ Der Anteil der Photovoltaik an der EEG-Umlage, so das Versprechen, sollte sich damit auf 2 Cent einfrieren lassen. Im Dezember 2010 kam der Verband einem weiteren Kürzungsvorstoß durch die Politik zuvor und einigte sich mit dem Umweltministerium auf ein Vorziehen der planmäßigen Kürzungen von Anfang 2012 auf Mitte des Jahres 2011 und auf einen Mechanismus, um scharfe Einschnitte in die Förderung – und die von ihrer Ankündigung verursachten Spitzen im Zubau – zu vermeiden, einen sogenannten atmenden Deckel.³⁹ Nicht nur half der Kompromiss nicht, den Zubau 2011 abzukühlen, er löste keines der wesentlichen Probleme der Branche. Die Fertigungsindustrie verlor auch im exzessiven Zubau rasant an Boden und äußerst scharfe öffentliche Angriffe auf die Solarförderung hielten an. Grundlegendes institutionelles Unternehmertum aufseiten der Befürworter der Förderung zur Neugestaltung der Stromversorgung und zur Entlastung des EEG-Regimes blieb aus. Gleichzeitig wuchsen die Zahlungsverpflichtungen für nicht privilegierte Energieverbraucher weiter an. Noch im Januar 2011 meldete selbst der Sachverständigenrat für Umweltfragen Kritik an

37 Georg Erdmann et al., 2010: *Dringender Appell zur Rettung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes seitens deutscher Energiewissenschaftler*. 14. Dezember.

38 Roland Berger und Prognos, 2010: *Wegweiser Solarwirtschaft. PV-Roadmap 2020*. Studie im Auftrag des Bundesverband Solarwirtschaft, 27.

39 Vgl. die Zusammenfassung der Vorgänge in Udo Leuschners *Energie-Chronik* (Eintrag 110101).

der Solarförderung an; es sei »unbestritten, dass die Entwicklung der Förderung der PV als problematisch angesehen werden« müsse.⁴⁰

Nachdem die Branche im Jahr 2011 im Windschatten der Atomkatastrophe von Fukushima, dem atmenden Deckel und der Wahl in Baden-Württemberg wieder über 7 GWp in Deutschland installierte und die Prognosen für 2012 nicht viel mehr Anlass zur Hoffnung auf Zubauabkühlungen gaben, konnte es niemanden mehr überraschen, dass Anfang 2012 eine neue Initiative für einschneidende Kürzungen angekündigt wurde, die deutsche Industrie und die großen Energieversorger zunehmend Kritik übten und das der ökologischen Energiepolitik traditionell kritisch gegenüberstehende (und von einer FDP und einem Minister in Umfragetiefs geführte) Wirtschaftsministerium immer aggressiver nach Austrocknung rief. Im Januar legte das Wirtschaftsministerium einen Vorschlag vor, in dem gravierende Förderkürzungen sowie ein jährlicher Förderdeckel von 1 GWp gefordert wurden.⁴¹ Ebenfalls im Januar einigten sich der BSW-Präsident und der Umweltminister ein weiteres Mal auf vorgezogene und feiner gestaffelte Einschnitte. Nach längeren Verhandlungen zwischen Umweltministerium und Wirtschaftsministerium präsentierten die Minister am 23. Februar ein Papier, nach dem schon ab dem 9. März zwischen 20 und 30 Prozent an einmaligen Absenkungen und in der Folge feste monatliche Kürzungen um 1,5 Cent gelten sollten. Ferner planten sie, zukünftige Entscheidungen über die Vergütungshöhe mit einer Verordnungsermächtigung aus dem parlamentarischen Prozess zu lösen und den Zubaukorridor bis 2017 sukzessive auf 1,7 GWp zu senken.⁴² Der Grund für den – illusorischen – Versuch, die Kürzungen innerhalb weniger Wochen durchzusetzen, war nicht bloß, dass man den ausartenden Protest von 2010 zu umgehen versuchte, sondern auch, dass es in den Vorjahren wohl keine Ereignisse gab, die den Zubau von Solaranlagen derart ankurbelten wie der öffentliche Kampf um Förderkürzungen. Die Ankündigung der Gesetzespläne führte zu extremem Protest der Branche, der Länder und von Umweltschutzorganisationen. Am 1. März hielt Hans-Jürgen Papier einen Konferenzvortrag, in dem er bezweifelte, dass die kurzfristigen Kürzungspläne verfassungskonform seien, weil sie mit dem Vertrauensschutz von Investoren kollidierten.⁴³ Die Zeitschrift *Photon*, deren Berichte in Anhörungen

40 Sachverständigenrat für Umweltfragen, 2011: *Wege zur 100 % erneuerbaren Stromversorgung. Sondergutachten*. Berlin: Eric Schmidt Verlag, 266, 277–278.

41 Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2012: *Entwurf Gesetzesbegründung: EEG-Solarstromvergütung*. 12. Januar 2012, Berlin (abgerufen unter: <http://www.hans-josef-fell.de>).

42 Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2012: *Ergebnispapier EU-Effizienzrichtlinie und Erneuerbare-Energien-Gesetz*. Berlin.

43 Streifzug durch das Energierecht. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 62(5), 2012, 99–101.

zur Solarstromvergütung zuvor noch gerne von Ausbaugegnern als Kronzeugen herangezogen wurden, forderte Norbert Röttgens Rücktritt und titelte im März mit: »Solarfeind Nr. 1 – Wie Norbert Röttgens die Photovoltaik abschaffen will«. Eine Reihe prominenter Vertreter der Branche warnte in einer gemeinsamen Erklärung vor dem Verlust von 100.000 Arbeitsplätzen sowie »des Vertrauens der Wirtschaft in die Politik«. ⁴⁴ Wiederum organisierte die Branche Demonstrationen und wiederum kündigten die Länder ihren Widerstand an. ⁴⁵ Nachdem schon der schließlich im März im Bundestag beschlossene Entwurf mit Übergangsfristen abgeschwächt wurde, blockierte der Bundesrat das Gesetz im Mai. Im Juli wurde dann ein Kompromiss über eine abgeschwächte Version ohne Verordnungsermächtigung, mit geringerer Degression für Dachanlagen, einem absoluten Deckel der Förderung bei 52 GWp Gesamtleistung und einem begleitenden Bekenntnis zu einem KfW-Marktanreizprogramm für dezentrale Stromspeicher, der nun neuen, Hoffnungen beflügelnden »Zukunftstechnologie«, erreicht.

Abgesehen davon, dass es bis in das Jahr 2013 nicht gelang, den Zubau abzukühlen und zu verstetigen, misslang auch die versuchte Stärkung der deutschen Fertigungsindustrie völlig. Im Jahr 2011 kamen aus deutschen Fabriken nach Schätzungen weniger als 7 Prozent der weltweiten Modulproduktion. In der politischen Ökonomie der Solarförderung seit 2010 bekam *keine* Gruppe, was sie wollte, und alle gemeinsam verspielten stückweise ihre Legitimität. Sozialwissenschaftlich interessant ist nun, dass dieser Einschluss in einen für alle Seiten nachteiligen Pfad nichts mit externen Hindernissen, der Sache inhärenten Widrigkeiten oder ausbleibendem Glück zu tun hatte, sondern damit, dass sich *keine* beteiligte Gruppe – aus ideologischen und materiellen Gründen – zu kostenträchtigen Einschnitten bereitfand, um den *common carrier* Solarförderung an ein gewandeltes Umfeld anzupassen. Teilweise war dies ein für das deutsche politische System typischer Ausgang der Problemaufschiebung, in der »die Mechanismen der Konfliktminimierung nur ganz bestimmte Arten von Entscheidungen zulassen« und »alle potentiellen Lösungen ausgeschlossen« werden, »die nicht auf die Zustimmung aller notwendigen Beteiligten mit ihren je besonderen ideologischen und institutionellen Interessen rechnen können« (Scharpf 1977: 114). Teilweise jedoch entwickelten sie sich aus der besonderen Situation heraus, in der die Probleme des Sektors bearbeitet wurden.

Es ist auf der einen Seite kein Zufall, dass das Abgleiten des Fördersystems mit der Regierungszeit einer konservativen Koalition zusammenfiel. Die Forde-

44 Hubert Aulich et al., 2012: *Staffelsteiner Erklärung. Offener Brief an Angela Merkel*. 2. März, Bad Staffelstein.

45 Siehe: Das Ende des Solarzeitalters? In: *Photon* 3, 2012, 16–20.

rungen des Wirtschaftsministeriums und seiner Linie nahestehender Gruppen zielten auf Einschnitte in die ökologische Energiepolitik, die unmöglich *nicht* im Widerstand und Protest scheitern konnten. Nach vom ökonomischen Sachverstand her betrachtet möglicherweise unbequemen sektorpolitischen Reformvorschlägen, die Umweltaktivisten, Ländern und Industrie eine Perspektive abseits der wachsenden EEG-Transfers hätten bieten können, sucht man seit 2008 vergeblich. Und so erinnern die Rufe nach Austrocknung der Förderung in Teilen an die Mineralölpolitik der Regierung Richard Nixons. Auf der anderen Seite war den Fürsprechern der Förderung schon im Jahr 2009 lebhaft vor Augen geführt worden, dass die Fertigungsindustrie ihre Marktchancen auch bei exzessivem Zubau zusehends verlor. Ebenso war die seit 1973 geforderte technologiepolitische Anschubfinanzierung für die Industrie faktisch geleistet. Weltweit finanzierten Firmen und Staaten Fabriken für die neue Technologie und richteten zusehends weitere Programme zur Forschungs- und Installationsförderung ein – wenn auch vor dem Hintergrund der europäischen Nachfrage gemessen am Produktionsaufbau verhältnismäßig zögerlich. Das EEG hatte seine Wirkungen als industrie- sowie technologiepolitisches Instrument vollkommen verloren und begann ab 2010 eher im Gegenteil, die Bestandslegitimität der ganzen Branche zu untergraben sowie der internationalen Niedrigpreiskonkurrenz der deutschen Industrie ein Nachfragereservoir zu bieten, an dem sie ihre Größenvorteile noch erweitern konnte. Die Insolvenzen und Schließungen aus dem Jahr 2012 und die späteren europäischen Handelskonflikte um chinesische Importe führten zu einer Welle an öffentlichem Zuspruch zum »marktgerechten Niedergang« der deutschen Zellfertigung, wie sie noch 2007 undenkbar gewesen wäre. Und überwiegend ist es das in den Debatten 2008 entstandene Bild der für Transfers kämpfenden deutschen Hersteller, mit dem deren wirtschaftliche Probleme als »naturwüchsig« abgetan wurden.⁴⁶

Nicht nur ließen Branche und Politik jeglichen Ansatz für sektorpolitische Initiativen vermissen, ihre Lösungen waren mittlerweile genau so politisch kurzsichtig wie die des Komplexes um die Atomwirtschaft in den 1970er- und 1980er-Jahren, der meinte, energiewirtschaftliche Realpolitik gegen die politischen Forderungen einer immer stärker werdenden Gegenbewegung durchsetzen zu können. In der Unterstützerkoalition selbst hatten sich Interessen über die Jahre zunehmend auseinanderentwickelt und ihr einziger gemeinsamer

⁴⁶ Der im späteren Handelsstreit gegen die 25 europäischen Initiatoren einer Antidumping- und einer Antisubventionsklage bei der Europäischen Kommission agierende Verband Alliance for Affordable Solar Energy unterhielt unter der URL afase.org/del/zeitate eine Sammlung von Stellungnahmen, vom BDI über den Verband der Textilindustrie und die Monopolkommission bis hin zum deutschen Wirtschaftsministerium, die einen Eindruck davon gibt, wie viel Unterstützungsbereitschaft die Industrie über die Jahre verspielt hatte.

Nenner schien, dies wurde im Jahr 2012 deutlich, das kurzfristige Interesse am Erhalt der Installationsförderung zu sein. Eine Interessenorganisation, die ihrem Namen auch entsprochen hätte, existierte in der Branche nicht. Von der bedingt kooperativen vertikalen Spezialisierung der Industrie war seit spätestens 2009 immer weniger übrig. Die deutsche Branche wiederholte im Wachstum den Prozess aus Fragmentierung, Vereinzelung und dem Aufbau redundanter Kapazitäten, der die amerikanische Branche der späten 1970er- und frühen 1980er-Jahre geprägt hatte. Zwischen Zellherstellern und Anlagenbauern, die in der zweiten Hälfte der 2000er-Jahre vornehmlich nach Ostasien expandierten, entstanden nicht nur Verstimmungen über Technologietransfers, es bildeten sich vermehrt Redundanzen und konkurrierende Geschäftsmodelle aus, insbesondere in der Entwicklungsarbeit. Die Geschäftspolitik der internationalen Anlagenbauer war praktisch zunehmend darauf ausgerichtet, Prozessentwicklungen von den Entwicklungsabteilungen der Fertiger auf ihre eigenen zu verlagern, die Fertigung prozesstechnisch zu kommodifizieren. Noch 2009, als man in Deutschland und den USA weiterhin davon ausging, mit ostasiatischen Fertigern konkurrieren zu können, bemerkte ein Vertreter des Anlagenbauers GT Advanced: »I don't see Europe or the United States becoming major producers of solar products – they'll be consumers.«⁴⁷ Der süddeutsche, noch kurz zuvor mittelständische Anlagenbauer Centrotherm errichtete 2010 ein Entwicklungszentrum in Konstanz, das auf 2.000 Quadratmetern Fläche angewandte Forschung an der gesamten Prozesskette vereinigen sollte und so dimensioniert war, als plane man, in Konstanz die deutsche Photovoltaikforschung zu bündeln. In den ostdeutschen Fabriken wurde schon in der zweiten Hälfte der 2000er-Jahre seltener offen mit Herstellern von Produktionsmitteln bei Prozessentwicklungen kooperiert. Teilweise übernahmen Anlagenbauer in wirtschaftliche Probleme geratene Fertiger, um auf Basis deren Technik *Turnkey*-Linien anbieten zu können. Manz kaufte 2011 die CIGS-Tochter des Würth-Konzerns; Applied Materials übernahm 2009 den vor der Zahlungsunfähigkeit stehenden Fertiger Advent Solar. In den wesentlichen Entwicklungskonsortien der Branche, wie etwa dem Photovoltaikabgelehrten des Halbleiterverbands SEMI, schoben die beteiligten Akteure die koordinierte Arbeit an durchaus drängenden Fragestellungen, wie etwa an *microcracks* in der Zellfertigung, zugunsten von Eigenarbeiten auf. Ähnliche Redundanzen entwickelten sich zwischen Zell- und Modulfertigern. Neben Konzernen wie Schott oder Solarworld nach der Übernahme von Shell Solar, die schon sehr früh vollständig vertikal integriert fertigten, kaufte etwa die Solar-Fabrik während der deutschen Zellengpässe eine eigene Zellherstellung zu. Q-Cells wiederum fertigte seit 2011 selbst Module. Bosch Solar übernahm einen Hersteller

47 China Racing Ahead of U.S. in the Drive to Go Solar. In: *New York Times*, 25. August 2009, A1.

von Wechselrichtern, um Komplettsysteme anbieten zu können und etwas mehr Spielraum für eine Qualitätsstrategie zu schaffen. Zusätzlich verstärkten mehrere Fertiger seit 2009 ihr Geschäft mit eigenen Photovoltaikinstallationen, die sie etwa schlüsselfertig an Investoren verkauften. Die Zerfaserung der Branche in Deutschland wurde in der Politik in Reaktion auf die schärfere internationale Konkurrenz seit 2009 durchaus problematisiert. Im Juli 2010 kündigten das Forschungs- und das Umweltministerium in Begleitung der Einigung im Streit um Förderkürzungen die Innovationsallianz Photovoltaik an, die mit 100 Millionen Euro an öffentlichen Mitteln und nach Absprache 500 Millionen Euro an Industriemitteln neue Verbundprojekte zwischen Anlagenbauern, Fertigern, Zulieferern und Forschungsinstituten organisieren sollte. Die Struktur des Programms glich zu weiten Teilen der amerikanischen PVMaT-Initiative und dem japanischen PVTEC. Es reagierte angemessen auf eine wesentliche Pathologie der im Vergleich zu ostasiatischen Fertigern fragmentierteren deutschen Branche und schloss weitgehend an die Arbeitsstrukturen der Industrie Ende der 1990er- und Anfang der 2000er-Jahre an. Von den geförderten Zellherstellern sollte allerdings bis Anfang des Jahres 2013 – und damit ein Jahr vor Abschluss des ersten Projekts – der Großteil schon aus der Industrie gefallen sein.⁴⁸ Die globale Industrie entwickelte sich in einem Tempo und unter einem Preisdruck, die Strukturen wie PVMaT mittelfristig aus der Zeit fallen ließen. Ferner passte die Initiative immer weniger zu den Modellen der Krisenbewältigung der Industrie. Aus der deutschen Industrie ist nicht eine ernsthafte Bewegung hervorgegangen, um Entwicklungs-, Vertriebs- oder Produktionskapazitäten der Krise der Branche entsprechend zu *poolen*. Im Gegenteil, eher verstärkte die Krise die Tendenzen in der Industrie, national und kontinental redundante Kapazitäten aufzubauen. Diese Reaktion auf die Strukturkrise der Industrie glich zu weiten Teilen dem Typ kollektiv irrationaler Dynamik, gegen den Keynes ([1926]1981) erfolglos in der Textilindustrie von Lancashire vorging. Als gegen Ende 2013 aus deutschen und französischen Forschungsinstituten und der Politik die Idee an die Öffentlichkeit geriet, man könne auf Basis der verbliebenen Forschungskapazitäten einen deutsch-französischen »Solar-Airbus« mit staatlichen Mitteln entwickeln, regte sich einerseits entschiedener Widerstand von den letzten übrig gebliebenen großen deutschen Fertigern. Andererseits wussten die Planer für ein solches Projekt weder, wer eine etwaige paneuropäische Riesenfabrik betreiben sollte, noch hatten sie einen klaren Anhaltspunkt in der Organisation der Bran-

48 Siehe die Übersicht der geförderten Projekte in: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2013: *Antwort auf die Kleine Anfrage: Situation und Perspektiven der ostdeutschen Solarindustrie*. 17/14035. Berlin: Deutscher Bundestag, 8–102.

che selbst, wie sich die Reste in der Photovoltaik aktiver Unternehmen in ein solches Projekt integrieren lassen könnten.⁴⁹

Nicht viel besser – und konsequenzenreicher – für die Ausrichtung der Branche auf die EEG-Förderung wirkte die Industriestruktur zwischen Fertiggern, Händlern, Projektieren, Installateuren und Endkunden. Das im internationalen Vergleich weitgehend unorganisierte deutsche Installationsgewerbe war mit Herstellern vornehmlich über den Markt verbunden. Mit dem Zufluss an günstigen Modulen seit 2009 weiteten Installateure den Zubau massiv aus, während die deutschen Hersteller um den Erhalt ihres Absatzes in einen wachsenden Markt kämpften, präziser: durchaus *für* ein Wachstum des Marktes, um ihren Absatz zu halten. Faktisch legte man in Deutschland wie in anderen Ländern tendenziell Einspeisevergütungen fest, bei denen Fertiger gerade noch in ihren Heimatmarkt verkaufen konnten, während Händler, Installateure, Projektierer und Endkunden sich die Differenz zwischen europäischen und chinesischen Modulpreisen bis zu einem geschätzten chinesischen Marktanteil in Europa von beinahe 80 Prozent praktisch aufteilten. Zwischen 2009 und 2013 sollte mit Ausnahme weniger Monate keine Preisdisziplin mehr in den Markt für Photovoltaikmodule einkehren, mit entsprechenden Auswirkungen auf die Zubauzahlen, dem politischen Widerstand gegen die Förderung als Ganzes und schließlich erneute Förderkürzungen. Das EEG wurde im zersplitterten deutschen Installationsgewerbe zu etwas wie einer »Abraumhalde für die globale Überproduktion an Solarmodulen«. ⁵⁰ Wie weitgehend Installateure und Händler sich über die Jahre vom Zufluss günstiger Module abhängig machten, bei deren Preisen selbst große kostentechnisch führende chinesische Fertiger eine Milliarde US-Dollar Verluste auf drei Milliarden Dollar Umsatz erzielen konnten, zeigte sich schließlich ab 2011 in Auseinandersetzungen um unilaterale Vorstöße deutscher Fertiger, mit Importbeschränkungen eine Begrenzung des Zuflusses an Modulen in das deutsche Fördersystem zu erwirken.

Zwischen 2009 und 2012 wurden Rufe nach Handelsbeschränkungen im Umfeld der Industrie laut. Diese verliefen sich aber regelmäßig in einem stillen Konsens zum gemeinsamen Einsatz für Förderausweitungen, in Deutschland wie international. Die Interessen- und Zielkonflikte, die sich hinter dem Verstummen jeglicher Vorschläge für Handelsbeschränkungen verbargen, brachen erst 2011 und 2012 auf, in öffentlichen Auseinandersetzungen zwischen verschiedenen Segmenten der Industrie um Dumping-Ermittlungen gegen chine-

49 Siehe zu Planung und öffentlicher Diskussion: Fraunhofer IPA und Fraunhofer ISE, 2013: *Studie zur Planung und Aufbau einer X-GW Fabrik zur Produktion zukunftsweisender Photovoltaik Produkte in Deutschland*. Stuttgart, Freiburg; Sascha Rentzig, 2014: Gigafabrik gegen den Ruin. In: *Erneuerbare Energien* 1, 8–11.

50 Voll der Schatten. In: *taz.de*, 29. Januar 2014.

sische Modulhersteller in Europa und den USA. Nachdem Forderungen der Industrie zum Schutz vor japanischen Exporten im Jahr 2004 schnell verfliegen waren, kam es 2009 in den USA wie in Deutschland zu öffentlichen Anklagen, chinesische Hersteller würden Dumping in die Fördersysteme westlicher Länder betreiben. In beiden Ländern forderten Fertiger Antidumping-Maßnahmen oder setzten sich für *Local-Content*-Klauseln in den jeweiligen Förderregimen ein.⁵¹ Die Rufe nach Importbeschränkungen wurden in den Jahren 2009 und 2010 von Ideen abgelöst, wie sich das EEG »administrativ verschlacken« lassen könnte.⁵² Hermann Scheer verbreitete seit 2009 den Vorschlag, die Förderung an formell herkunftsunabhängige Umwelt- und Qualitätszertifizierungen und eine Recyclingpflicht zu koppeln, um Dynamik aus dem Zufluss von Modulen in das EEG zu nehmen –⁵³ ein Grundmodell, mit dem die japanische Regierung ihr Mitte 2012 eingeführtes Vergütungssystem einerseits wesentlich »abgekühlter« betreiben konnte und mit dem sie andererseits erfolgreich ausländische Fertiger in Kooperationen mit japanischen Komponentenherstellern lenken konnte. Derartige Diskussionen entwickelten im Jahr 2010 keine Zugkraft, obwohl in den dazugehörigen Parlamentsdebatten weitgehend Einigkeit darüber herrschte, dass sich der ungebremsste Zufluss an Modulen über die nächsten Jahre verstärken würde, und Zellhersteller schon 2010 verkündeten, ebenfalls Fabriken in Ostasien zu errichten (unter anderem Q-Cells, Schott und später Bosch).⁵⁴ Auf der einen Seite wiederholten konservative Abgeordnete die der Branche anhängende Kritik an den früheren Renditen der Zellhersteller und erinnerten an den Widerstand des verarbeitenden Gewerbes und der Industriegewerkschaften gegen Maßnahmen, die sich auf Strompreise auswirken könnten.⁵⁵ Auf der anderen Seite thematisierten progressive und ökologische Parlamentarier in ihren Redebeiträgen vor dem Hintergrund der 2010 noch im Raum stehenden Laufzeitverlängerungen für Kernkraftwerke verstärkt energie- und gesellschaftspolitische Fragen. Sie erhoben die Förderdiskussion zu einer Debatte um die zu-

51 Siehe die Diskussionen in: China Racing Ahead of U.S. in the Drive to Go Solar. In: *New York Times*, 25. August 2009, A1; Chinese Solar Firm Revises Price Remark. In: *New York Times*, 27. August 2009, B1; Suntech attackiert deutsche Solarkonkurrenz. In: *Financial Times Deutschland*, 24. September 2009.

52 Siehe die Stimmen in: Solarbranche dringt auf Schutz vor Billigkonkurrenz. In: *Handelsblatt*, 22. September 2009, 17.

53 Siehe Hermann Scheer, 2010: Die Photovoltaik innovativ forentwickeln. Konzept für eine Solare Innovationsstrategie in Deutschland. In: *Solarzeitalter* 2010/1, 26–31.

54 Die Fraktion der Linken brachte Scheers Forderungen in einem Antrag in den Bundestag ein. Siehe Deutscher Bundestag, 2010: *Antrag der Fraktion Die Linke: Solarstromförderung wirksam ausgestalten*. 17/1144. Berlin. Vgl. auch die dazugehörige Debatte in Deutscher Bundestag, 2010: *Plenarprotokoll 17/34*. Berlin, 3170–3182.

55 Deutscher Bundestag, 2010: *Plenarprotokoll 17/40*. Berlin, 3836, 3875, 3878.

künftige Struktur der deutschen Energieversorgung und Gesellschaft, sprachen wenig über sektorpolitische Probleme und wesentlich mehr über die Höhe von Vergütungsabsenkungen und die Begünstigungen »der Energiemonopole«. ⁵⁶ In der Gegnerschaft gegen zu hohe Kürzungen fand sich zwischen Grünen, Linken, der SPD-Fraktion, ostdeutschen und süddeutschen Landeregierungen ein bedingter Konsens. Und noch immer wiederholten Parlamentarier die immer weniger aufgehende Konsensformel: »Wer einen Binnenmarkt im eigenen Land eröffnet, wird auch die Technologieführerschaft haben« (Hans-Josef Fell). ⁵⁷

Neben Forderungen nach Regeln, die das System in Deutschland administrativ »verschlacken« sollten, tauchten zeitgleich vereinzelt Vorschläge für protektive Maßnahmen auf. In den Novellierung Anhörungen 2010 fragte etwa der Vertreter der Landesbank Baden-Württemberg, warum angesichts der akuten Verlagerungsgefahr nicht *Local-Content*-Regelungen in das Gesetz eingezogen würden. ⁵⁸ Der Ruf nach *Local-Content*- oder Bonusklauseln für europäische Produkte wurde seit 2012 insbesondere aus dem Unterstützerkreis der ostdeutschen Fertigungsstandorte in die Öffentlichkeit getragen. ⁵⁹ Oft wurden diese Forderungen mit Verweisen gestützt, dass sich bis in das Jahr 2012 eine weite Landschaft aus protektiven Regelungen in den globalen Fördersystemen für Umwelttechnologien entwickelt hatte. Neben der Diffusion von Formen grüner Energiepolitik verbreiteten sich Formen grünen Merkantilismus und grünen Protektionismus jeglicher Art. Aus den zwei Jahrzehnte zuvor noch belächelten Hoffnungsträgern der grünen Energietechnologien waren seit dem Jahr 2000 sehr geschickt und erfindungsreich verteidigte Gegenstände ökonomischer Staatsinteressen geworden. Die kanadische Provinz Ontario etwa stattete ihre seit 2009 geltenden Einspeisevergütungsregeln mit *Domestic-Content*-Regeln von zuerst 40 bis 50 und später 60 Prozent aus. Diese wurden zwar nach Beschwerden der Europäischen

56 Ebd.: 3873–3874.

57 Ebd.: 3879.

58 Deutscher Bundestag, 2010: *Ausschuss für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Korrigiertes Wortprotokoll*. 17/11. Berlin, 27.

59 Siehe SPD, 2012: *Beschluss des SPD-Parteivorstands: Die Zukunft der Solarbranche sichern!* 14; Deutscher Bundestag, 2012: *Plenarprotokoll 12/172*. Berlin, 20297: 20307; Deutscher Bundestag, 2012: *Ausschuss für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Korrigiertes Wortprotokoll*. 17/68. Berlin, 17–18; Deutscher Bundestag, 2012: *Entschließungsantrag der Fraktion der SPD. Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Rechtsrahmens für Strom aus solarer Strahlungsenergie und zu weiteren Änderungen im Recht der erneuerbaren Energien*. 17/9157. Berlin. Die thüringische Befürwortung einer solchen Klausel wandelte sich von der Bundestagsdebatte im März, einem ersten Positionspapier im Mai und einem späteren Strategiepapier im Juli hin zu Unschlüssigkeit, offenbar aufgrund von Diskussionen mit der Industrie. Siehe Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Technologie und Solarinput, 2012: *Strategiepapier für die thüringische Solarwirtschaft*. Erfurt; Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Technologie und Thüringer Solarwirtschaft, 2012: *Die Zukunft der Thüringer Solarbranche sichern*. Erfurt.

Union und Japans 2010 vor der WTO verhandelt und 2013 zu Fall gebracht, halfen aber dem kanadischen Fördersystem, die globale Modulschwemme bis Ende 2013 auszusitzen (siehe zur Politik des kanadischen Programms: Stokes 2013). China – im Rahmen von industriellen *catch-up policies* mit Indien und Brasilien gewissermaßen führend in Regeln für heimische Wertschöpfungsvorschriften – arbeitete von 2001 bis 2010 mit *Local-Content*-Regelungen von bis zu 70 Prozent in der Windkraftförderung. Die USA, in denen bis 2013 zwar noch immer kein den eigenen Ansprüchen adäquates bundesweites System zur Förderung neuer Energiequellen existierte, in denen aber etliche Gemeinden, Bundesstaaten, Regionen und Energieversorger Förderregime eingerichtet hatten, verfügten über zahlreiche protektive Regelungen, von heimischen Wertschöpfungsanforderungen in Ausschreibungsverfahren bis hin zu Mindestwertschöpfungsanteilen für Einspeisetarife im Staat Washington. Ähnliche Regelungen zur Schließung des jeweiligen Fördersystems entstanden unter anderem in Brasilien, Griechenland (mit WTO-Klage durch China), Indien (mit WTO-Klage durch die USA), Italien (mit WTO-Klage durch China), Südafrika und der Türkei.⁶⁰ Auch die Diskussionen um eine Wertschöpfungsklausel im EEG gewannen in der Bundesrepublik über die Jahre keine Bodenhaftung. Stattdessen endeten die Debatten um protektive Regelungen im unilateralen Vorstoß deutscher Zellfertiger im Jahr 2011, Strafzölle gegen die chinesische Industrie in den USA und in Europa zu erwirken.

Im Oktober 2011 reichte die US-Tochter des Solarworld-Konzerns in den USA eine Dumping-Beschwerde gegen chinesische Fertiger ein und initiierte damit einen zweijährigen internen Kampf der Branche um chinesische Exporte und eine Serie von Handelskonflikten zwischen China, Europa und den USA. Der Zeitpunkt sowie die Einreichung der Klage im 2011 noch vergleichbar kleinen Markt der USA war alles andere als zufällig. Einerseits hatte sich die Dominanz chinesischer Hersteller über das Jahr 2011 noch verstärkt, auch sie meldeten inzwischen Verluste – 2009 hatte der Gründer der chinesischen Suntech europäische Klagen noch mit dem Verweis auf Gewinnmeldungen zurückgewiesen – und in den Medien kursierten zunehmend Informationen über die chinesische Kreditpolitik für große Hersteller. Andererseits hatten in den USA im August Evergreen Solar und im September Solyndra ihre Zahlungsunfähigkeit und Auflösung angekündigt. Insbesondere der Hersteller Solyndra war eine Art Leuchtturmprojekt für die Stimulus- und neue *Green-Collar*-Reindustrialisierungspolitik der Administration Barack Obamas nach der Wirtschafts- und

60 Siehe überblicksweise die Zusammenstellung in: Jan-Christoph Kuntze und Tom Moerenhout, 2013: *Local Content Requirements and the Renewable Energy Industry – A Good Match?* Working Paper. Genf: ICTSD.

Finanzkrise und den anhaltenden Irritationen über das amerikanische Wachstumsmodell. Solyndra, ein 2005 gegründeter Dünnschicht-Fertiger, scheiterte in einem mehrjährigen Skandal, nachdem er seit 2009 Kreditgarantien, direkte Kredite und mehrmalige Kreditrestrukturierungen zulasten der Regierung durch das Department of Energy erhalten und den amerikanischen Staat sieben Monate nach der letzten öffentlichen Zuwendung mit seiner Auflösung über 500 Millionen US-Dollar gekostet hatte.⁶¹ Noch im November musste Energieminister Steven Chu vor einem ersten Untersuchungsausschuss zur Solyndra-Affäre aussagen; er sollte den Ton für die bundespolitische Haltung zu chinesischen Solarexporten der nächsten zwei Jahre vorgeben:

We are in a fierce global race to capture this market. In the past year and a half, the China Development Bank has offered more than \$34 billion in credit lines to China's solar companies. [...] [T]he stakes could not be higher for our country. When it comes to the clean energy race, America faces a simple choice: compete or accept defeat. I believe we can and must compete.⁶²

Eine Woche nach der Bekanntgabe von Solyndras Scheitern sandte Ron Wyden, Senator von Oregon, dem Standort von Solarworlds größter amerikanischer Fabrik, einen Brief an das Weiße Haus, in dem er die regierungsseitige Einleitung eines Antidumping-Verfahrens gegen China durch das Department of Commerce forderte.⁶³ Einen Monat später reichte Solarworld eine umfangreiche Falldarstellung und Klage bei der International Trade Commission ein.⁶⁴ Gemessen an der geringen gesamtwirtschaftlichen Bedeutung des Fertigers in den USA und dem beträchtlichen Umfang des Falls erhielt die Klage politisch unerwartet viel Unterstützung – mit ihm wurde, wie in den meisten Vorgängen in den internationalen Beziehungen, nicht nur der chinesische Export von Solarmodulen verhandelt. Am 2. Dezember richteten sich 59 Kongressabgeordnete mit den Worten an das Weiße Haus: »We cannot strengthen our energy security, or create jobs and economic growth, by replacing Middle East petroleum im-

61 Die Geschehnisse um Solyndra, die nun derart umfassend öffentlich dokumentiert sind, dass sie eine eigene sozialwissenschaftliche Forschungsarbeit rechtfertigen würden, sind im Kongress – parteipolitisch gefärbt – zusammengestellt worden. Siehe U.S. Congress, 2012: *The Solyndra Failure. Majority Staff Report. Prepared for the Use of the Committee on Energy and Commerce*. Washington, DC.

62 U.S. Congress, 2011: *The Solyndra Failure: Views From Department of Energy Secretary Chu. Hearings before the Subcommittee on Oversight and Investigations of the Committee on Energy and Commerce. U.S. House of Representatives, One Hundred Twelfth Congress. First session*. Washington, DC, 19, 20.

63 Ron Wyden, 2011: *Letter to President Barack Obama*. 8. September. Washington, DC: US Senate.

64 Solarworld Industries America, 2011: *Petition for the Imposition of Antidumping and Countervailing Duties. Crystalline Silicon Photovoltaic Cells, Whether or not Assembled into Modules, from the People's Republic of China*. Washington, DC: US International Trade Commission.

ports with unfairly traded clean energy technologies imported from China.«⁶⁵ Ebenso bekannten sich die United Steelworkers unter ihrem sehr klagefreudigen Präsidenten Leo Gerard zu dem Fall – wohl auch, weil Mitte 2012 eine weitere gesamtwirtschaftlich bedeutendere Antidumping-Klage gegen chinesische und vietnamesische Windkraftturmersteller angestrengt werden sollte. Im Mai 2012 verhängte das amerikanische Wirtschaftsministerium vorläufige Schutzzölle auf chinesische Zellen und Module zwischen 30 und 250 Prozent. Im November wurden die Zölle, partiell leicht abgesenkt, festgeschrieben. Während sich die Regierung, eine Reihe von Politikern und Industriegewerkschaften der Solarworld-Klage gegenüber durchaus zugewandt zeigten, brach unmittelbar nach Bekanntwerden der Klage sowie während der Untersuchungen eine heftige öffentliche Auseinandersetzung zwischen Akteuren der gesamten solaren Wertschöpfungskette, die im amerikanischen wie im europäischen Fördersystem praktisch von der chinesischen Industriepolitik subventioniert wurden, und den Initiatoren der Klage aus.⁶⁶ In ihren jeweils neu gegründeten Interessenverbänden, der Coalition for American Solar Manufacturing und der Coalition for Affordable Solar Energy führten die Industriegesegmente einen öffentlichen Kampf um die Interpretation der Lage der amerikanischen Industrie sowie um die Frage, inwieweit Schutzzölle im Gemeininteresse der amerikanischen Gesellschaft seien. In den neuen Handelskonflikten, den bisweilen ausartenden gegenseitigen Beschuldigungen der Gruppen, welche Seite welche Subventionen erhalten habe, welche Seite wie innovativ und technologisch gut aufgestellt sei und welche Seite in der Zukunft eher für amerikanische Arbeitsplätze verantwortlich sein würde,⁶⁷ gibt es einen besonders bemerkenswerten Aspekt: Die Interessenharmonie der *solaren Revolution* zwischen ökologischen, beschäftigungs-, industrie- und wirtschaftspolitischen Zielen und Koalitionen brach just in dem Moment auseinander, als aus den neuen Technologien eine ansatzweise ernst

65 Edward J. Markey et al., 2011: Letter to President Barack Obama. 2. Dezember. Washington, DC: U.S. Congress, 2.

66 Eine einsichtsreiche und teilweise bis in einzelne politische Schachzüge und Koalitionsmuster mit dem Fall der Solarindustrie übereinstimmende Beschreibung der US-amerikanischen Politik im Zusammenhang mit strittigen Handelsbeschränkungen findet sich in Max Hollands (1989: Kap. 11 und 12) Geschichte der berüchtigten *Houdaille*-Petition.

67 Siehe unter vielen: Coalition for American Solar Manufacturing, 2011: *The United States Suffered a Dramatic Reversal in Solar Trade Balance for 2011, Resulting in Significant Trade Deficits with China and the World*. Position Paper; Coalition for American Solar Manufacturing, 2012: *Made in America. Anatomy of a Job Engine*. Pamphlet; Greentech Media, 2012: *Solar Industry Reaction to the Anti-Dumping Decision*. Online Report 17/05/2012. Boston, MA; Kearny Alliance, 2012: *China's Solar Industry and the U.S. Anti-Dumping/Anti-Subsidy Trade Case*. 05/2012; US International Trade Commission, 2011: *Hearing. Crystalline Silicon Photovoltaic Cells and Modules from China*. Investigations 701-TA-481, 731-TA-1190. Washington, DC.

zu nehmende ökologische und industrielle Größe geworden war. Einerseits war dies schlicht eine Frage der Zeit – es war rechnerisch nie möglich, dass *jedes* Land Nettoexporteur von Solartechnik sein würde. Und dass Regierungen nur selten bereit sein würden, Zubausubventionen ohne das Versprechen auf eine eigene industrielle Fertigung weiterzuführen, bewiesen die seit Mitte des Jahrzehnts zahlreicher werdenden Kopplungen grüner Energiepolitik an heimische Wertschöpfungsklauseln und andere protektive Maßnahmen. Andererseits fehlte der Branche selbst, die kollektiv ja weiterhin mit etablierten Wertschöpfungsketten zur Elektrizitätsversorgung konkurrieren musste, das gemeinsame Gespür für die Interessenabwägungen, die die Eskalation in Handelskonflikte hätten vermeiden können.

Genau dieses Aufbrechen der verschiedenen Interessen an der Photovoltaik geschah in Deutschland in Reaktion auf den Vorstoß Solarworlds und einer Reihe weiterer europäischer Fertiger, die Schutzzölle aus den USA auf die Europäische Union zu übertragen. Das europäische Verfahren war einerseits wegen seines schieren Umfangs komplexer als das amerikanische. Chinesische Exporte von Solarmodulen in die Europäische Union werden für das Jahr 2011 auf einen Umfang von über 20 Milliarden Euro geschätzt. Von geschätzten 19,88 GWp im Jahr 2011 in der Europäischen Union installierten Solarmodulen stammten geschätzte 15,81 GWp aus Importen aus China.⁶⁸ Andererseits hatten die europäischen Fertiger wesentlich höhere Hürden zu überwinden, politische Unterstützung für das Verfahren zu gewinnen – in der Industrie selbst wie in Öffentlichkeit und Politik. Für die Einleitung von Verfahren bei der Europäischen Kommission mussten die Kläger Unterstützer im Umfang von 25 Prozent der europaweiten Produktionsmenge mobilisieren, was sich als schwer zu bewältigende Aufgabe erwies. Der damals größte Fertiger Europas, Bosch Solar, gab sich unentschlossen. Nachdem der Aufsichtsratschef des Konzerns Anfang Juli in einem Interview bekannte: »Ich bin wirklich ein Gegner von Einfuhrzöllen, aber wenn die Dinge so klar auf dem Tisch liegen wie bei der Photovoltaik, ist die Politik gefordert. Das ist klares Dumping. Da muss man eingreifen«, gab der Konzern zwei Wochen später in der Presse bekannt, dass man sich an einer Klage nicht beteiligen würde.⁶⁹ Die sachsen-anhaltinische Sovello verkündete zwar nach ihrer Insolvenzmeldung im Mai Unterstützung für ein europäisches Verfahren,⁷⁰ stellte jedoch noch im August ihre gesamte Produktion ein. Das Ver-

68 Europäische Kommission, 2013: *Regulation (EU) No 513/2013. Official Journal of the European Union*. Brüssel, 152/16–152/17.

69 Interview mit Franz Fehrenbach. In: *Handelsblatt*, 2. Juli 2012; Klare Abfuhr für Solarworld-Chef Asbeck. In: *WirtschaftsWoche*, 13. Juli 2012.

70 Sovello GmbH, 2012: *Appell an Bundeskanzlerin: Energiewende mit Sonnenenergie*. Pressemitteilung. Thalheim.

fahren wurde schließlich nach mehrmonatigen Mobilisierungsversuchen im Juli durch 25 ungenannte europäische Fertiger unter namentlicher Anführung von Solarworld bei der Europäischen Kommission angestoßen. In Europa wiederholten sich genau jene brancheninternen Auseinandersetzungen, die schon in den USA entstanden. Händler, Zulieferer, Projektierer sowie die chinesischen Fertiger schlossen sich um einen Interessenverbund namens Alliance for Affordable Solar Energy zusammen, die Kläger um einen Verband namens EU ProSun. Im Ganzen gelang es den Gegnern der Zölle – allen voran der chinesischen Regierung – wesentlich besser als im amerikanischen Fall, die relevanten Akteure auseinanderzuidividieren. Je nach Äußerung und Stand der Verhandlungen drohte das chinesische Wirtschaftsministerium offen mit einem Handelskrieg sowie mit Antidumpingzöllen auf Wein, legierte Stahlrohre, Polysilizium und diverse chemische Erzeugnisse.⁷¹ Noch während der ersten Untersuchungen sprachen sich siebzehn europäische Regierungen gegen Zölle aus; dafür stimmten, das ergaben Umfragen, im Wesentlichen die Regierungen Frankreichs, Italiens und Spaniens, während die deutsche Regierung zumindest nach außen vorläufige Strafzölle zu verhindern versuchte, die die Generaldirektion Handel unilateral ohne Zustimmung des Rates verhängen konnte.⁷²

Gleichzeitig wurde das Verfahren wiederum von Unternehmen der gesamten Wertschöpfungskette außer den Zellherstellern aufs Schärfste angegriffen.⁷³ Die AFASE veröffentlichte Anfang 2013 ein ökonomisches Gutachten der Firma Prognos, nach dem Schutzzölle zwischen 20 und 40 Prozent auf chinesische Module bis in das Jahr 2015 zwischen 175.000 und 240.000 Arbeitsplätze in der Solarbranche der EU-Mitgliedstaaten zerstören würden, vornehmlich in der Herstellung von Produktionsmitteln und im Installationsgewerbe.⁷⁴ EU ProSun wiederum beauftragte PricewaterhouseCoopers, um die Prognos-Studie zu kritisieren.⁷⁵

71 China startet Verfahren gegen Weine aus Europa. In: *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 2. Juli 2004, 13.

72 Siehe: Aktion Abendsonne. In: *Der Spiegel* 23, 2013, 72–73; Sonnenbrand. In: *Süddeutsche Zeitung*, 29. Mai 2012, 17. Im Umfeld der Verhandlungen ist oft darauf hingewiesen worden, dass die Bundesrepublik als Großexporteur »natürlicherweise« gegen protektive Maßnahmen sei. Diese Erklärung ist mindestens fraglich. Die Bundesrepublik nutzte Mittel der Handelsbeschränkung zum Industrieschutz nicht viel weniger als andere europäische Staaten, zumeist nur etwas verdeckter. Vgl. etwa Katzenstein (1985: 68–69).

73 Siehe die in mancher Hinsicht unfachmännisch zusammengetragenen Beschwerden mehrerer Hundert Unternehmen aus dem Installationsgewerbe und der Projektierung in: Alliance for Affordable Solar Energy, 2013: *Open letter to EU Commissioner De Gucht*. Brüssel, 3. April.

74 Prognos, 2013: *The Impact of Anti-Dumping and/or Countervailing Measures on Imports of Solar Modules, Cells and Wafers from China on EU Employment and Value Added*. Basel, Berlin, 11. Februar.

75 PricewaterhouseCoopers, 2013: *Review of Prognos' Study published in the course of the EU anti-dumping and anti-subsidy investigations on imports of photovoltaic products from China*. Köln.

Zusätzlich zum organisierten Widerstand sprachen sich die Wacker Chemie sowie der VDMA gesondert gegen das Verfahren aus.⁷⁶ Es dauerte über ein Jahr, bis sich auch im deutschen Anlagenbau Stimmen fanden, das Fördersystem EEG vor Importen zu schützen. Dieter Manz etwa hatte Ende 2011 noch verkündet, dass die Preiskämpfe und Kapazitätsrennen im Interesse seines Industrie-segments waren:

Die sinkenden Preise für Solarpaneele werden das Geschäft ankurbeln. Zugleich sind die Hersteller gezwungen, Anlagen anzuschaffen, auf denen sie die Module trotz des Preisverfalls wirtschaftlich produzieren können. Nach unserer Schätzung erfüllt heute ein Drittel aller weltweiten Produktionslinien diese Anforderung nicht mehr. [...] Linien, die drei oder vier Jahre alt sind, kann man nur noch verschrotten.⁷⁷

Schon Anfang 2013 ließ er sich mit den Worten zitieren, es brauche dringend politische Anreize, »dass sich Haushalte deutsche oder europäische Solarmodule auf ihre Dächer montieren«, und warnte vor einer ansonsten folgenden »Verlagerung« von Forschung und Maschinenbau.⁷⁸ Noch entschiedener positionierten sich Akteure, die ökologische Interessen und solche, die die Interessen Süddeutschlands vertraten, gegen die Klage. Es bestehe »die Gefahr, dass der Konflikt den weiteren Ausbau der Erneuerbaren Energien in Europa und außerhalb schlicht verzögert und behindert«, gab die DGS an ihre Mitglieder aus.⁷⁹ Der bayerische Bundestagsabgeordnete der Grünen, Hans-Josef Fell, forderte wiederholt und äußerst bestimmt, jegliche Schutzforderungen zu unterlassen, »der von Solarworld und einigen anderen europäischen Solarfirmen angezettelte Handelskrieg« könne »unkontrollierbar ausufern« und »Sand ins Getriebe der globalen Energiewende bringen«, klagte er; »[n]un liegt es an den europäischen Unternehmen die Klage zurückzuziehen, um weiteren Schaden von der Branche der Erneuerbaren Energien abzuhalten.«⁸⁰ Und wie CASE in den USA und AFASE in Brüssel stützte sich auch Fell auf die wesentliche brancheninterne Konfliktlinie, um zu begründen, warum die Klage auch den ökonomischen Brancheninteressen zuwiderlaufe; der »weitaus größte Teil der Arbeitsplätze in der Solarwirtschaft [ist] [...] in den Bereichen der Projektierer und Installateure,

76 Siehe Wacker Chemie AG, 2012: *Wacker lehnt Einfuhrzölle auf chinesische Solarmodule ab*. Pressemitteilung. München; VDMA, 2012: *VDMA Photovoltaik-Produktionsmittel: PV-Maschinenbau sieht die bei der EU eingereichte Anti-Dumping-Klage kritisch*. Pressemitteilung. Frankfurt a.M.

77 Der Spaß beginnt. Interview mit Dieter Manz. In: *WirtschaftsWoche*, 29. August 2011, 58–59, hier: 58.

78 Siehe: Handelskrieg mit China bringt wenig. Interview mit Dieter Manz. In: *Stuttgarter Nachrichten*, 2013, 12. Februar.

79 Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, 2012: *DGS-Stellungnahme zum Anti-Dumping-Verfahren*. München.

80 Hans-Josef Fell, 2012: *Kein Handelskrieg um die Erneuerbare Energien!* Blogbeitrag, 11. Juni. Berlin.

die heimisch sind und faktisch nicht aus China importiert werden können«, gab er zu bedenken.⁸¹ Diplomatisch verhielt sich die grüne Bundestagsfraktion – die sich angesichts der horrenden Finanzmittel, die Fertiger weltweit verschwendeten, um sich in der Industrie halten zu können, in der komfortablen Position einer Oppositionsfraktion befand – und schlug zur Wiederbelebung der Branche KfW-Kredite und Staatsbürgschaften für deutsche Fertiger, ein KfW-Programm für Installationen von deutschen Erzeugnissen und geringere Einschnitte in die EEG-Förderung vor. Als wesentlichen Grund für den Niedergang der deutschen Industrie gab die grüne Fraktion die wiederholten Förderkürzungen an.⁸² Zurückhaltende Unterstützung erhielten die Kläger für kurze Zeit aus dem Umweltministerium, entschieden wurden sie durch die thüringische Landesregierung unterstützt.⁸³ Der BSW, der schon 2011 verkündet hatte, in Fragen von Handelskonflikten aufgrund seiner Mitgliederstruktur nicht zuständig zu sein, erklärte auch 2012, dass er in der Sache neutral sei.⁸⁴ Die Generaldirektion Handel nahm im September gegen die Forderungen wesentlicher Mitgliedsstaaten und gegen die AFASE-Kampagne Ermittlungen auf. Anfang März 2013 begann sie, chinesische Importe durch den Zoll erfassen zu lassen, was allein zu einem geschätzten fünfzigprozentigen Einbruch in den Einfuhren führte.⁸⁵ Im Mai 2013 drang aus der Kommission in die Presse, dass ausreichend Belege für Dumping in den europäischen Markt vorlägen, um vorläufige Zölle von 47 Prozent zu erheben. Mitte Mai wandte sich die chinesische Regierung unter Androhung von Vergeltungsmaßnahmen öffentlich an die Europäische Kommission und signalisierte Verhandlungsbereitschaft.⁸⁶ Das Ergebnis der ein Jahr in Anspruch nehmenden Verhandlungen bestand in auf zwei Jahre begrenzten Einfuhrzöllen zwischen 27 und 65 Prozent, die ab August durch eine Selbstverpflichtung chinesischer Hersteller und des chinesischen Handelsministeriums ausgesetzt wurden, einen Mindestpreis von 56 Cent pro Wattpeak und eine Lieferbeschränkung von 7 GWp auf Importe in die Europäische Union unter der

81 Hans-Josef Fell, 2012: *Solarmärkte nicht abschotten*. Blogbeitrag, 1. Juni. Berlin.

82 Deutscher Bundestag, 2012: *Antrag: Energiewende sichern – Solarwirtschaft stärken*. 17/9741. Berlin.

83 Siehe etwa Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Technologie, 2013: *Positionspapier zum zweiten Thüringer Energiegipfel*. Erfurt, 21. Vgl. auch die Branchenstimmen in: Solar-Kompromiss mit China ist Aus für Thüringer Hersteller. In: *Thüringer Allgemeine Online*, 2013, 31. Juli.

84 Bundesverband Solarwirtschaft, 2011: *Hintergrundpapier zur weltweiten Wettbewerbssituation der Photovoltaik*. Berlin; Photovoltaik-Verbände für schnelles Ende des Handelsstreits. In: *PV Magazine Online*, 22. August 2012.

85 Europäischer Rat, 2013: *Durchführungsverordnungen des Rates 1238/2013*. In: *Amtsblatt der Europäischen Union* 56, 325/1–325/223, 325/52.

86 China Calls for Dialogue, Consultation to Address EU Trade Dispute. In: *PV Magazine Online*, 13. Mai 2013.

Bedingung hinzunehmen, dass die GD Handel eine zweite anhängige Klage, ein Antisubventionsverfahren, ohne zusätzliche Zölle beilegte (Kohoutek 2013: 9). Dieser Kompromiss kann, gemessen an den Ermittlungsergebnissen der Kommission, als Beinahe-Niederlage der Befürworter verstanden werden. Immerhin erkaufte sich die Kommission mit ihr Zustimmung vor dem Europäischen Rat für eine Verlängerung der provisorischen Handelsbeschränkungen, auch wenn die Beschwerdeführer des Verfahrens unmittelbar eine Klage vor dem Europäischen Gerichtshof gegen die Regelungen ankündigten.⁸⁷

In gewisser Hinsicht erlebten die neuen Umweltbranchen in den Handelskonflikten seit 2011 *zum ersten Mal*, dass Industrie- und Sektorpolitik ebenso häufig aus politischen Korrekturmaßnahmen von aus dem Ruder laufenden Marktdynamiken, der Glättung von Marktschwankungen und der Sicherstellung von Interessenausgleich bei Marktverschiebungen besteht, anstatt nur aus dem Einsatz für niedrige Verbraucherpreise und die politische Förderung. Eine leidige Tatsache, die ihren politischen Widersachern im Umfeld der Branchen für die Verarbeitung fossiler Rohstoffe, die Kernkraft und die Energieversorgung im Ganzen historisch nur allzu gut bekannt war. Man denke an die deutsche Kohle-, die amerikanische Gas- und Öl- und die französische Atompolitik. Dass die Konflikte in der Branche im Jahr 2012 zur Eskalation führten und plötzlich im Zentrum internationaler Handelskonflikte standen, ging allerdings nicht nur auf die sektorpolitische Unerfahrenheit der Fürsprecher der Technologie zurück. Vielmehr brach der stille Konsens zwischen verschiedenen Interessen an der Photovoltaik in Verteilungs- und Zielkonflikten auf, als die Akteure sie im gemeinsamen Einsatz für die Nachfrageförderung nicht mehr vertagen konnten. Schließlich ergab sich die paradoxe Situation, dass die deutsche Gesellschaft ge-

87 EU ProSun, 2013: *Europäische Solarindustrie klagt gegen Kompromiss im Handelsstreit mit China*. Pressemitteilung. Brüssel. Der Mindestpreis, der am unteren Ende der zur Zeit der Einigung in Europa üblichen Preise lag, sowie die Zusammensetzung der unterstützenden Mitgliedsstaaten, die (trotz Übernahme von Sunpower durch Total und dem Bosch-Werk in Vénissieux) nicht für eine florierende Solarindustrie bekannt waren, lässt vermuten, dass im europäischen Antidumping-Verfahren stark »über Bande gespielt« wurde, dass der Solarfall Teil einer komplexen Auseinandersetzung war. Wie genau die Interessen in dem Verfahren verteilt waren, müssen spätere historische Studien herausarbeiten. Faktisch waren die Dumping-Verfahren für Solarmodule Testfälle für die Handelsdiplomatie für Umweltgüter der nächsten Jahrzehnte. Was die neuen Regime protektiver Industriepolitik für grüne Energietechniken interessant macht, ist, dass sie in keinem Land und in keiner Branche ohne Staatseingriffe und Subventionen gewachsen sind – dass übliche Standards für die Bewertung von Wettbewerbsverzerrungen schwer intuitiv greifen. Neben gelegentlichen industrieinternen Ermahnungen, etwa im Umkreis der European Photovoltaics Industry Association, internationale Fertiger müssten mehr für die Entwicklung ihrer Heimatmärkte tun (gemeint war die Nachfrageförderung durch ihre Heimatregierungen), existierten noch keine Konventionen, wie faire von unfairen und ausgewogene von schädlichen Beihilfen in dem Sektor zu bewerten sein könnten.

nau in dem Moment, als die Technik weitgehend konkurrenzfähig zu konventionellen Energiequellen wurde, ihren Zubau zurückfuhr und ohne signifikante Fertigungsindustrie, mit Handelsspannungen und mit den Zahlungsverpflichtungen der dreijährigen exzessiven Zubauschwemme dastand.

Der genauere Blick auf die Entwicklung in Deutschland *nach* der Durchsetzung legt eine interessante Sequenz industrieller Entwicklung frei. Der außergewöhnliche Erfolg der industriellen Skalierungsbemühungen im Besonderen sowie der grünen Energiepolitik im Allgemeinen hat nicht nur, wie Hermann Scheer es während der Planungen des EEG ausgedrückt haben soll, »Wall Street« dazu gebracht, seine »solar energy revolution« zu finanzieren,⁸⁸ sondern eine globale Schwemme von Akteuren in den Sektor gezogen, von chinesischen halböffentlichen Banken und der großen Anzahl ostasiatischer Entwicklungsstaaten über kalifornische Halbleiterkonzerne bis zur globalen Finanzindustrie – mit den entsprechenden Konsequenzen für die eher kurze kooperative Harmonie in der Industrie. Im Konzert mit einer Reihe weiterer globaler Förderinitiativen machte das deutsche Fördersystem aus dem ökologischen Versuchsfeld einen professionell umkämpften globalen Markt, mit allen Folgen, die dies für öffentliche Güter in der Industrie hatte. Die zerklüftete Struktur der Branche und Unterstützer in Deutschland wandelte sich ins Pathologische – gerade wegen ihrer oberflächlichen Stabilität. Durch sie wurde jeder Ansatz zur Anpassung von Fördersystem und Industrie im Keim erstickt. Unter fragmentierten Händlern und Installateuren und im äußerst »unbürokratischen« Förderregime verfiel die Preisdisziplin mit zunehmenden Importen und gleichzeitigen politischen Disziplinierungsversuchen völlig. Und im globalen Rennen um Größenvorteile und Kapazitätsauslastung fuhren sich die verschiedenen Interessen in einer Allmendetragödie um die »Wagenburg-EEG« fest.⁸⁹ Es waren, dieses Sequenzmuster ist oben formverwandt schon für die amerikanische Branche beschrieben worden, mit seiner Durchsetzung auseinanderdriftende Interessen, die das Unterstützungsregime schließlich so unbeweglich werden ließen, dass es in Förderinschnitten, öffentlichen Konflikten und Handelsstreitigkeiten endete.

88 Michael T. Eckhart, 2011: SolarBank. In: Wolfgang Palz (Hg.), *Power for the World. The Emergence of Electricity from the Sun*. Singapur: Pan Stanford, 258–295, 292.

89 Das Bild der »Wagenburg« ist eine Paraphrase aus einem Brandbrief von: Karl-Heinz Remmers, 2012: Intern zu wissen, dass es gut ist, reicht nicht! In: *PV Magazin Online*, 2. April.

Kapitel 8

Große Hoffnungen und brüchige Koalitionen

As long as there's no find, the noble brotherhood will last.
But when the piles of gold begin to grow,
that's when the trouble starts.
(Howard in: *The Treasure of the Sierra Madre*)

Bei der Betrachtung der über einhundertjährigen Wirren um die Sonnenenergienutzung sollte das Gesamtbild nicht außer Acht gelassen werden. Zu Beginn des 21. Jahrhunderts sah es zum ersten Mal ernsthaft so aus, als sei die »Wunschenergie Sonne« (Bernd Stoy) von der erzählten zur energiewirtschaftlichen Realität geworden. Im Jahr 2012 wurden weltweit geschätzte 227 Milliarden US-Dollar in Kapazitäten zur regenerativen Energieerzeugung investiert, 140 Milliarden davon allein in Anlagen zur direkten Sonnenenergienutzung, gegenüber nur noch 262 Milliarden US-Dollar an Investitionen in Anlagen zur Verbrennung fossiler Brennstoffe.¹ Für die USA liegen Schätzungen vor, nach denen der Sektor für regenerative Energien im Jahr 2009 der drittgrößte Empfänger von Wagniskapital geworden war, gleich hinter der Informations- und der Biotechnologie.² Die globale industrielle Anziehungskraft der regenerativen Energien war das Ergebnis der vierzigjährigen Geschichte aus Versuchen der verschiedensten Reformbewegungen, energiewirtschaftliche Pfadabhängigkeiten zwischen kapitalistischer ökonomischer Organisation und internationaler Staatenkonkurrenz mit den neuen alten Technologien auszuhebeln. Und in beeindruckender Geschwindigkeit gelang es im ersten Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts ansatzweise, genau die Kräfte, die man für die energiewirtschaftlichen Miseren verantwortlich machte, gegen sie zu wenden – wirtschaftliche Staatenkonkurrenz und kapitalistische Profitsuche für die ökologische Reform der weltweiten Energiever-

1 Siehe Renewable Energy Policy Network, REN21, 2013: *Renewables 2013. Global Status Report*. Paris, 61, 63. Die globalen Investitionen in regenerative Energien waren – wie schon 2012 und mit Ausnahme der Geothermie – nach neueren Schätzungen im Jahr 2013 leicht rückläufig. Siehe Renewable Energy Policy Network, REN21, 2014: *Renewables 2014. Global Status Report*. Paris, 67–70.

2 Zu den Schätzungen den auch ansonsten sehr einsichtsreichen Aufsatz: Joshua Green, 2009: Better Luck this Time: The Elusive Green Economy. In: *Atlantic Monthly* 304, 78–86.

sorgung zu mobilisieren. Vor dem Hintergrund der langen Geschichte kläglich gescheiterter Versuche, modernen Gesellschaften die langfristige Rationalität in der Gestaltung ihrer Energieversorgung über selektive Regularien, Verbote und Verteuerungen anzuerziehen, bietet die neue industrielle Dynamik der regenerativen Energien zumindest einen möglichen Ausblick, dass sich moderne Gesellschaften in der Energiefrage entsprechend ihren eigenen Wertekanons und entsprechend ihren eigenen politischen Zielvorstellungen entwickeln.

Verstärkt seit dem Jahr 1973 versuchten Aktivisten sowie Regierungen mit allen möglichen Mitteln, von der öffentlichen Anklage und dem ethischen Appell über direkte Subventionen und Forschungs- und Koordinationsleistungen bis hin zur großflächigen Einrichtung künstlicher Marktchancen, eine Investitionsdynamik im Feld der jeweiligen Technologien loszutreten. Dass ihnen das schließlich gelang, macht die lange Geschichte wiederkehrender Rückschläge nicht uninteressanter, noch sollte, wie oben in Kapitel 1 dargelegt, die Erfüllung der ursprünglichen Ziele dazu verleiten, dass alles, was zuvor geschah, einem unilinearen Prozess inkrementellen *nursings* in der Nische subsumiert wird. Die Ursachen der wechselvollen Geschichte der Kommerzialisierung der Photovoltaik sind nur bedingt idiosynkratisch. In Teilen gehen sie auf strukturelle Zusammenhänge zurück, die in einer Reihe von politischen Reform- und industriellen Organisationsprozessen wirken. Ich will mich hier abschließend mit der Einordnung der Entwicklung der Photovoltaikindustrie in zwei breitere Problemzusammenhänge beschäftigen. Erstens hilft sie, die Problemstellungen zu verstehen, denen sich ambitionierte Industriepolitik seit den 1990er-Jahren gegenüber sieht. Zweitens deutet die Photovoltaikindustrie auf eine Klasse dynamischer kollektiver Probleme, die in der neueren Wirtschaftssoziologie wie Politischen Ökonomie kaum Aufmerksamkeit erhält, aber in einer Vielzahl von Prozessen der Marktentstehung und der industriellen Entwicklung entwickeln kann.

8.1 Kollektive Requisiten der Industriepolitik

Zu den bemerkenswerten Aspekten der Entwicklung der Photovoltaik gehört der langsame Umschwenkprozess, mit dem die Technologie Reformbewegungen von üblichen Repertoires der gesellschaftlichen Problembewältigung in den Kommerz und in die transferbasierte Industriepolitik führte. Seit Mouchot hat es in der Geschichte der Solarindustrie selten an Überzeugungstätern gefehlt, die die großen Hoffnungen, die sich um die Nutzung der Sonnenenergie über die Jahrzehnte verfestigt hatten, Realität werden lassen wollten. Und zumindest seit dem Krisenjahrzehnt der 1970er-Jahre verfügte auch die Photovoltaik über eine

Reihe leidenschaftlicher Unterstützer, die sich in der Folgezeit in unterschiedlichem Maße koordiniert für ihre Durchsetzung einsetzten. Ursächlich ging der Versuch, gesellschaftliche Probleme mit der Technologie- und Industriepolitik auszuhebeln, größtenteils von der Koexistenz immer wieder neu angefachter gesellschaftlicher Forderungen zum Umbau der Energieversorgung industrieller Gesellschaften und der immer wieder aufs Neue erfahrenen kollektiven Unbeweglichkeit in der Energiefrage aus. Im Effekt half die Industriepolitik, die Förderung der Technik technokratisch durchzusetzen, Unterstützung von ihren leidenschaftlichen Ursprüngen zu entkoppeln und auf ein breiteres und stabileres gesellschaftliches Fundament zu setzen. In diesem Sinn war die grüne Industriepolitik eine zentrale institutionelle Innovation. Spätestens mit Beginn der 1970er-Jahre begründeten Unterstützer die Förderung der Photovoltaik ebenso häufig mit möglichen Arbeitsplatzgewinnen, Profiten, industriellen Lerneffekten und der internationalen industriellen Staatenkonkurrenz wie mit umweltpolitischen Motiven. Und spätestens seit den späten 1990er-Jahren hatten ökologische Bewegungen die Industriepolitik fest in den Grundkanon ihrer politischen Durchsetzungsstrategien aufgenommen.

Es ist fraglich, inwieweit das Kapitel der Industriepolitik für die Photovoltaik im Angesicht gegenwärtig üblicher Produktionskosten vorüber ist. Und möglicherweise trifft die seit dem Jahr 2012 immer häufiger geäußerte Hoffnung zu, Photovoltaik sei nun nach einem »wilden Kapitel der Anschubfinanzierung« eigenständig marktgängig. Dem widerspricht, dass all die Herausforderungen, derentwegen die Kommerzialisierung der Technologie überhaupt angegangen wurde, nicht bloß des vereinzelt Ausbaus der Sonnenenergie bedürfen, sondern, folgt man der *voice of science* transnationaler Klimaforschung, einer *massiven* Ersetzung des Kapitalstocks moderner Energieerzeugungs- und Verteilungsstrukturen unter *massivem* Zeitdruck (ganz zu schweigen von möglichen zukünftigen Entdeckungen weiterer Großgefahren im Energiebereich). Im Vergleich zu früheren Diffusionsprozessen neuer Technologien (etwa der Kommunikationstechnik) ist selbst bei konkurrenzfähigen Stromgestehungskosten mit Photovoltaikanlagen nicht zu erwarten, dass sie die Energieversorgung industrialisierter Gesellschaften kurzfristig im Ganzen revolutionieren. Die Energieversorgungssysteme industrialisierter Länder sind zumeist schon ausgebaut und befinden sich oft eher in einer Situation struktureller Angebotsüberhänge, ihre Transformation berührt eine schlicht unüberblickbare Zahl an Ansprüchen, Interessen und Verflechtungen, und Investitionszyklen in der Stromwirtschaft sind äußerst lang (vgl. Zysman/Huberty 2010: 2–3). Es ist mindestens Streitbar, dass ein Transformationsprozess von den benötigten Ausmaßen auch nur ansatzweise ohne weitere Transfers, ohne die Versprechen zukünftigen heimischen Industriewachstums, ohne die Aussicht auf heimische grüne Jobs und ohne die politisch-

ökonomischen Verschiebungen gemeistert werden kann, die die Vordenker einer grünen Industriepolitik sich von den jeweiligen Förderprogrammen erhofften. Außerdem ist die Abwendung von Umweltkatastrophen nicht der einzige Grund dafür, die grüne Industriepolitik nicht voreilig zu den Akten zu legen. Wie historisch jede Wasserscheide industrieller Entwicklung hat die Implosion von liberalisierter *service economy* und *ownership society* seit dem Jahr 2008 weltweite Suchbewegungen nach neuen Wachstumsmodellen angestoßen. Insbesondere in den angelsächsischen Vorreitern der Dienstleistungswirtschaft wird seit dem Jahr 2008 unablässig über die Möglichkeiten einer staatlich forcierten *Reindustrialisierung* diskutiert – nicht selten mit dem vagen Zusatz, dass diese Reindustrialisierung grüne Charakterzüge tragen soll. Die Unterauslastung von Kapital wie Arbeit in Wirtschaftskrisen wie dem Einbruch seit dem Jahr 2008 gibt der Politik ökonomisch einzigartige Gelegenheiten – und je nach politischer Haltung: besondere Verpflichtungen –, brachliegende Ressourcen zukunftsorientierten Verwendungen zuzuführen (zu diesem Argument: Abelshäuser 2014; Piore 2008). Und zumindest im Jahr 2014 sieht es in vielen Ländern so aus, als seien die verschiedenen regenerativen Energien unter den wesentlichen Empfängern dieser Ressourcen. Angenommen, Gesellschaften werden auch in Zukunft nicht von der öffentlichen Förderung grüner Innovationen und Investitionen – oder welcher Innovationen und Investitionen auch immer – lassen wollen, was lässt sich aus der wechselvollen Geschichte der Photovoltaikindustrie lernen?

Die letzte große Debatte zur Industriepolitik in den 1980er-Jahren war in der Sozioökonomik von einer Art progressiver Hoffnung geprägt, dass es in Europa nachhaltige Wege geregelter industrieller Restrukturierung gebe, die beiden Problemfällen der 1980er-Jahre vorzuziehen zu sein schienen: dem amerikanischen und britischen Wahn, auf der Suche nach wirtschaftlicher Erneuerung ein halbes Jahrhundert an sozialem Fortschritt zu zerschlagen, und der ostasiatischen Tendenz zum technokratischen Etatismus, Protektionismus und zum Export heimischer sozialer Problemstellungen (anstelle vieler: Katzenstein 1985). Statt über bloßes *targeting*, nationale Abschottung oder die politische Durchsetzung von Marktforderungen gegen heimische Stakeholder, restrukturierten sich Industrien in vielen europäischen Ländern kompensationsreicher, bedingt partizipativer, kollektiv abgestimmter und proaktiver. Eine wesentliche Bedingung koordinierter Stile der Industriepolitik dieser Zeit waren Institutionen, politische Traditionen und diverse Strukturen in der Verfassung von Industrien, die im Kern auf einen Satz von Fähigkeiten hinausliefen, wirtschaftliches Handeln zugunsten sektoraler, politischer und gesellschaftlicher Ziele einzuschränken oder gar zu beeinflussen. Versatzstücke dieser Art koordinierter Industrie- und Sektorpolitik fanden sich in der politischen Ökonomie der Photovoltaikindustrie nur selten. Die Industrie war trotz der fünfzigjährigen Entwicklungszeit

relativ jung; grüne politische Kräfte hatten nie eine gute Verbindung zu den zentralen Institutionen nichtliberaler Industrieregulierung;³ die zentralen Verbände der Branche interpretierten die jeweiligen Krisen ihrer Industrie auch auf ihren Höhepunkten offensichtlich überraschend beharrlich als PR-Probleme; und in der Politik der jeweiligen staatlichen Förderung zeigten sich in mehreren Episoden extreme Formen pluralistischer Polarisierung, öffentlicher Spaltung und populistischer Rhetorik.

Die dominanten Politikstile in der Förderung der Photovoltaik glichen den seit den 1990er-Jahren zunehmend verbreiteten Formen unverbindlicher politischer Akkumulationshilfen und enthielten relativ wenige koordinatorische oder regulatorische Elemente. Sie schnitten, anders gesagt, selten in die wirtschaftliche Freiheit relevanter Akteure, waren in Sprache wie materieller Gestaltung wenig kollektivorientiert angelegt und förderten die Industrie mit den verschiedensten Formen von – durchaus regelungsorientierten – Transfers. Der Einzug der Industrieförderung in die ökologische Energiepolitik ging einerseits zu erheblichen Teilen auf sektorale Spezifika zurück. Ob in der linkslibertären Gesellschaftskritik der 1970er-Jahre, der Umweltbewegung der letzten vier Jahrzehnte oder dem konservativen Ruf nach Energieautarkie: Der Energiesektor wurde in einer Vielzahl von OECD-Gesellschaften als weitgehend unregierbar durch regulatorische Vorkehrungen und klassisches *command and control* wahrgenommen. In mehreren Hinsichten erinnert der kommerzielle Reformeifer um die regenerativen Energien an die Resignation der *trust busters* mit dem sogenannten *power trust*. Nachdem sie auch nach ausgiebigster Recherche nicht durch die in Jahrzehnten der freien Energiewirtschaft ausgebildeten abenteuerlichen Verflechtungen steigen konnten, entwickelten sie in Teilen den Plan, sie einfach mit öffentlich finanzierten Wasserkraftwerken auszuhebeln. »[I]n time«, hat Hawley ([1966]1996: 329) die progressiven Hoffnungen zusammengefasst, »an abundance of cheap and easily accessible power might be forthcoming, power that would do more than any prohibitory law to promote decentralization, reinvigorate the hinterland, and encourage a society of small competitive units.« Die neuen Technologien und Industrien, dies wurde später nirgends so deutlich wie in den USA der späten 1970er-Jahre, sollten Beweglichkeit und gesellschaftliche Erneuerung angesichts der ständigen Ernüchterung in der kollektiven Kontrolle der Energieversorgung bringen. Komplexität, schiere Größe und institutionelle Eigensinnigkeit des Energiesektors seit den 1970er-Jahren – Ikenberry (1988b: Kap. 4–7) hat dies prägnant anhand der Liberalisierung des Ölhandels herausge-

3 Katzenstein (1989: 15) hat diesen oft beobachteten Konflikt, der sich in der grünen Industriepolitik nur teilweise auflöste, als Widerspruch zwischen den alten *politics of production* und den *politics of consumption* der Neuen Sozialen Bewegungen beschrieben.

arbeitet – zeigt der Politik wiederholt die Grenzen klassischer regulatorischer staatlicher Kapazitäten und klassischer nicht monetärer Anstöße zur Verhaltensänderung auf.

Die industriepolitischen Spielarten progressiver Energiepolitik sind andererseits Symptom und Seismograf einer übergreifenden Problematik der Regelung befreiter Märkte seit den späten 1980er- und 1990er-Jahren. Die Grundachsen politischer Industrieregulation wurden seit den späten 1960er-Jahren – mit etlichen regionalen Ausreißern und Sonderwegen – von zwei Wandlungen geprägt. Einerseits haben sich *alle* fortgeschrittenen politischen Ökonomien seit den späten 1960er-Jahren zunehmend an systematisch geplanten mikroökonomischen, selektiven und zukunftsgerichteten *policies* zur heimischen Industrieförderung versucht. Je nach Region und Zeitraum reichte dies von neuen Formen aktiver wirtschaftsorientierter Arbeitsmarktpolitik über gezielte Subventionen, Steuererleichterungen und Restrukturierungshilfen bis zur akkumulationsgenehmen Reorganisation der Bildungs- und Forschungspolitik unter Leitbegriffen wie dem »Humankapital«, der »technologischen Lücke« oder der »knowledge economy« (übersichtsweise: Block 2008; Chang [1994]1996; Kenworthy 1990; Mowery/Rosenberg [1989]1995; Paretzky 2003: Kap. 5; Schrank/Whitford 2009; Trischler 2001; Ziegler 1997: Kap. 1; Zysman 1977: Kap. 5). Andererseits wurden verstärkt seit den 1990er-Jahren Handelsschranken abgebaut und Möglichkeiten der Politik und intermediärer Organisation verringert, wirtschaftliche Freiheit praktisch einzuschränken. Teils über Auf- und Ausbau transnationaler liberalisierender Institutionen, teils als Resultat inner- und zwischenstaatlicher Prozesse und teils als Folge technischen und industriellen Wandels ist das klassische kollektive Arsenal zur Beeinflussung industrieller Entwicklung entscheidend eingeschränkt worden (anstelle vieler: Berger 2013b; Höpner et al. 2010; Scharpf 2006). Das gilt nicht nur für die klassischen Länderkandidaten liberaler Wirtschaftspolitik, sondern tendenziell auch für die ehemaligen Paradebeispiele staatlichen Interventionismus oder neokorporatistischer Regelung (vgl. etwa Amsden [2001]2004: Kap. 9; Tiberghien 2007; Streeck 2009b; Vogel 2006). Liberalisierung – und genau dies findet sich in der politischen Ökonomie der Solarindustrie wieder – hat nun in der Industriepolitik weniger dazu geführt, dass sich Politik aus der Wirtschaft heraushielt, als dazu, dass klassische Kontroll- und Regelungsmechanismen mit subtileren, verzweigten und für Marktakteure unverbindlicheren politischen Interventionsrepertoires ersetzt wurden.⁴

4 Eine lehrreiche Übersicht dieser Arsenale in nachholend industrialisierenden Entwicklungsländern gibt Amsden ([2001]2004: Kap. 9). Ein (erschreckendes) Beispiel für die *politics of industrial policies* im 21. Jahrhundert gibt die Reportage zur *Anspruchsinflation* um den Bau einer Batteriefabrik Teslas und Panasonics in Nevada von: Peter Elkind, 2014: Inside Elon Musk's \$1.4 Billion Score. In: *Fortune Magazine Online*, 15. November.

Tiberghien (2007) hat am Beispiel der Staatenkonkurrenz um globale Investitionsströme gezeigt, inwieweit sich transferbasierte Industriepolitik um die Gunst hochmobilen globalen Kapitals als eine Art über die Zeit prekärer *faustischer Pakt* darstellt. Der zentrale Balanceakt in der internationalen Konkurrenz um Investitionen bestehe für politische Stellen darin, ihren Gesellschaften mit Versprechen auf zukünftige Nutzen Kosten aufzubürden, Ressourcen abzurufen und etablierte Ansprüche auszutreiben und Investoren mit Versprechen auf zukünftige politische Kontinuität zu *commitments* und *confidence* zu bewegen. Die Logik – oder vielleicht besser die Kunst – neuerer industriepolitischer Mobilisierung besteht zu gewissen Teilen darin, faktisch rivalisierende Interessen ausreichend lange zu Konzessionen zu bewegen und Verteilungskonflikte mit mehrseitigen Versprechen auf eine bessere Zukunft latent zu halten. »Can political reformers survive and diffuse political costs long enough for the benefits to kick in? Can they provide strong enough signals to convince investors to bring in abundant capital, while reassuring voters long enough for tangible benefits to become visible?«, fasst Tiberghien (ebd.: 5) zusammen, was er die *golden bargains* nationaler Industriepolitik um globale Finanzströme nennt. In gewissem Maße lässt sich die Geschichte der Photovoltaikindustrie als Geschichte der Wirrungen und Probleme von Gesellschaften und politischen Systemen begreifen, die freie Wirtschaft in einen unsicheren technologischen Pfad zu drängen und ihre Investitionsentscheidungen zu beeinflussen, ohne aber über die dafür nötigen Durchgriffsmöglichkeiten zu verfügen. Sie stellt einen Fall diffiziler industriepolitischer Implementierung dar und erlaubt einen Blick auf mögliche Probleme in Situationen, in denen politische Ziele nur auf dem Umweg privatwirtschaftlicher Investitionsentscheidungen erreicht werden können, die für diese Investitionen praktisch geforderten Leistungen aber andere politische Ziele gefährden. In der Entwicklung der Photovoltaikindustrie findet sich nicht nur eine Reihe von Beispielen für genau die Spiele auf Zeit, die Tiberghien im Feld der Staatenkonkurrenz um globales Kapital beschreibt, sie erlaubt darüber hinaus zwei systematische Einsichten in die dynamischen Problemstellungen der Implementierung industriepolitischer Initiativen. Erstens zeigt sie, inwieweit Industriepolitik kein bloßes Problem »tiefer Taschen« oder nationaler Ausstattungen mit Ressourcen ist, sondern von politisch-ökonomischen Fähigkeiten abhängt, kollektive Dynamik um den Aufbau oder die Restrukturierung von Sektoren lebendig zu halten. »Tiefe Taschen« sind zumindest in nicht autoritären Gesellschaften ebenso sehr Folge wie Ursache gelungener industriepolitischer Implementierung. Zweitens lässt sich am Fall der Industrie lernen, wie plötzliche Ressourcenströme in Sektoren zweiseitige Folgen haben können – sie stellen Anreize für Investitionen, Verhaltensänderungen oder Innovationen bereit, können aber gleichzeitig zur Zerrüttung von Ordnungsstrukturen und

zur Unterminierung sektoraler Disziplin führen – mit ebenso zweischneidigen Feedback-Effekten auf industriepolitische Unterstützungscoalitionen.

Neuere Untersuchungen der Entwicklung der Photovoltaikindustrie seit der Jahrtausendwende haben richtig herausgestellt, dass es in ihr gelungen ist, industrielle Fertigkeiten anderer Sektoren wiederzuverwenden und praktisch zu rekombinieren (Berger 2013a: 132–140).⁵ Was früher als Problem der Technologie galt, nämlich der ausgeprägte Querschnittscharakter ihrer Herstellung zwischen verschiedenen Feldern in Chemie, Elektrotechnik, Werkzeugmaschinenbau, Materialwissenschaften und Physik, wandelte sich im Kontext der Hochskalierung zu einem Vorteil, indem ein Feld für die Wiederverwendung und Rekombination industrieller Fertigkeiten entstand. Eben deshalb, so die These dieser neueren Studien, gelang es in der deutschen politischen Ökonomie, mit ihrem verhältnismäßig breiten Satz *industrieller legacies*, und nicht in der US-amerikanischen, die Photovoltaikfertigung hochzuskalieren. Derartige Beschreibungen sind auf eine Art Krisendiagnose zugeschnitten, nach der der amerikanischen Ökonomie das abhandengekommen sei, was in deutschen industriepolitischen Debatten »die Wertschöpfungstiefe« der heimischen Industrie genannt wird. Ohne ein System breiter heimischer industrieller Fertigkeiten, so die These, wird die industrielle Hochskalierung neuer Technologien immer schwieriger. Die naheliegende politische Forderung dieser Diagnosen – die übrigens auch in den 1980er-Jahren sehr populär waren – ist ein Ruf nach einer Revitalisierung nationaler Industriepolitik für die Kultivierung einer breiten nationalen Fertigungsbasis, nach Bereitstellung fertigungsrelevanter Ressourcen durch den Staat. So treffend dieses Argument für die gegenwärtige Situation der amerikanischen Photovoltaikindustrie sein mag,⁶ so sehr unterschätzt es,

5 Jonas Nahms komparative Forschung zu den Industrien für Photovoltaik- und Windkraftanlagen in China, Deutschland und den USA arbeitet dies detailliert heraus. Was ich nicht teile, ist das komparative Argument dieser Forschungslinie und damit die Erklärung, warum die Industrien in Deutschland, Japan und China und nicht in den USA prosperierten. Insbesondere die Bedeutung der DOE-Programme der 1990er-Jahre kann für die Entwicklung der Branche nicht hoch genug eingestuft werden. Im Anschluss allerdings waren es die USA, die im Gegensatz zu Japan und Deutschland keine bundesweite Installationsförderung einrichteten, um die Ergebnisse dieser Arbeiten im Land zu halten. Siehe zu dieser Einschätzung auch Knights Aufsatz (2011).

6 Nur einige mögliche Einwände: Im Halbleiterbereich hat die amerikanische politische Ökonomie wesentlich tiefer reichende *industrielle legacies* und Fertigkeiten als etwa die deutsche. Ähnliches gilt für amerikanische Forschungseinrichtungen. Auch hatten amerikanische Firmen von Beginn an kein Problem damit, wesentliche europäische Kompetensträger zu übernehmen oder einzustellen. Applied Materials etwa übernahm das frühe Solpro-Mitglied Baccini, errichtete eine Niederlassung in Alzenau und warb 2007 den Geschäftsführer von Schott Solar ab, um seine Photovoltaiksparte auszubauen. Die größten amerikanischen Fertiger hingegen produzierten von Beginn an in ostasiatischen Entwicklungsländern, etwa Sunpower auf den Philippinen oder First Solar in Malaysia (eine Bewegung, die sich in den Handelskonflikten

wie anspruchsvoll es kollektiv ist, Rekombinations- und branchenweite Lern- und Entwicklungsprozesse, wie sie in der Photovoltaikindustrie seit Anfang der 1990er-Jahre stattfanden, anzustoßen, auf Dauer zu stellen und, wenn nötig, in turbulenten Umwelten flexibel zu erhalten. Und ohne gelungene industriepolitische Implementierung über die Zeit – der Fall Solyndra ist ein simples, aber sehr treffendes Beispiel – bleibt der Ruf nach kontinuierlicher und systematischer öffentlicher Unterstützung politisch realitätsfremd.

Es ist kein hinreichendes Bedingungs Bündel für die prosperierende Entwicklung von Industrien, dass sie im gemeinsamen Interesse der Industrieakteure ist, dass Akteure sich dieses gemeinsamen Interesses vergewissern, dass sie über die Ressourcen verfügen, ihre Pläne auch umzusetzen, und dass öffentliche Mittel ihnen dies erleichtern. Industrieordnungen, die branchenübergreifende inkrementelle Entwicklungsprozesse ermöglichen, haben einerseits den Charakter öffentlicher Güter, insoweit Firmen von ihnen profitieren können, ohne zu ihnen beizutragen. Andererseits stellen derartige Prozesse politisch-ökonomische Allmenden dar, in denen einzelrationale Strategien kollektive Dynamik unterwandern können. Die daraus erwachsenden kollektiven Handlungsprobleme lassen sich in dem diskutierten Fall der Fragmentierung und Lähmung im amerikanischen Förderprogramm beobachten. Grundlegende kollektive Organisationsprobleme in Innovations- und Entwicklungsprozessen sind alles andere als der Photovoltaik spezifisch. Eine Vielzahl industrieller Entwicklungsprozesse zeichnet sich dadurch aus, dass heterogene Akteure, Organisationen und Interessen über längere Zeiträume kooperieren und koordiniert handeln müssen, um mehr oder weniger geteilte und mehr oder weniger ausgesprochene Ziele zu erreichen. Was in der Photovoltaik hinzu kam, war, dass ihre Industrialisierung davon abhing, die wenig exklusive, stark von heterogenen Inputs abhängige und an sich wenig forschungsintensive kristalline Siliziumphotovoltaik mit unsicheren Erfolgchancen inkrementell in der Hochskalierung der Fertigung weiterzuentwickeln. Und es zeigte sich im Feld der kristallinen Siliziumphotovoltaik genau die Problemstellung, die Garud und Karnøe (2003) für die dänischen und amerikanischen Industrien für Windkraftanlagen nachgezeichnet haben. Im Fall der Windkraft waren es in Dänemark Residuen von *craft traditions*, die ressourcenmäßig vergleichbar unterausgestattete dänische Tüftler dazu brachten, kleine hobbymäßig entwickelte Windkraftanlagen in Verbundstrukturen

zwischen China, der EU, Indien und den USA noch verstärkt hat). In der amerikanischen Industrie zeigte sich tendenziell, wie jeder der wesentlichen neuen Fertiger weitgehend vereinzelt global Marktchancen und regulatorische Vorteile zu erjagen versuchte. Das hat aber wenig mit fehlenden industriellen Ressourcen zu tun, sondern viel mehr mit einer ausgeprägten Kultur legitimen *regime shoppings*.

hochzuskalieren. Die amerikanische Förderung hingegen war von kulturellen Residuen der NASA-Hightech-Traditionen und der amerikanischen Geschichte individuellen Unternehmertums im 19. Jahrhundert durchzogen, die den amerikanischen, mit Geld überschütteten Entwicklungskomplex von einem gescheiterten überdimensionierten Prototypen zum nächsten trieben (siehe auch Heymann 1998). Mit länderspezifischen technischen und unternehmerischen Traditionen hatte die Geschichte der Siliziumphotovoltaik – zumindest abseits der ERDA-Leitung und des SERI – im Kern weniger zu tun. Gerade das JPL und auch viele amerikanische Fertiger verstanden und kommunizierten ihre Entwicklungsprobleme vollständig. In den jeweiligen Ländern selbst unterschieden sich Entwicklungspfade gravierend zwischen Unternehmen. AEG/Telefunken, die ASE und Schott etwa blieben mit einigen Ausreißern über vierzig Jahre bei der inkrementellen Entwicklung der Siliziumphotovoltaik. Siemens hingegen wollte – trotz Angeboten der bayerischen Staatsregierung Ende der 1990er-Jahre, sie zur Hälfte zu finanzieren, und der erkaufte Weltmarktführung durch die Übernahme von ARCO Solar – keine weitere Fabrik in Deutschland errichten, bevor nicht ein technischer Durchbruch im Dünnschichtbereich erreicht werde. Vielmehr ähneln die Prozesse, die sich in den 1990er-Jahren in der Photovoltaikindustrie abspielten, im Ansatz denen, die die komparative Industrieforschung der 1980er-Jahre umgetrieben haben. Im Angesicht von Liberalisierung und der Krise fordristischer Produktionsmodelle hat diese Forschung in einer Reihe von Fallstudien herausgearbeitet, wie spezifische Industrien oder nationale institutionelle Regime (zumeist unintendiert) Bedingungen bereitstellten, die Firmen oder Sektoren in die verschiedensten Formen kollektiver Leistungserbringung drängten (unter vielen: Dore 1986; Herrigel 1989; Katzenstein 1985; Sabel et al. 1989; Streeck 1991). Es war ein diffuses Gemisch aus industriellen Verfallsdiagnosen, verhältnismäßig stark unter Druck geratenen oder schlecht ausgestatteten Fertigern, weiterhin bestehenden Hoffnungen auf zukünftige Potenziale, der wechselseitigen internationalen Beobachtung und einem Stück weit selbsterfüllenden Prophezeiungen, das in allen drei Ländern zu Formen konzertierter Entwicklung und Hochskalierung der Fertigung führte. Die Struktur der Photovoltaikindustrie um die Jahrtausendwende sah in vielen Hinsichten so aus wie jene industriellen Organisationsmodelle, die in der Forschung zur koordinierten Produktion in europäischen Fertigungsindustrien herausgearbeitet wurden. Dies gilt für das Zusammenspiel zwischen Institutionen, gesellschaftlichen und ökonomischen Rahmenbedingungen, inter- und intraorganisationalen Ressourcen sowie für die zahlreichen verbundförmigen Strukturen quer zu und entlang von Wertschöpfungsketten. Insbesondere waren die redundanten Kapazitäten in Forschung, Entwicklung und Produktion, die die Industrie über die 1980er-Jahre international geprägt hatten, einem in Grenzen koordiniert spezialisierten

Organisationsmodell gewichen. Sowohl in der praktischen Arbeitsteilung als auch mit der größeren Bedeutung kollektiver Ressourcen, wie etwa in der Forschung und Entwicklung, hatten sich genau jene verbundlogischen Strukturen ausgebildet, die man in Cherry Hill ins Auge gefasst hatte. Dieser Prozess ging allerdings kaum auf die institutionellen Ressourcen der deutschen politischen Ökonomie oder auf gemeinsame Ziele beteiligter Akteure zurück, sondern vielmehr auf die spezifische Situation und Geschichte der Industrie. Zeitgleich entstanden weitgehend familienähnliche Strukturen in Japan, mit etwas mehr Einflussnahme der Bürokratie und etwas mehr Gewicht auf relationalen Strukturen, und in den USA mit etwas mehr Gewicht auf einzelnen Firmeninteressen in öffentlich-privaten Joint Ventures.

Wichtiger noch als die industriell-technischen Folgen der Kontinuität in der Entwicklung der Photovoltaik seit den 1970er-Jahren waren ihre politischen Wirkungen. Die Durchsetzung neuer Energietechnologien war an sich schon ein gewaltiges Problem (weiteres Anschauungsmaterial bieten die Kernkraft, die Kohleverflüssigung und die Förderung von Schiefergas und Schieferöl). Der Energiesektor ist traditionell behäbig, von sehr langen Investitionszyklen geprägt, systemtechnisch relativ komplex, und die angeschlossenen Märkte für Brennstoffe neigen zu extremen Zyklen, was die kontinuierliche Politisierung ihrer Struktur – zumal durch nicht wirtschaftlich motivierte Außenseiter – enorm erschwert. Auch leiden neue Technologien mit Skalierungsbedarf in diesem Kontext an etlichen offenen Flanken für Angriffe politisch-ökonomischer Gegner – gelingt die Hochskalierung und Entwicklung im jeweiligen Problematisierungs- oder Investitionszyklus nicht ausreichend, ist die Zeitspanne bis zum nächsten oft zu lang, um zentrale technische und institutionelle Strukturen zu erhalten (zu diesem Problem in militärischen Kommerzialisierungsinitiativen für alternative Flüssigbrennstoffe: Weiss 2014: 141–142). Dennoch, in den frühen amerikanischen Programmen wie im deutschen Förderanlauf waren Reformer wiederholt erstaunlich erfolgreich darin, mögliche Interessenkonflikte im Sektor selbst wie im breiteren politischen Umfeld mit großen Versprechen zu schlichten und relevante Akteure in eine Art soziale Bewegung zu verstricken, in eine Art »multidimensional conspiracy« (Albert Hirschman). Und in beiden Fällen konnten politische Stellen dem Sektor jahrelang Serien an Signalen und kosten-trächtigen Hilfen gewähren, bevor politische Agitation gegen die Stützung der Industrie wieder anschlussfähiger wurde und die jeweiligen Versprechen ihre Anziehungskraft verloren.

Mit der Betrachtung der jeweiligen Kommerzialisierungsanläufe als prekäre Geflechte aus Erwartungen, Signalen und latenten Verteilungskonflikten lässt sich genauer eingrenzen, warum sektorale Agilität, Kohäsion und Restrukturierungsfähigkeit eine zentrale Rolle für die Entwicklung von *policy feedback* in

den jeweiligen Initiativen spielte. Über die Zeit hat etwa die zunehmende Unbeweglichkeit des Sektors in Deutschland aus dem ehemals breit unterstützten Transformationsprogramm stückweise einen Komplex werden lassen, der keines der seine Stützung legitimierenden Versprechen zu erfüllen schien. Jede ambitionierte Industriepolitik erzeugt außer unmittelbaren Profiteuren Kritiker, Gegner und die verschiedensten Konkurrenten – zumal in derart anspruchsvoll und transformativ angelegten politischen Unternehmungen wie der ökologischen Energietechnologiepolitik seit 1973. Wenn von »breiter Unterstützung« für *policies* gesprochen wird, sind dementsprechend zumeist vorteilhafte Ausprägungen relativer Aspekte politischer Verankerung gemeint, etwa geringe Mobilisierungsgrade aufseiten von Gegnern und relativ hohe aufseiten von Befürwortern, eine relativ niedrige politische Salienz der gegenwärtigen Kosten der jeweiligen *policy* und ein relativ hohes Vertrauen in zukünftige Chancen oder eine relativ günstige Struktur der Politisierung diffuser Gruppen (»der arbeitenden Bevölkerung«, »der Konsumenten«, »des Mittelstands«, »der Wirtschaft« usw.). Die Mehrfachkrise des deutschen Förderanlaufs war bloß wirtschaftlich nicht direkt relevant für die globale Entwicklung der Technologie. Ostasiatische Entwicklungsländer sind aufgrund ihrer industriellen Infrastrukturen, ihrer Finanzierungssysteme und ihrer Fähigkeiten im Umgang mit sehr großen Fertigungen in der Elektronik wahrscheinlich wesentlich besser geeignet, die Technologie inkrementell weiterzuentwickeln, als europäische Standorte. Und möglicherweise war die Krise des Förderanlaufs lediglich ein Ausdruck der beinahe natürlichen Tendenz kapitalistischer Produktion, industriellen Fortschritt in der Form von Wellen aus Euphorie und Depression hervorzubringen. Gesellschaftlich und politisch hat die Krise das Transformationsprogramm jedoch entscheidend geschwächt. Sie nahm dem Komplex um eine grüne Industriepolitik für die Photovoltaik zunehmend den Schwung, ließ Gegner zusammenrücken, Befürworter auseinanderdriften und machte die angehäuften Zahlungsverpflichtungen und die immer noch anschwellenden Transfers zu einem Politikum. Ab einem bestimmten Zeitpunkt existierte keine Interessengruppe mehr, die sich *nicht* in der einen oder anderen Form gegen die Beibehaltung der Solarförderung in ihrer alten Form ausgesprochen hatte. Die völlige Unfähigkeit des Sektors, sich zu restrukturieren und weiterhin glaubhafte Perspektiven bereitzustellen, dass die gesellschaftlichen Entbehrungen für die Förderung der Technologie nicht verpufften, ließ der Politik wenig Wahl, als Unterstützungsleistungen aufzukündigen und ihre Geschicke immer weniger an den Erfolg des Sektors zu koppeln. Zusätzlich bot die Legitimationskrise zahlreiche politische Angriffspunkte für langjährige Gegner der Förderprogramme. Und schon mit den ersten politischen Zweifelsbekundungen stockte wiederum die Investitionsdynamik.

Vor dem Hintergrund der in Kapitel 1 besprochenen Theorien des positiven *policy feedback* ist der Verlauf der industriepolitischen Programme in der Photovoltaik durchaus überraschend. Sicherlich hat nichts die Industrie immer wieder so gestärkt wie öffentliche Gelder. Das gilt für die staatliche Schaffung von Forschungsinfrastruktur und die frühen Blockkäufe wie für die späten Aufdachprogramme. Vergleicht man jedoch die Verfassung des Sektors zu Beginn der jeweiligen Programme mit der zur Zeit ihrer Krisen, fällt vor allem auf, dass sich die relevanten Akteure *ohne* Ressourcenflüsse wesentlich einfacher auf ein gemeinsames Ziel ein schwören ließen, dass sie sich agiler zeigten, gemeinsame Probleme zu bearbeiten, und dass ein gewisser Grad an produktiver Moderation im Sektor herrschte. Mark Mizruchi hat in seiner neueren Forschung zum amerikanischen *corporate liberalism* darauf hingewiesen, dass der als relativ robust geltende Zusammenhang zwischen der Einigkeit von Gruppen und ihrer kollektiven Handlungs- und Durchsetzungsfähigkeit nicht umgekehrt gelten muss (Mizruchi 2013).⁷ Mit der Durchsetzung gemeinsamer Ziele, so die Idee, können Gruppen zerfasern und fragmentieren und damit zu einem späteren Zeitpunkt die Handlungs- und Durchsetzungsfähigkeit einbüßen, die sie zu einem früheren Zeitpunkt ausgezeichnet hatte. Mizruchi zögert, die sozialen Mechanismen zu spezifizieren, die Prozessen des *fracturing*, wie er sie beschreibt, zugrunde liegen können (ebenso die letzte große Diagnose des *fracture* im letzten Drittel des 20. Jahrhunderts von Rodgers 2011). Anhand seines empirischen Falls stellt er vor allem auf das mobilisierungstechnische Vakuum ab, in dem sich Kollektive wiederfinden, sobald ein Ziel erreicht ist (Mizruchi 2013: 18–19; aufbauend auf Meyer 2008: 62–65). In mancher Hinsicht spielten sich derartige Dynamiken auch im Feld der Photovoltaik ab – man denke etwa an Scheers Sorge, die ethische Grundierung der Programme könne verloren gehen, oder an die amerikanischen Investitionsklemmen, die entstanden, sobald öffentliche Mittel geflossen waren. Zum anderen lässt sich in den Episoden der Photovoltaik ein weiterer Mechanismus finden, der relevanter für die Industrie- und Technologiepolitik ist.

Die frühe Photovoltaikindustrie ähnelte aus technologischen, politischen und idiosynkratischen Gründen in vielen Hinsichten jenem Typ von Industriestruktur, der seit den 1980er-Jahren für immer mehr Bereiche industrieller Produktion charakteristisch ist. Sie war weniger von hierarchischer Organisation geprägt und mehr von praktischen Verflechtungen, Entwicklung hing wesentlich vom Lernen über Organisationsgrenzen hinweg ab und ihre Governancestrukturu-

7 In der Politikwissenschaft wird die präzisere Formulierung des Zusammenhangs zwischen *unity* und *power* von Interessengruppen Robert Dahl (1958) zugeschrieben. Er findet sich implizit oder ausgesprochen durchweg in der langen Tradition politischen Denkens über die politische Gewaltenteilung und über Systeme aus *checks and balances*.

ren enthielten verhältnismäßig wenige dirigistische Elemente (historisch: Berger 2006; Best [1990]1993; Helper/MacDuffie/Sabel 2000; Powell 1990). Wie Josh Whitford zuletzt mehrfach gezeigt hat, sind diese industriellen Ordnungsmodelle enorm anfällig für Verschiebungen in Machtgefügen und für kurzfristig rationale Firmenstrategien, für verschiedene Formen des *network failure* (vgl. etwa Schrank/Whitford 2011; Whitford 2011). Auch wenn Kooperations- und koordinierte Spezialisierungsbeziehungen Firmen klare und kommunizierte Vorteile bieten, so Whitfords Beobachtungen, bleiben diese Ordnungsstrukturen einerseits deshalb prekär, weil sie auf der dynamischen Kompatibilität zwischen unternehmensinternen Strukturen, interorganisationalen Beziehungen und weiteren gesellschaftlich-institutionellen Umwelten aufbauen. Dies ist weitgehend kompatibel mit der These der vergleichenden Kapitalismusforschung, wonach es koordinierte Formen der Produktion in liberalen institutionellen Regimen relativ schwer haben. Andererseits, und für die politische Ökonomie der Photovoltaikindustrie relevanter, haben koordinierte Spezialisierungsgefüge den Charakter einer prekären Allmende. Opportunismus, unilaterales Ausscheren, exzessive Ambitionen und Vertrauenszersetzung können sich zu Kaskaden verdichten, mit denen nicht hierarchische Ordnungen von Industrien zerfasern. In Teilen war es schlicht der explosiv wachsende Markt für Photovoltaikanlagen und das gleichzeitige Fehlen effektiver Formen kollektiver Regelung, mit dem die koordinierten Strukturen in der deutschen Industrie stückweise erodierten. Es ist alles andere als selbstverständlich, dass sich Lieferanten von Produktionsmitteln angesichts eines Aufschwungs einer Branche sogleich in Aktiengesellschaften wandeln und spezialisierte Forschungszentren von den Dimensionen errichten, die denen ihrer Kunden ähneln. Auch orientierten sich die deutschen Zellfertiger im schnell wachsenden Markt, mit Ausnahme der Tochterunternehmen großer Konzerne, viel mehr am Neuen Markt als an den risikoscheuen Residuen der Spielarten des deutschen *patient capital* – und ob letztere ihnen ein derart schnelles Wachstum erlaubt hätten, ist durchaus fraglich. Ein Großteil der Fertiger expandierte mengenmäßig, vertikal wie horizontal in einem Maß, das in vielen Hinsichten einem Versuch glich, einen »Weltkonzernstatus« in einem »Leitmarkt des 21. Jahrhunderts« zu erzwingen. Und zuletzt reklamierten auch etliche Großhändler und Systemhäuser möglichst weitreichende Anteile des neuen Marktes praktisch für sich. Auch sie wandelten sich regelmäßig in Aktiengesellschaften, versuchten, Module unter ihrer eigenen Marke zu verkaufen und expandierten international. Vertikal wie horizontal bildeten sich im Rennen um Startvorteile im neuen Leitmarkt mit Redundanzen durchzogene Geschäftsmodelle aus. Derartige Reaktionen auf Unterstützungsprogramme sind das genaue Gegenteil jener Befürchtungen früher Förderer der Technologie, Förderung durch *demand pull* würde die Industrie auf die existierenden technologischen Varianten festlegen

und in eine kollektiv koordinierte Ausschlichtung des jeweiligen Fördersystems führen (siehe zum Verhältnis von *exploration* und *exploitation* in Reaktion auf Nachfrageförderprogramme in der Solarindustrie: Hoppmann et al. 2013). Der diesen Vorgängen zugrunde liegende Prozess besteht darin, dass in schnell und unübersichtlich wachsenden Märkten Verteilungsfragen aufgeworfen werden, die im Vergleich zum technologieorientierten Aufbau einer Industrie ein gewandeltes Feld an Konfliktpotenzialen und Koordinierungserfordernissen öffnen. In der Photovoltaikindustrie wurde dieses Problem nach den exzessiven Kapazitätsinvestitionen sowie in der weitgehend stockenden Rationalisierung und Konsolidierung nach dem Jahr 2009 noch dadurch verschärft, dass kaum eine Firma, Regierung oder Investorengruppe nur aufgrund »gegenwärtiger Einkommen« in der Industrie aktiv war – sie alle hofften vielmehr auf die Profite des zukünftigen großflächigen Durchbruchs. Das Problembündel, das sich aus der Gestaltung von Positionierungsgefügen im Hinblick auf zukünftige Marktchancen ergab, war einer der Gründe dafür, dass sich über die Jahre des Wachstums Spannungen zwischen verschiedenen Industriesegmenten aufbauten, die sich in der Strukturkrise und angesichts der zunehmenden Unfähigkeit der Branche, sich in den Verhandlungen zum deutschen Förderregime durchzusetzen, in öffentlichen Konflikten und schärferen Schutzhandlungen entluden.

Was für die industriell-technische Dimension der Entwicklung der Industrie galt – und dies liegt näher bei Mizruchis Beobachtungen –, galt auch für die politische. Tendenziell haben Förderprogramme den Sektor nicht zusammengeweißt, sondern intern auseinandergetrieben. Der systematische Punkt, der sich aus der Photovoltaik für die Problemstellungen industriepolitischer Implementation lernen lässt, ist, dass plötzliche und gewissermaßen »nicht organische« Ressourcenflüsse in einen Sektor zwar Interessen verfestigen und Gruppen in die prinzipielle Unterstützung eines bestimmten industriellen oder technologischen Pfads treiben, gleichzeitig aber – bei ausbleibenden gegenwirkenden Kräften – mit der Verfestigung handfester materieller Interessen Agilität und Governancefähigkeiten vermindern. Sie wirken zeitversetzt entgegengesetzt auf die Natur und die Struktur von *policy feedback* in geförderten Sektoren. In Teilen ist der Mangel gegenwirkender regulativer Kräfte ein übliches Merkmal europäischer industriepolitischer Programme in jungen zivilen Industrien. Wie die meisten Industrien seit den 1990er-Jahren war die Photovoltaik früh in internationale Wertschöpfungsketten eingebunden, sodass koordinierte Interventionen in die Geschicke der Industrie verhältnismäßig schwer durchzuführen waren. Des Weiteren genießt Industriepolitik in der Bundesrepublik, den USA sowie in wesentlichen transnationalen Institutionen keinen guten Ruf, verläuft eher versteckt und hat nie ein wirkliches »institutionelles Zuhause« (Finegold/Skocpol 1995: 228) gefunden. In Deutschland wurde die Förderung der Industrie

und Technologie als gewollte Nebenfolge eines vor allem umweltpolitisch legitimierten Programms behandelt – woran die gerichtlichen Klagen zu seiner Abschaffung und die Politik der Europäischen Kommission nicht ganz unschuldig waren. Und die industriepolitischen Implementationsprobleme in der Photovoltaik erinnern an eine oft im deutschen Kapitalismus beklagte Ungeschicklichkeit, neue und gerne sogenannte »Zukunftsindustrien« zu kultivieren (siehe Junne 1989: 249). Mit leichter Verwunderung hat Herrigel (1989: 215) bemerkt, dass etliche der regionalen industriepolitischen Initiativen, innovative Regionen wie das Silicon Valley zu imitieren, von sehr simplen Modellen des bloß fördernden Staats und autarken Unternehmertums durchgezogen waren und in weitgehender Ignoranz der »dependence on extrafirm institutions and practices« der jeweiligen Vorzeigeregionen scheiterten.

In anderer Hinsicht hatte die Schwäche regulativer Kräfte im Umfeld der Photovoltaikindustrie historische und industriespezifische Gründe. Dem amerikanischen technologiepolitischen Komplex der 1970er-Jahre hat Kitschelt (1983: 292) eine in sich anarchische Struktur attestiert, mit der fast jede Initiative auf die politische Tagesordnung gelangte, allerdings so gut wie keine »zweckrational implementiert« wurde. Der aktivistisch in die Technologiepolitik eingreifende Kongress, verschiedenste Formen der partikularistischen horizontalen Politikverflechtung, über die schon Schlesinger bitter schimpfte,⁸ und eine ineffektive administrative Organisation ließen die Implementierung der Programme zu einem zerklüfteten, voluntaristischen und zunehmend chaotischen Vorgang werden. Gegenbeispiele aus den USA sind die industriepolitischen Initiativen des Militärs, das allein über seine Nachfragemacht einen wirksamen Hebel in der Kontrolle industrieller Entwicklung hat. In der Bundesrepublik hingegen, wo die Kontrollkomponente geordneter industriepolitischer Implementation zumindest in nicht allzu konzentrierten Industrien häufig über intermediäre Organisationen, regionale Institutionen und das Bankensystem geleistet wurde (Dyson 1984: 44; Herrigel 1989: 207–216; Katzenstein 1985: 68–69, 1987: 101–104; Shonfield 1965: 242–250; Vitols 1997), waren die Governance-Schwächen der noch jungen Industrie überwiegend nicht intendierte Folgen der Überschneidungen zwischen Politikfeldern. Der zentrale Verband der Solarindustrie in Deutschland ist nie zu einem regulativen Implementationsgehilfen im Hinblick auf industriepolitische Problemstellungen geworden. Und selbst in der Energie- und Umweltpolitik ließe sich fragen, ob er die heterogenen Interessen der Branche halbwegs übereinbringen konnte. Vielmehr überschritten sich in seinen Aktivitäten eine dominierende *Logik der Mitgliedschaft*

8 Siehe James R. Schlesinger, 1980: Whither American Industry? In: Martin Fedstein (Hg.), *American Industry in Transition*. Chicago: University of Chicago Press, 551–560, 555.

heterogener Industrieinteressen mit umweltechnischen und energiewirtschaftlichen politischen Zielen – der Einsatz für Förderung und öffentliche Werbung in Deutschland wirkte wie ein prägender Grundkonsens. Diese, anfangs politisch durchaus effektive und gewollte, Grundkonstellation fand sich formverwandt in der politischen Reaktion auf die Krise des Sektors – insbesondere im *gridlock* zwischen verschiedenen Länder-, Partei- und Ressortinteressen in der Restrukturierung des Fördersystems seit dem Jahr 2008. Zwar reagierte die Bundespolitik in Teilen treffend auf die vertikale Fragmentierung der deutschen Branche, als sie mit der Innovationsallianz Photovoltaik versuchte, Kooperation entlang der Wertschöpfungskette zu forcieren. Dieser Anstoß kam jedoch zu spät und auf dem Höhepunkt der Strukturkrise der Industrie in einer Zeit, in der mittelfristige Innovation das geringste Problem der Industrie war.

Beiden kollektiven Problemstellungen der Entwicklung der Solarindustrie, den Wechselspielen zwischen Förder- und Industrialisierungskontinuität und denen zwischen Kohäsion, politischer Durchsetzung und Fragmentierung, lässt sich ein Argument zur Industriepolitik anschließen. Insoweit sich Politik zur Erreichung gesellschaftlicher Ziele zu Transfers an Industrien hinreißen lässt, und damit die gesellschaftliche Fähigkeit zur Problembewältigung weitgehend an den Erfolg von Marktakteuren bindet, ist eine Reflexion über die Grenzen voluntaristischer industriepolitischer Programmimplementierung unerlässlich. Außer den oft beschworenen Gefahren transferbasierter Industriepolitik, etwa dem *hit and run* begünstigter Firmen, der Alimentation ineffizienter Strukturen, asymmetrischer Information und dem *regulatory capture* (zusammenfassend: Chang [1994]1996: Kap. 3.4), haben industriepolitische Programme offene kollektiv-sektorale Flanken. Diese lassen sich weder dauerhaft mit Transfers »zuschütten« noch lässt sich verlässlich darauf hoffen, dass sie spontan-voluntaristisch ausgeräumt werden. Zwar waren es gerade mangelnde Kapazitäten zur Beeinflussung wirtschaftlichen Handelns, die die Politik überhaupt in das technisch unsichere und politisch vermintete Feld der Industriepolitik führten. Der Fall der Solarindustrie deutet so mehr in Richtung eines genuinen Dilemmas als in die eines Problems technischer Gestaltung. Dennoch – und dies ist ein politisches Problem – zeigte sich in den jeweiligen Förderepisoden wiederholt, wie sich Konflikte um die Unterstützung der Industrie vor allem darum drehten, *wie viele* entgegenkommende Leistungen man ihr zubilligen sollte, und in den seltensten Fällen darum, auf welchem regelungstechnischen Weg, mit welchem institutionellen Design oder mit welchem System aus Konzessionen, Obligationen und Entschädigungen sich die Solarförderung halbwegs rational implementieren, restrukturieren und vor allem legitimatorisch durchhalten lassen könnte. Dass »der Markt« mit gegebenen Ressourcen schon aus der Technologie herausholen würde, was aus ihr herauszuholen sein könnte, wurde in den seltensten Fällen

praktisch hinterfragt. Michael Piore (2008) hat darauf hingewiesen, dass die Wiederentdeckung der Industrie- und Technologiepolitik seit dem Jahr 2008 in einer Art »intellektuellem Vakuum« stattfindet. Der Siegeszug des Marktes seit den 1980er-Jahren, so lässt sich seine Diagnose zusammenfassen, hat westliche politische Institutionen ein Stück weit das Handlungswissen und die gemeinsame Sprache über die öffentliche Kontrolle industriepolitischer Implementierung, ihre nicht intendierten Effekte und ihre mittelfristige kollektive Gestaltung gekostet. Dementsprechend sei auch die proaktivere Rolle, die westliche Staaten im beginnenden 21. Jahrhundert notgedrungen spielen, durchzogen von einem

belief that behavior is most effectively motivated and directed the way it is in our models of a competitive economy, that is to say by individual monetary incentives. This has not necessarily meant an acceptance of market outcomes, particularly on the left. But it has meant that even on the left there was a strong – perhaps a better term is overwhelming – presumption in favor of the market in the organization of activity, a presumption that outcomes should be corrected only after the fact through tax and transfer policies and not through direct intervention in the economic processes themselves. (ebd.)

Die Koordinaten einer Sprache, die die regelnde Dimension staatlicher und intermediärer Interventionen in die Entwicklung von Industrien wieder in den Vordergrund rücken, und dazu komme ich im folgenden Abschnitt, müssen nicht neu erfunden, sondern können teilweise wiederentdeckt werden. Sie prägten die ältere sozioökonomische Industrieforschung und ihren Sinn für die institutionellen Randbedingungen der Entwicklung von Märkten, für die Grenzen voluntaristischer Industrieregulierung und für die Vielfalt von Rückkopplungsprozessen zwischen staatlicher Intervention und industrieller Entwicklung.

8.2 Industrieordnungen, *policy feedback* und kontextuelle Generalisierung

In Kapitel 1 habe ich auf eine problematische Tendenz in der sozioökonomischen Forschung hingewiesen, Entstehung und Entwicklung von Industriestrukturen voreilig mit selbstverstärkenden Prozessen zu erklären. Die wichtigsten Theorien der Entwicklung von Industrien – Theorien effizienter Selektion, machtgestützten Designs und adaptiver Koalitionen, Strategien und Präferenzen – sind ihrer Anlage nach Gleichgewichtstheorien. Nach mehr oder weniger zähen Anpassungs- und Lernprozessen und mehr oder weniger intensiven Konflikten fallen in den jeweiligen gleichgewichtigen Ordnungen individuelle und kollektive Ziele zusammen (man denke an Chandlers Oligopole, Fligsteins Mischkonzerne und Halls und Soskices koordinierte institutionelle Regime). In der neueren Politi-

schen Ökonomie und Wirtschaftssoziologie ist in den letzten Jahren wiederholt beklagt worden, dass mit derartigen Gleichgewichtstheorien ein *neuer Determinismus* entstanden ist, der nicht weniger über die Vielfalt und dynamische Qualität wirtschaftlicher Ordnungen hinweggeht als die neoklassischen Modelle der Marktorganisation, gegen die man ursprünglich ins Feld gezogen war (anstelle vieler: Crouch/Farrell 2005). Diese Kritik durchzieht etliche Regional- und Sektorstudien, die Determinismus und Grobschlächtigkeit von Theorien nationaler institutioneller Regime beklagen (siehe etwa Berk/Schneiberg 2005; Crouch/Voelzkow 2009; Herrigel 2005); sie liegt neueren Untersuchungen zum institutionellen Wandel in kapitalistischen Gesellschaften zugrunde (etwa Streeck/Thelen 2005; Thelen 2010); und sie findet sich ebenso in der neueren wirtschaftssoziologischen Literatur zur Rolle von Unsicherheit und Konflikten in Organisationen und Märkten (zum Beispiel Beckert 2011; Stark 2008). Ich will hier an einen Vorläufer dieser kritischen Bewegungen erinnern – an die ältere Forschung zu Regelungsproblemen in industriellen Restrukturierungsprozessen. Mit ihrer Hilfe lässt sich die etwas vage Formulierung aus Kapitel 1, dass *policy feedback* in dynamischen sozialen Systemen kontinuierlicher Kultivierung bedarf, qualifizieren und systematisch einordnen. Die sozioökonomische Forschung der 1980er-Jahre war von Beobachtungen geprägt, dass ähnliche industrielle Anpassungszwänge und Restrukturierungsversuche in unterschiedlichen Kontexten zu gravierend unterschiedlichen Prozessen führten. Sie reagierte darauf konzeptuell mit einer erneuerten Problematisierung industrieller Ordnungsstrukturen und ihres Wandels. Methodologisch brach sie mit der Suche nach isoliert immer gleich wirkenden Faktoren und produzierte stattdessen Fallstudien, die nach den regional und zeitlich spezifischen Bedingungen fragten, die die jeweiligen Anomalien in beobachteten Wirkzusammenhängen erklären konnten.

Die Geschicke der Solarindustrie, der jeweiligen Unterstützerkoalitionen und der Förderregime hingen zu einem gewissen Grad vom Wandel sektoraler Ordnungsstrukturen ab. Dies begann bei den amerikanischen Problemen mit der koordinierten Industrialisierung und politischen Stützung, setzte sich fort in den Konsortien der 1990er-Jahre und tauchte im 21. Jahrhundert in Aufstieg und Krise des deutschen Förderregimes wieder auf. Keine dieser Episoden zeigte jene einfachen verstärkenden Wechselwirkungen zwischen individuellen Interessen, politischen Koalitionen, Strukturen industrieller Leistungserbringung und Erfolg, der stilisiert in den oben besprochenen Theorien des positiven *policy feedback* herausgestellt wurde. Ganz im Gegenteil, über die Zeit zersetzte vorläufiger Erfolg Strukturen sektoraler Ordnung im Wirtschaftlichen wie Politischen, was zu recht eigentümlichen Rückkopplungsbeziehungen zwischen den wesentlichen Komponenten von Pfadabhängigkeitsmodellen führte. Systematisch sollten derartige Beobachtungen nicht zu einer sozialwissenschaftlichen

Außenseiter- oder Kleinfirmenromantik verleiten. Die empirische Feststellung, dass die relative Schwäche von Firmen der Industrie kurzzeitig koordiniertere Formen der Produktion nahelegte, liegt weit entfernt von Aussagen zur generellen Schwäche marktmächtiger Firmen oder zur Stärke schwacher. Ebenso wenig könnte und sollte die Entwicklung der Solarindustrie dazu dienen, Theorien pfadabhängiger Entwicklung und des *policy feedback* in der Industriepolitik als solche zurückzuweisen.. Die weitaus robusteren Aussagen zu den Zusammenhängen von Ressourcen, industrieller Prosperität und politischer Unterstützung oder von öffentlicher Förderung und technologischer Entwicklung laufen mit ziemlicher Sicherheit entgegengesetzt. Um einordnend zu verstehen, warum bestimmte Faktoren in ihr zu bestimmten Zeitpunkten unerwartete Wirkungen hatten, muss die Industrie als historisch-institutionelles Gewächs betrachtet werden. Einerseits ging der Entwicklungspfad der Industrie auf ein vielschichtiges Bedingungsgeflecht zurück, das von technischen und ökonomischen Spezifika der Photovoltaik über die Sequenzen mehrerer Einschnitte in den Sektor bis zu den Wandlungen gesellschaftlicher Problemwahrnehmungen und politischer Gelegenheitsstrukturen über die letzten sechzig Jahre gereicht hat. Andererseits hing er an endogenen und inkrementellen Veränderungen über die Zeit. Wie der Sektor dann in verschiedenen Episoden auf die verschiedenen Schocks und Wandlungen reagierte, hing von genau jener Klasse kollektiver Regelungsfähigkeiten ab, deren Spielarten in der sehr fallnahen Forschung zur industriellen Restrukturierung in den 1980er- und 1990er-Jahren untersucht wurden.

In den 1980er- und 1990er-Jahren ist eine große Anzahl an politisch-ökonomischen und wirtschaftssoziologischen Studien entstanden, die sich mit den Erfordernissen, Möglichkeiten und Schwierigkeiten geordneter industrieller Restrukturierung befassten. Im Unterschied zu späteren analytisch gestrafften Nachfolgearbeiten – Fligsteins und Halls und Soskices Theorien sind gute Beispiele – arbeitete sich diese Forschungslinie an einer schier endlosen Fülle von Länder-, Regional- und Sektorstudien ab. Verantwortlich für diesen Forschungsstil waren in erster Linie historische Gründe. Fallnahe Studien industrieller Entwicklung sind in Ökonomik, Politikwissenschaft und Soziologie im Gefolge von größeren Umbrüchen der Strukturen kapitalistischer Produktion populär gewesen – etwa im späten 19. Jahrhundert (unter anderen Hovenkamp 1989; Morgan 1992), in der amerikanischen Zwischenkriegszeit (zum Beispiel Berk 2009; Rutherford 2011) und in den 1980er-Jahren (etwa Dore 1986; Hollingsworth 1991: 51–66; Piore/Sabel 1984; Streeck 1991).⁹ Was diese Wendepunkte industrieller Organisation jeweils auszeichnete, war eine schlagende Unsicherheit über

⁹ Dass eine Flucht in kompliziertere Betrachtungen keine zwingende Folge krisenhafter Einschnitte in regelungstechnische Wissensbestände ist, zeigt recht deutlich Rodgers (2011: 41–76)

lange Zeit für gegeben gehaltenes Regelungswissen – um 1900 etwa über die Entstehung von marktbeherrschenden Firmen in freien Märkten und in der Zwischenkriegszeit über die Regelungswirkungen unbeschränkter Konkurrenz. In den 1980er-Jahren bestanden Irritationen vor allem in den Wandlungen, die als Krise des fordistischen Produktionsmodells bekannt wurden. Durch welche einzelnen Verschiebungen auch immer – die üblichen Verdächtigen waren saturierte Märkte in westlichen Gesellschaften, vermehrte Markteintritte aus Entwicklungsländern, gestiegene Rohstoffpreise und ein Wandel von Konsumentenpräferenzen –, eine Vielzahl von Industrien entwickelte in den 1970er- und 1980er-Jahren grundlegende Restrukturierungs-, Reorganisations- oder Rationalisierungsbedarfe. Dieser geteilte Schock wurde allerdings in verschiedenen Nationen, Regionen, Industrien, Produzentengruppen und Firmen sehr unterschiedlich verarbeitet. Amerikanische und britische Fertigungsindustrien – so der landläufige Eindruck – hatten im Vergleich zu ihren Konkurrenten aus Europa und Ostasien erhebliche Probleme, der neuen Wirklichkeit entsprechende Produktionsmodelle zu institutionalisieren. Die Faktoren, die verschiedene Studien für komparative Vorteile in dieser Situation verantwortlich machten, streuten beinahe ebenso weit wie die jeweiligen Problemdiagnosen. Viele Arbeiten etwa stellten die Rolle betrieblicher, sektoraler, regionaler oder nationaler Kooperationsstrukturen und Abstimmungszwänge in den industriellen Beziehungen heraus, mit denen Industrien sich proaktiver restrukturieren konnten als in antagonistischen und fragmentierteren Regimen. Andere erklärten Fähigkeiten zu Qualitätsstrategien und flexiblen Produktionsprofilen mit kulturellen und institutionellen Besonderheiten, die breite Qualifikationen sicherstellten. Und wieder andere hoben auf Fähigkeiten und Zwänge zur konzertierten Problembearbeitung unter Konkurrenten, entlang von Wertschöpfungsketten und zwischen Politik und Industrie ab.¹⁰

Was einen Großteil dieser frühen Forschung bei allen Unterschieden zusammenbrachte, war ein Interesse an der Vielfalt, mit der gemeinsam erfahrene Schocks und gemeinsam zu bewältigende Herausforderungen zu völlig unterschiedlich verlaufenden politisch-ökonomischen Prozessen führten. Die Bedingungen, die in einer Vielzahl der Studien zur postfordistischen Restrukturierung für die Varianz in den jeweiligen Reorganisationsgeschicken verantwortlich gemacht wurden, bestanden in Strukturen, die die Balance zwischen dem Einfluss einzelner Interessen und dem des jeweiligen Organisationszusammenhangs ein

Nacherzählung der Wiederentdeckung einfachster ökonomischer Modelle in der amerikanischen Stagflation der 1970er-Jahre.

10 Eine noch immer recht umfassende und lesenswerte Übersicht dieser und weiterer Beobachtungen jener Forschungslinie findet man bei Dertouzos et al. (1989: Kap. 3–9). Eine historische Einordnung dieser Forschung geben Streeck (2009a: 6–34) und Herrigel und Sabel (1999: 82–95).

kleines Stück zugunsten des letzteren verschieben konnten.¹¹ Ob durch Stakeholderverschachtelungen, institutionelle Rigiditäten, kulturelle Strukturen, bestimmte Organisationszusammenhänge, geschickte politische Interventionsstile oder industrielle Lernprozesse bedingt: Die Vorzeigefälle der komparativen Industrieforschung der 1980er-Jahre waren von Strukturen geprägt, die Industrien zur kollektiv-rationalen Anpassung an eine sich wandelnde Umwelt bewegten. Hinter dem Augenmerk auf die kollektive Regelungsfähigkeit *in* Märkten stand ein systematisches soziologisches Argument zu den institutionellen Randbedingungen industrieller Entwicklung. Offensichtlich waren die Beziehungen zwischen individuellen und kollektiven Interessen und zwischen individueller und kollektiver Handlungsfähigkeit dann, wenn es um anspruchsvollere wirtschaftliche Regelungsprobleme ging, sehr vielschichtig und geprägt von unerwarteten Wendepunkten über die Zeit. In Zeiten notwendiger Restrukturierung galt der einfache Zusammenhang nicht mehr zwangsläufig, dass sich industrielle Probleme lösen lassen, indem Unternehmen, Branchen oder Staaten Hindernisse zur »individuell-rationalen Anpassung« aus dem Weg geräumt wurden (diverse Spezifizierungen und Anschauungsmaterialien finden sich in: Dore 1986; Dyson 1984; Esser/Fach/Väth 1983; Katzenstein 1985; Sabel et al. 1989; Streeck 1991).

In vielen Hinsichten war es genau dieser Punkt, der in der sozioökonomischen Anschlussforschung an die Studien der 1980er-Jahre fallengelassen wurde. Mit wenigen Ausnahmen entstanden aus den Einsichten der Forschung zu postfordistischen Transformationsprozessen Theorien unterschiedlicher Pfade wirtschaftlicher Vorteilssuche. Die in Kapitel 1 vorgestellten Theorien pfadbeständiger Entwicklung haben in die alten Beobachtungen prekärer Koordination und Kooperation in Industrien in gewissem Maße generalisierungsfähige Ergebnisse zu Ressourcenkompositionen und darauf aufbauenden Pfaden der Koalitionsformierung und Interessenverfolgung hineingelesen (vgl. Streeck 2009a: 26). Damit aber haben sie einen Großteil der interessantesten Beobachtungen der älteren Forschung zur Dynamik und Kontingenz industrieller Organisation ausgeklammert. Die *dichten Beschreibungen* nicht intendierter Nebenfolgen, kollektiver Handlungsprobleme, unvorhergesehener Schicksalswenden über die Zeit, von *fallacies of composition*, schlichter Dilemmata, pathologischer Formen der Pfadstabilität und der Mikropolitik industriepolitischer Implementierung sind in den neueren Theorien politisch-ökonomischer Organisation zugunsten theoretischer Klarheit ausgeblendet worden.

11 Das Argument zur Balance zwischen individuellen und kollektiven Einflüssen ist eine Paraphrase aus einer Untersuchung von Sabel et al. (1989: 387) zum Textilmaschinenbau in Baden-Württemberg in den 1980er-Jahren.

Die Geschichte der Kommerzialisierung der Photovoltaik enthält etliche Beispiele für den provisorischen Charakter industrieller Ordnungen und die Problematik koordinierter Anpassung in Industrien. Das beginnt bei den jahrzehntelangen Problemen kontinuierlicher inkrementeller Entwicklung und reicht bis in die Krise der deutschen Photovoltaikindustrie Ende des letzten Jahrzehnts. Die Entwicklung der Branche in Deutschland seit den späten 1990er-Jahren gibt einen guten Eindruck der Dynamik industrieller Ordnungen im Verlauf der Zeit. Die Ausgangsbedingungen der späteren wirtschaftlichen Probleme der Industrie stammen überwiegend aus den Erfolgen des koordinierten Industriesaufbaus in den 1990er- und frühen 2000er-Jahren. Die zähe Entwicklung der Industrie hat die Voraussetzungen für Folgeprobleme geschaffen, auf die sie bis in die Gegenwart nicht koordiniert reagieren konnte. Seit den 1970er-Jahren bestand ein wesentliches Problem der Zell- und Modulindustrie darin, Neuentwicklungen stabil in die Volumenfertigung zu überführen. Als Atlantic Richfield in den späten 1970er-Jahren einen Manager aus seiner Zentrale in seine Solartochter sandte, um ihr Kosteneffizienz beizubringen, legte der mit seinem Versuch, die Fläche der produzierten Zellen um einen *inch* zu erhöhen, für drei Monate die gesamte Fabrik still – mit dem Ergebnis, dass man zur zuvor gebräuchlichen Zellfläche zurückkehrte (Margolis 2002: 163–164). Ganz ähnliche Lernprozesse spielten sich noch in den späten 1990er- und frühen 2000er-Jahren in vielen Zellfertigungen ab, etwa bei Shell Solar, Q-Cells oder Schott Solar. Für Standardzellen marktüblicher und im Vergleich zu den frühen 1990er-Jahren durchaus ansehnlicher Qualität waren derartige Probleme Mitte der 2000er-Jahre beinahe branchenweit und global verschwunden. Ebenso wurden die zwanzigjährigen Garantien auf Module, auf die in Cherry Hill gehofft wurde, zum bloßen Standard beinahe jedes Zell- und Modulfertigers. Selbst vollkommen branchenfremde Investoren konnten im wachsenden Markt mäßig wettbewerbsfähige Modul- und sogar Zellfabriken betreiben. Dieser rasante Diffusionsprozess war keinesfalls naturwüchsig. Hier sei an die Klagen der deutschen Hersteller der frühen 2000er-Jahre erinnert, dass sie an die japanischen Fortschritte in der Fertigungstechnik »nicht dran kämen« oder an die Verzweiflung der JPL-Manager, weil die Industrie dem von ihnen ausgelegten Pfad nicht folgte. Die Diffusion von Fertigungswissen entstand aus der relativ offenen und kooperativen Harmonie im Wachstum der neuen Industrielandschaften, unter anderem in Deutschland. Während auf der einen Seite Fertigkeiten in der Herstellungstechnik breit diffundierten, waren Fertiger auf der anderen Seite regelmäßig von ihren Kunden durch *freie Händler* abgeschnitten. Auch diese Struktur lag nicht in der Natur der Sache. Sie ergab sich aus dem sehr fragmentierten und neuen Geschäft der Installation von Aufdachanlagen und der Geschichte

regionaler Initiativen und Förderprogramme und war unbestreitbar eine zentrale Bedingung für den Erfolg des deutschen Fördersystems.

Das aus diesen Entwicklungen folgende Problem, dass sich Fertiger zunehmend in einem Markt für allzu homogene Güter mit schärfster Preiskonkurrenz wiederfanden, wurde von einer Reihe von Eigenheiten der gehandelten Güter, der Struktur der Fördersysteme und der Struktur der Abnehmergruppen verstärkt. Es existierten keine wirklichen Produktzyklen für Photovoltaikmodule. Ihre Weiterentwicklung bestand aus einem diffusen, industrieweit unkoordinierten Strom an inkrementellen Qualitätsverbesserungen oder Preissenkungen.¹² Elektrizität an sich ist eines der homogensten Güter überhaupt (erst recht in einem Marktregime mit Abnahmegarantie und festen Preisen), und in der Bewertung verschiedener Technologien zu ihrer Erzeugung spielten – abseits ethischer, politischer und ökologischer Motive – immer die jeweiligen Stromgestehungskosten eine wesentliche Rolle. Zum Teil hat sich dies in die vorgelagerten Märkte für Photovoltaikkomponenten »hineingefressen«. Ausschlaggebend dafür war ganz wesentlich, dass die wichtigsten öffentlichen Fördersysteme zur Mitte des Jahrzehnts so gestaltet waren, dass sie für die Anlage von kleinen Ersparnissen attraktiv wurden – verhältnismäßig ungeschulte Abnehmer verglichen Solarmodule praktisch so, wie sie die Verzinsung von Geldanlagen verglichen. In der sozioökonomischen Literatur ist oft auf die Pathologien hingewiesen worden, die mit ungefilterter Preiskonkurrenz und allzu niedrigen *barriers to entry* einhergehen können (Beckert 2009: 257–258; Block 2012: 5–7; Grant/Streck 1985: 153–155). Die Entwicklung der Photovoltaikindustrie seit dem Jahr 2009 ist dafür ein Paradebeispiel. Nicht bloß deutsche, sondern Fertiger auf der ganzen Welt wurden durch die schädlich weitreichende Homogenität ihrer Produkte und nicht abreißende Industrieintritte in exzessive Kapazitätsrennen verwickelt, mit wiederum folgendem Druck auf Preise und wiederum folgenden Versuchen, den Preisverfall durch Größenvorteile abzufedern. Noch im Jahr 2013, das zeigen die Vorschläge des deutschen Forschungskomplexes zur Wiedererstarkung der deutschen Zellfertigung in einer Art europäischem »Solar Airbus«, war das wesentliche Mittel, mit dem Fertiger zurück in die Wirtschaftlichkeit gelangen wollten, die Kapazitätserweiterung. Zusätzlich, das zeigten die Verlagerungsbe-

12 Versuche, der Industrie eine gewisse kollektive »Taktung« zu geben, sind erst spät im Jahr 2010 im Umfeld des europäischen Arms des Photovoltaikablegers des Halbleiterverbands SEMI gemacht worden. Die Einbeziehung zumindest einiger weniger ostasiatischer Fertiger in diese Koordinierungsbemühungen ist erst im Jahr 2012 geglückt. Siehe zu den Anfängen dieser Bewegung: Semiconductor Equipment and Materials International, 2011: *International Technology Roadmap for Photovoltaics*. Berlin: SEMI PV Group Europe. Vgl. zur Bedeutung kollektiv koordinierter Innovationszyklen in der Halbleiterei Annabelle Gawers (2000) Dissertationschrift zur Branchenpolitik Intels.

wegungen deutscher Fertiger in ostasiatische Entwicklungsländer seit 2010 und die exorbitanten Summen, die Konzerne wie Bosch, General Electric, Hanwha oder Total und Staaten wie China, Deutschland, Japan, Malaysia und die USA für Chancen in der Industrie aufwandten, verstärkte der Preisdruck auf Hersteller die Tendenz zur ruinösen Investitionskonkurrenz unter verschiedenen Staaten und Konzernen. Nach der prosperierenden »Hochtechnologiebranche« mit »zukunftsfesten Arbeitsplätzen« sah der Sektor infolge der entstandenen scharfen Preiskonkurrenz an immer weniger Orten aus – und dass, obwohl die Nachfrage weiterhin mit Rekordwerten wuchs und die Photovoltaik nach sechzig Jahren der Entwicklung in vielen Einsatzarten schließlich konkurrenzfähig zu konventionellen Technologien zur Stromerzeugung geworden war.

In Teilen zeigt die Entwicklung der Industrie genau jenes Sequenzmuster aus hohen Profiten, hohen Investitionen und exzessiver Konkurrenz, das für kapitalintensive Branchen typisch ist. In Teilen allerdings ist die Entwicklung von erklärungsbedürftigen Besonderheiten geprägt. Es ist nicht selbstverständlich, dass sich eine Industrie derart tief in Kapazitätsüberhängen festsetzt. Ebenso wenig ist es selbsterklärend, dass eine Industrie auf scharfe Konkurrenz mit dem Aufbau zusätzlicher redundanter Strukturen und noch mehr Uneinigkeit in ihrer kollektiven Selbstregelung reagiert. Die Reaktion auf die ruinöse Konkurrenz in Deutschland lässt sich nur verstehen, wenn auf die politisch-ökonomische Geschichte des Preisverfalls geblickt wird. Die ersten breit anschlussfähigen Forderungen nach außerordentlichen Förderkürzungen im Jahr 2008 waren nicht durch Probleme der Überförderung oder des exzessiven Zubaus motiviert – letzterer hatte noch nicht stattgefunden und die Industrie strömte gerade nach Spanien. Vielmehr wurden Rufe lauter, das Gleichgewicht in der Branche dadurch wiederherzustellen, dass man das Fertigungssegment durch mehr Preisdruck »diszipliniert«. Sie zielten auf jene Art von sektorpolitischen Eingriffen »righting a temporary imbalance in power between buyers and suppliers«, die Schrank und Whitford (2011: 169) beschrieben haben. Als in den Folgejahren echter Preisdruck in den Sektor einzog, wurde er nicht nur anfangs in Politik und auf niedrigeren Stufen der Wertschöpfungskette sehr begrüßt; ganz gleich, wie schwer der Stand der Industrie im internationalen Wettbewerb um die deutsche Förderung über die Zeit wurde, erinnerte man noch immer an die Renditen der Jahre vor 2008. Die Industrie hatte öffentliche Legitimität und sektorweiten Goodwill verspielt, die ihr bis in die öffentlichen Debatten um die späteren Protektions- und Unterstützungsdebatten fehlen sollten.

Ein noch wichtigerer Aspekt ist, dass die Industrie zwischen 2009 und 2012 in der sektorpolitisch vollkommen dysfunktional gewordenen Abhängigkeit von der EEG-Förderung verharrte. Aus der Bundespolitik ging nicht eine ernsthafte Initiative hervor, der Industrie und den an ihrem Überleben interessierten Ko-

alitionen möglicherweise kostenträchtige oder politisch mühsame Perspektiven zu bieten und damit die EEG-Photovoltaikförderung aus der förmlichen Haft der verschiedenen sektoralen Interessen zu befreien. Mit der alten Forschung zur Restrukturierungspolitik der 1980er-Jahre lässt sich dieser Prozess genauer fassen. Weder in der Regierung noch in der Opposition oder der Industrie wurde versucht, die zunehmende Konkurrenz in der Industrie und die immer unvermeidlicher werdenden Rationalisierungs- und Restrukturierungsprozesse in halbwegs geordneten Bahnen *aufzunehmen*, statt sie mit für alle Seiten politisch nachteiligen Verhandlungslösungen über die Fördersätze aufzuschieben. Teilweise schien dies damit zu tun zu haben, dass sich viele politische Kräfte offenbar zu keinem Zeitpunkt klargemacht hatte, warum die Photovoltaik in Deutschland gefördert wurde – was erst zum Vorschein kam, als die alte Konsensformel nicht mehr galt, dass das Land, das für den größten Zubau sorgt, auch eine führende Industrie haben würde. Teilweise jedoch lag es daran, dass jede politische Koalition intern von so vielen konfligierenden Zielvorstellungen durchsetzt war, dass sich der Pfad zwischen verfallender Industrie, wachsenden Zahlungsverpflichtungen und weiteren politischen Attacken als allseits dysfunktionaler Minimalkonsens festsetzte. Wie oben anhand der Kritik an Modellen politisch-ökonomischer Pfadabhängigkeit beschrieben, bestanden historische Spielarten koordinierter Industriestrukturen seltener in statischen Ressourcenbündeln oder pfadkonditionierten Interessen als in Systemen der Interessenvermittlung, Regelbindung und der Verteuerung von *Exit*-Optionen angesichts kollektiver Probleme über die *Zeit*. In der Entwicklung der deutschen Photovoltaikindustrie seit 2009 mangelte es *nicht* an ausreichend breiten oder mächtigen Interessen, die den Anschluss an die Erfolgsgeschichte der Vorjahre anstrebten, sondern an simplen Regelungsfähigkeiten, die eine Vermittlung der verschiedenen Interessen und Koalitionen ermöglicht hätten, um das Gleichgewicht zwischen Industriepolitik, ökologischer Energiepolitik, Zubauzielen und Belastungsklagen neu zu bestimmen.

Mit kontextsensitiven Längsschnittanalysen von Industrien – mit einer ökonomischen Redewendung der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts könnte man auch sagen: mit *institutionalistischen Analysen* – lässt sich in Richtung von Piores Desiderat intellektueller Auseinandersetzung mit der Implementierung industriepolitischer Programme arbeiten. Der einfache Grund ist der, dass sich derartige Untersuchungen zulasten der Verallgemeinerung ihrer Ergebnisse auf die Wirkzusammenhänge in einzelnen Firmen, Sektoren, Regionen und Ländern einlassen und damit nach den Kontextbedingungen der Gültigkeit politisch-ökonomischer Wirkzusammenhänge fragen – nach genau jenen Komplikationen, die kontinuierliche Regelung notwendig machen und prägen sollten. Nicht zufällig erinnert Piore auf der Suche nach Ansatzpunkten einer Erneuerung der

Reflexion über die Technologiepolitik an die Figur des gemeinwohlverpflichteten *street-level bureaucrat*, an jene Beamten, die nah genug an gesellschaftlichen Sektoren arbeiten, um ihre Eigenheiten zu kennen und vermitteln zu können. Mit der Untersuchung empirischer Anomalien in Industrien als *historische Individuen* (Weber [1904/1905]1988: 309) lässt sich einerseits zurück zu gegenstandsadäquaten Einsichten in die Bedingungen gelungener industrieller Entwicklung finden. Sie verstellen allerdings andererseits den Weg zur Formulierung genereller Sätze über politisch-ökonomische Wirkzusammenhänge. Fallnahe Konzeptualisierungsarbeit in dynamischen und reflexiv gestalteten sozialen Zusammenhängen hat, gemessen an üblichen Ansprüchen an analytisch isolierte Generalisierungen, regelmäßig zu mehr Ernüchterung als Klarheit und zur Beschreibung von mehr Besonderheiten als systematisierbaren Mustern geführt. Institutionalistische Industriestudien – und das gilt für das späte 19. Jahrhundert ebenso wie für die Zwischenkriegszeit und die 1980er-Jahre – förderten einen reichen Fundus an kontextsensitiven, selten kohärenten, aber durchweg relevanten Einblicken in die Funktionsweise industrieller Entwicklung zutage – *mit dem Nutzen und Nachteil, dass sie die Dinge notorisch komplizierter als klarer machten*.¹³ Wenn überhaupt, dann eigneten sich ihre Ergebnisse der Form nach zu »contextualized comparisons« (Thelen/Locke 1995), »contextualized generalization« (Katzenstein 2003: 9) oder »historically conditional theory« (Paige 1999: 785).

Die sozioökonomische Forschung zur Entwicklung von Industrien bewegt sich für gewöhnlich mit dem Anspruch in die empirischen Gefilde der Ökonomik, dass sie deren Versuche, Tendenzen »zum Ende zu denken«, dem Realismus, der Sinn- und der Kausaladäquanz opfert. Sie sollte sich dementsprechend auch des Privilegs bedienen, ihre Schlussfolgerungen in institutionalistischer Form zu erarbeiten. An jeder Stelle der vorliegenden Studie, an der Beobachtungen kritisch gegen bestimmte Erklärungen, Modelle oder Theorien gestellt wurden, ging es darum zu zeigen, wie bestimmte Faktoren oder Entwicklungen in einem ganz bestimmten Kontext oder Bedingungsgeflecht anders, gar nicht oder entgegengesetzt wirkten, als in den jeweiligen Theorien impliziert wurde. Damit sind letztere Theorien nicht »widerlegt«, ja vielleicht nicht einmal grundsätzlich bestritten. Vielmehr ist es ihr Drang zur Generalisierung und zur Abstraktion, der im Kern hinterfragt werden sollte.

13 »Relativismus«, »Pseudo-Realismus« sowie »punktueller Fragen und Antworten« wurde vor allem der deutschen Historischen Schule der Nationalökonomie von ordoliberalen Ökonomen auf der Suche nach ihrer disziplinären Identität in der Nachkriegszeit vorgeworfen. Siehe dazu Ambrosius (1981: 169–170). Von institutionalistischen Erklärungen bis zur Beliebigkeit, das sollte dagege gehalten werden, ist es ein weiter Weg, der noch lange nicht mit Behauptungen beschritten ist, dass ein bestimmter Faktor in unterschiedlichen Zusammenhängen unterschiedliche Wirkungen hat.

Abbildungen

4-1	Berichterstattung der New York Times zu <i>solar energy</i> , 1850–2013	83
4-2	Prozentuale jährliche Anteile verschiedener Energieträger am Primärenergieverbrauch in Deutschland, 1950–1990	101
4-3	Prozentuale jährliche Anteile verschiedener Energieträger am Primärenergieverbrauch in den USA, 1950–1990	102
4-4	Prozentuale jährliche Anteile verschiedener Energieträger am Primärenergieverbrauch in Japan, 1953–1990	103
4-5	Jährliche weltweite Ölpreise und Ölproduktion, 1950–1990	108
4-6	Vorhersagen zum globalen Kernenergieausbau bis in das Jahr 2000 und tatsächlich laufende Kernenergiekapazität	113
4-7	Jährliche Energieforschungs- und Entwicklungsausgaben in Deutschland nach Technologiefeldern, 1974–1990	115
4-8	Jährliche Energieforschungs- und Entwicklungsausgaben in den USA nach Technologiefeldern, 1974–1990	116
4-9	Jährliche Energieforschungs- und Entwicklungsausgaben in Japan nach Technologiefeldern, 1974–1990	117
4-10	Jährliche Energieforschungs- und Entwicklungsausgaben für nicht nukleare neue Energietechnologien in Deutschland, 1974–1990 ...	142
5-1	Regionale Verteilung der Photovoltaikmodulproduktion, 1980–1993	191
5-2	Jährliche Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrations- ausgaben für Photovoltaik in Deutschland, Japan und den USA, 1980–2007	204
6-1	Bruttostromerzeugung mit regenerativen Energien in Deutschland, 1990–2013	240
6-2	Jährliche Photovoltaikinstallationen in ausgewählten Ländern, 2001–2014	248

7-1	Absatz, Umsatz und mittlerer jährlicher Preis für Photovoltaikmodule, 2001–2013	260
7-2	Umsatz- und Ergebnismeldungen ausgewählter Zellfertiger, 2008–2012	261
7-3	Beschäftigungsentwicklung in der deutschen Photovoltaikbranche, 2004–2013	263
7-4	Entwicklung der jährlichen Stromerzeugung, Auszahlungen und Differenzkosten nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz, 2000–2013	269
7-5	Jährliche Strompreisentwicklung in Deutschland, 1998–2012	270

Tabellen

4-1	US Energy Research and Development Administration: Forschungs- und Entwicklungsbudget, 1975–1977	119
4-2	Kennzahlen des ERDA/DOE National Photovoltaic Program und des JPL Low-Cost Silicon Solar Array Project, 1971–1988	132
5-1	Kennzahlen zur Förderung netzgekoppelter Photovoltaikanlagen in Deutschland, 1992–1996	186
5-2	Schätzungen zur Photovoltaikproduktion nach Firmen und Regionen, 1983–2002	188
5-3	Kennzahlen des Projekts Photovoltaic Manufacturing Technology (PVMaT)	196
5-4	Kennzahlen des japanischen Fördersystems für Photovoltaik, 1990–2005	201
5-5	Hintergrund in der Photovoltaikindustrie aktiver Branchen, in Prozent, 1983–2003	202
5-6	Öffentliche Projektförderung in der Photovoltaikbranche in Deutschland, 1994–2005	216
6-1	Schätzungen zur Photovoltaikproduktion nach Firmen und Regionen, 2003–2012	250
7-1	Firmenscheitern in der deutschen Photovoltaikfertigung, 2010–2013	262
7-2	Entwicklungstendenzen von Systempreis, Vergütungshöhe und Rentabilität kleiner Photovoltaikanlagen, 1994–2012	273

Literatur

- Abelshauer, Werner, 1984: *Der Ruhrkohlenbergbau seit 1945: Wiederaufbau, Krise, Anpassung*. München: Beck.
- , 1985: Kohle und Marktwirtschaft: Ludwig Erhards Konflikt mit dem Unternehmensverband Ruhrbergbau am Vorabend der Kohlenkrise. In: *Vierteljahreshefte für Zeitgeschichte* 33, 489–546.
- , 2009: *Nach dem Wirtschaftswunder: Der Gewerkschafter, Politiker und Unternehmer Hans Matthöfer*. Bonn: Dietz.
- , 2014: Der Traum von der umweltverträglichen Energie und seine schwierige Verwirklichung. In: *Vierteljahreshefte für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte* 101, 49–61.
- Altenburg, Cornelia, 2012: Wandel und Persistenz in der Energiepolitik: Die 1970er Jahre und die Enquete-Kommission »Zukünftige Kernenergie-Politik«. In: Hendrik Erhardt/Thomas Kroll (Hg.), *Energie in der modernen Gesellschaft: Zeithistorische Perspektiven*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 245–264.
- Ambrosius, Gerold, 1981: Die Entwicklung des Wettbewerbs als wirtschaftspolitisch relevante Norm und Ordnungsprinzip in Deutschland seit dem Ende des 19. Jahrhunderts. In: *Jahrbuch für Sozialwissenschaft* 32, 154–201.
- Amsden, Alice H., [2001]2004: *The Rise of »The Rest«: Challenges to the West from Late-Industrializing Economies*. Oxford: Oxford University Press.
- Andersson, Jenny, 2012: The Great Future Debate and the Struggle for the World. In: *American Historical Review* 117, 1411–1430.
- Arndt, Melanie, 2012: *Tschernobyl: Auswirkungen des Reaktorunfalls auf die Bundesrepublik Deutschland und die DDR*. Erfurt: Landeszentrale für politische Bildung Thüringen.
- Arthur, W. Brian, 1990: Positive Feedbacks in the Economy. In: *Scientific American* 262, 92–99.
- Bähr, Johannes/Paul Erker, 2013: *Bosch: Geschichte eines Weltunternehmens*. München: Beck.
- Bain, Joe S., 1951: Relation of Profit Rate to Industry Concentration: American Manufacturing, 1936–1940. In: *Quarterly Journal of Economics* 65, 293–324.
- , 1970: The Comparative Stability of Market Structures. In: Jesse W. Markham/Gustav F. Papanek (Hg.), *Industrial Organization and Economic Development: In Honor of E. S. Mason*. Boston: Houghton-Mifflin, 38–46.
- Barber, William J., 1981: The Eisenhower Energy Policy: Reluctant Intervention. In: Craufurd D. Goodwin et al. (Hg.), *Energy Policy in Perspective: Today's Problems, Yesterday's Solutions*. Washington, DC: Brookings Institution, 205–286.
- Beckert, Jens, 2009: The Social Order of Markets. In: *Theory and Society* 38, 245–269.

- Beckert, Jens, 2011: *Die Sittlichkeit der Wirtschaft: Von Effizienz- und Differenzierungstheorien zu einer Theorie wirtschaftlicher Felder*. MPIfG Working Paper 11/8. Köln: Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung.
- , 2013: Imagined Futures: Fictional Expectations in the Economy. In: *Theory and Society* 42, 219–240.
- Bell, Daniel, 1978: *The Cultural Contradictions of Capitalism*. New York: Basic Books.
- , 1990: Daniel Bell. Interview with Richard Swedberg. In: Richard Swedberg (Hg.), *Economics and Sociology. Redefining their Boundaries: Conversations with Economists and Sociologists*. Princeton: Princeton University Press, 215–232.
- Berger, Christiane, 2002: *Technologie- und Innovationspolitik in Bayern*. Diskussionspapier 105. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung.
- Berger, Suzanne, 2006: *How We Compete: What Companies Around the World Are Doing to Make it in Today's Global Economy*. New York: Currency.
- , 2013a: *Making in America: From Innovation to Market*. Cambridge, MA: MIT Press.
- , 2013b: Toward a Third Industrial Divide? In: Paul Osterman (Hg.), *Economy in Society. Essays in Honor of Michael J. Piore*. Cambridge, MA: MIT Press, 65–87.
- Berk, Gerald, 2009: *Louis D. Brandeis and the Making of Regulated Competition, 1900–1932*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Berk, Gerald/Marc Schneiberg, 2005: Varieties in Capitalism, Varieties of Association: Collaborative Learning in American Industry, 1900 to 1925. In: *Politics and Society* 33, 46–87.
- Bernauer, Thomas, 2013: Climate Change Politics. In: *Annual Review of Political Science* 16, 421–448.
- Beschberger, Mischa, 2000: *Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG): Eine Analyse des Politikformulierungsprozesses*. Arbeitspapier, Forschungsstelle für Umweltpolitik FFU-report 00-06. Berlin: FU Berlin.
- Best, Michael H., [1990]1993: *The New Competition: Institutions of Industrial Restructuring*. Cambridge: Polity/Oxford: Blackwell.
- Beyer, Jürgen, 2006: *Pfadabhängigkeit: Über institutionelle Kontinuität, anfällige Stabilität und fundamentalen Wandel*. Frankfurt a.M.: Campus.
- Blaug, Mark, [1962]1990: *Economic Theory in Retrospect*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Block, Fred, 2008: Swimming Against the Current: The Rise of a Hidden Developmental State in the United States. In: *Politics and Society* 36, 169–206.
- , 2011: Innovation and the Invisible Hand of Government. In: Fred Block/Matthew R. Keller (Hg.), *State of Innovation: The U.S. Government's Role in Technology Development*. Boulder, CO: Paradigm, 1–26.
- , 2012: *Democratizing Finance*. Konferenzbeitrag. American Sociological Association Meeting, Real Utopias, University of California, Davis, August 2012.
- Bonvillian, William D., 2013: The New Model Innovation Agencies: An Overview. In: *Science and Public Policy* 40, 1–13.
- Borchardt, Knut, 1977: Wirtschaftliche Krisen als Gegenstand der Unternehmensgeschichte. In: *Zeitschrift für Unternehmensgeschichte* 22, 81–90.
- Borras, Michael/James Millstein/John Zysman, 1982: *U.S.-Japanese Competition in the Semiconductor Industry: A Study in International Trade and Technological Development*. Policy Papers in International Affairs 17. Berkeley: University of California, Berkeley.

- Brauch, Hans Günter (Hg.) 1996: *Klimapolitik*. Heidelberg: Springer.
- Braun-Thürmann, Holger, 2005: *Innovation*. Bielefeld: Transcript.
- Bresnahan, Timothy F., 1987: Competition and Collusion in the American Automobile Industry: The 1955 Price War. In: *Journal of Industrial Economics* 35, 457–482.
- Bruns, Elke/Dörte Ohlhorst/Bernd Wenzel, 2009: *Erneuerbare Energien in Deutschland. Rückblick und Stand des Innovationsgeschehens*. Endbericht zum Projekt Innovationsbiographie der erneuerbaren Energien. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- Buchstein, Hubertus, 2012: Umweltpolitik in Diktaturen und Demokratien: Neue Befunde zu einer alten Kontroverse. In: Heinrich-Böll-Stiftung (Hg.), *Braune Ökologen: Hintergründe und Strukturen am Beispiel Mecklenburg-Vorpommerns*. Schriften zur Demokratie, Band 26, Berlin: Heinrich-Böll-Stiftung, 51–61.
- Burns, Arthur Robert, 1936: *The Decline of Competition*. New York: McGraw-Hill.
- Burton, Daniel, 2008: High Tech Competitiveness. In: *Foreign Policy* 92, 117–118, 120–132.
- Butti, Ken/John Perlin, 1980: *A Golden Thread: 2500 Years of Solar Architecture and Technology*. Palo Alto, CA: Cheshire.
- Campbell, Andrea L., 2012: Policy Makes Mass Politics. In: *Annual Review of Political Science* 15, 333–351.
- Campbell, John L., 1991: Contradictions of Governance in the Nuclear Energy Sector. In: John L. Campbell/J. Rogers Hollingsworth/Leon N. Lindberg (Hg.), *Governance of the American Economy*. Cambridge: Cambridge University Press, 108–137.
- Carlsson, Bo/Rikard Stankiewicz, 1991: On the Nature, Function, and Composition of Technological Systems. In: *Journal of Evolutionary Economics* 1, 93–118.
- Chandler, Alfred D., [1959]1990: Integration and Diversification as Business Strategies – An Historical Analysis. In: *Business and Economic History* 19, 65–73.
- , [1990]2004: *Scale and Scope: The Dynamics of Industrial Capitalism*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Chang, Ha-Joon, [1994]1996: *The Political Economy of Industrial Policy*. Basingstoke: MacMillan.
- Cochrane, James L., 1981: Carter Energy Policy and the Ninety-fifth Congress. In: Craufurd D. Goodwin et al. (Hg.), *Energy Policy in Perspective: Today's Problems, Yesterday's Solutions*. Washington, DC: Brookings Institution, 547–600.
- Colatat, Phech/Georgetay Vidican/Richard Lester, 2009: *Innovation Systems in the Solar Photovoltaic Industry: The Role of Public Research Institutions*. IPC Working Paper, 09-008. Cambridge, MA: MIT Industrial Performance Center.
- Coleman, E. Gabriella, 2013: *Coding Freedom: The Ethics and Aesthetics of Hacking*. Princeton: Princeton University Press.
- Crouch, Colin, 2009: Privatised Keynesianism: An Unacknowledged Policy Regime. In: *British Journal of Politics and International Relations* 11, 382–399.
- Crouch, Colin/Henry Farrell, 2005: *Breaking the Path of Institutional Development? Alternatives to the New Determinism*. MPIfG Discussion Paper 02/5. Köln: Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung.
- Crouch, Colin/Helmut Voelzkow, 2009: Introduction: Local and Sectoral Diversity within National Economic Systems. In: Colin Crouch/Helmut Voelzkow (Hg.), *Innovation in Local Economies: Germany in Comparative Context*. Oxford: Oxford University Press, 1–21.

- Dagger, Steffen B., 2009: *Energiepolitik & Lobbying: Die Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) 2009*. Stuttgart: ibidem.
- Dahl, Robert A., 1958: A Critique of the Ruling Elite Model. In: *American Political Science Review* 52, 463–469.
- David, Paul A., 1985: Clio and the Economics of QWERTY. In: *American Economic Review* 75, 332–337.
- Davis, Gerald F./Kristina A. Diekmann/Catherine H. Tinsley, 1994: The Decline and Fall of the Conglomerate Firm in the 1980s: The Deinstitutionalization of an Organizational Form. In: *American Sociological Review* 59, 547–570.
- De Marchi, Neil B., 1981a: Energy Policy under Nixon: Mainly Putting Out Fires. In: Craufurd D. Goodwin et al. (Hg.), *Energy Policy in Perspective: Today's Problems, Yesterday's Solutions*. Washington, DC: Brookings Institution, 395–473.
- , 1981b: The Ford Administration: Energy as a Political Good. In: Craufurd D. Goodwin et al. (Hg.), *Energy Policy in Perspective: Today's Problems, Yesterday's Solutions*. Washington, DC: Brookings Institution, 475–545.
- Deeg, Richard, 2007: *Institutional Change and the Uses and Limits of Path Dependency: The Case of German Finance*. MPIfG Discussion Paper 01/6. Köln: Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung.
- della Porta, Donatella/Dieter Rucht, 1995: Left-Libertarian Movements in Context: A Comparison of Italy and West Germany, 1965–1990. In: J. Craig Jenkins/Bert Klandermans (Hg.), *The Politics of Social Protest: Comparative Perspectives on States and Social Movements*. Minneapolis: University of Minnesota Press, 229–272.
- Dertouzos, Michael L./Richard K. Lester/Robert M. Solow, 1989: *Made in America: Regaining the Productive Edge*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Dewald, Ulrich, 2011: *Energieversorgung im Wandel – Marktformierung im deutschen Photovoltaik-Innovationssystem*. Dissertation. Aachen: Geografisches Institut, RWTH Aachen.
- Dewald, Ulrich/Bernhard Truffer, 2012: The Local Sources of Market Formation: Explaining Regional Growth Differentials in German Photovoltaic Markets. In: *European Planning Studies* 20, 397–420.
- DiMaggio, Paul J., 2003: Introduction: Making Sense of the Contemporary Firm and Prefiguring Its Future. In: Paul J. DiMaggio (Hg.), *The Twenty-First-Century Firm: Changing Economic Organization in International Perspective*. Princeton: Princeton University Press, 3–30.
- DiMaggio, Paul J./Walter W. Powell, 1983: The Iron Cage Revisited: Institutional Isomorphism and Collective Rationality in Organizational Fields. In: *American Sociological Review* 48, 147–160.
- , 1991: Introduction. In: Walter W. Powell/Paul J. DiMaggio (Hg.), *The New Institutionalism in Organizational Analysis*. Chicago: University of Chicago Press, 1–39.
- Dobbin, Frank, 1992: Metaphors of Industrial Rationality: The Social Construction of Electronics Policy in the United States and France. In: Robert Wuthnow (Hg.), *Vocabularies of Public Life: Empirical Essays in Symbolic Structure*. London: Routledge, 185–206.
- , 2005: Comparative and Historical Approaches to Economic Sociology. In: Neil J. Smelser/Richard Swedberg (Hg.), *The Handbook of Economic Sociology: Second Edition*. Princeton: Princeton University Press, 26–48.
- Dobbin, Frank/Dirk Zorn, 2005: Corporate Malfeasance and the Myth of Shareholder Value. In: *Political Power and Social Theory* 17, 179–198.

- Doering-Manteuffel, Anselm, 2008: Langfristige Ursprünge und dauerhafte Auswirkungen: Zur historischen Einordnung der siebziger Jahre. In: Konrad H. Jarausch (Hg.), *Das Ende der Zuversicht? Die siebziger Jahre als Geschichte*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 330–352.
- Dore, Ronald P., 1986: *Flexible Rigidities: Industrial Policy and Structural Adjustment in the Japanese Economy, 1970–80*. Stanford: Stanford University Press.
- Dyson, Kenneth, 1984: The Politics of Corporate Crises in West Germany. In: *West European Politics* 7, 24–46.
- Eckert, Michael/Helmut Schubert/Gisela Torkar, 1992: The Roots of Solid-State Physics Before Quantum Mechanics. In: Lillian Hoddeson et al. (Hg.), *Out of the Crystal Maze: Chapters from the History of Solid-State Physics*. New York: Oxford University Press, 3–87.
- Edelman, Lauren B., 1991: Review of »The Transformation of Corporate Control«, by Neil Fligstein. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1990. In: *American Journal of Sociology* 97, 549–551.
- Engels, Jens Ivo, 2003: Geschichte und Heimat: Der Widerstand gegen das Kernkraftwerk Wylh. In: Kerstin Kretschmer/Norman Fuchsloch (Hg.), *Wahrnehmung, Bewusstsein, Identifikation: Umweltprobleme und Umweltschutz als Triebfedern regionaler Entwicklung*. Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, 103–130.
- Erhardt, Hendrik, 2012: Energiebedarfsprognosen: Kontinuität und Wandel energiewirtschaftlicher Problemlagen in den 1970er und 1980er Jahren. In: Hendrik Erhardt/Thomas Kroll (Hg.), *Energie in der modernen Gesellschaft: Zeithistorische Perspektiven*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 193–222.
- Esser, Josef/Wolfgang Fach/Werner Väh, 1983: *Krisenregulierung: Zur politischen Durchsetzung wirtschaftlicher Zwänge*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Evans, Peter B., 1995: *Embedded Autonomy: States and Industrial Transformation*. Princeton: Princeton University Press.
- Finegold, Kenneth/Theda Skocpol, 1995: *State and Party in America's New Deal*. Madison: Wisconsin University Press.
- Fligstein, Neil, 1990: *The Transformation of Corporate Control*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- , 1991: The Structural Transformation of American Industry: An Institutional Account of the Causes of Diversification in the Largest Firms. In: Walter W. Powell/Paul J. DiMaggio (Hg.), *The New Institutionalism in Organizational Analysis*. Chicago: Chicago University Press, 311–336.
- , 2001: *The Architecture of Markets: An Economic Sociology of Twenty-First-Century Capitalist Societies*. Princeton: Princeton University Press.
- Frankel, Eugene, 1986: Technology, Politics and Ideology: The Vicissitudes of Federal Solar Energy Policy, 1974–1983. In: John Byrne/Daniel Rich (Hg.), *The Politics of Energy Research and Development*. New Brunswick: Transaction, 61–88.
- Fuchs, Gerhard, et al., 2012: *Adaptive Capacities, Path Creation and Variants of Sectoral Change: The Case of the Transformation of the German Energy Supply System*. Stuttgarter Beiträge zur Organisations- und Innovationssoziologie 2012-02. Stuttgart: Universität Stuttgart.
- Garud, Raghu/Peter Karnøe, 2001: Path Creation as a Process of Mindful Deviation. In: Raghu Garud/Peter Karnøe (Hg.), *Path Dependence and Creation*. Mahwah: Lawrence Erlbaum, 1–38.
- , 2003: Bricolage Versus Breakthrough: Distributed and Embedded Agency in Technology Entrepreneurship. In: *Research Policy* 32, 277–300.

- Gawer, Annabelle, 2000: *The Organization of Platform Leadership: An Empirical Investigation of Intel's Management Processes Aimed at Fostering Complementary Innovation by Third Parties*. Dissertation. Cambridge, MA: Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology.
- Gottlieb, Robert, 2005: *Forcing the Spring: The Transformation of the American Environmental Movement*. Washington, DC: Island Press.
- Graf, Rüdiger, 2014: *Öl und Souveränität. Petroknowledge und Energiepolitik in den USA und Westeuropa in den 1970er Jahren*. Oldenbourg: De Gruyter.
- Grant, Wyn/Wolfgang Streeck, 1985: Large Firms and the Representation of Business Interests in the UK and West German Construction Industries. In: Alan Cawson (Hg.), *Organized Interests and the State: Studies in Meso-Corporatism*. London: Sage, 145–173.
- Hacker, Jacob S., 2002: *The Divided Welfare State: The Battle Over Public and Private Social Benefits in the United States*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hacker, Jacob S./Paul Pierson, 2002: Business Power and Social Policy: Employers and the Formation of the American Welfare State. In: *Politics and Society* 30, 277–325.
- Haley, Usha C.V./George T. Haley, 2013: *Subsidies to Chinese Industry: State Capitalism, Business Strategy, and Trade Policy*. Oxford: Oxford University Press.
- Hall, Peter A., 1993: Policy Paradigms, Social Learning, and the State: The Case of Economic Policymaking in Britain. In: *Comparative Politics* 25, 275–296.
- , 2006: Stabilität und Wandel in den Spielarten des Kapitalismus. In: Jens Beckert et al. (Hg.), *Transformationen des Kapitalismus: Festschrift für Wolfgang Streeck zum sechzigsten Geburtstag*. Frankfurt a.M.: Campus.
- Hall, Peter A./David Soskice, 2001: An Introduction to Varieties of Capitalism. In: Peter A. Hall/David Soskice (Hg.), *Varieties of Capitalism: The Institutional Foundations of Comparative Advantage*. Oxford: Oxford University Press, 1–68.
- Hall, Peter A./Rosemary C. R. Taylor, 1996: Political Science and the Three Institutionalisms. In: *Political Studies* 44, 936–957.
- Hall, Peter A./Kathleen Thelen, 2009: Institutional Change in Varieties of Capitalism. In: *Socio-Economic Review* 7, 7–34.
- Hauff, Volker/Fritz W. Scharpf, 1975: *Modernisierung der Volkswirtschaft: Technologiepolitik als Strukturpolitik*. Frankfurt a.M.: Europäische Verlagsanstalt.
- Hawley, Ellis W., [1966]1996: *The New Deal and the Problem of Monopoly: A Study in Economic Ambivalence*. New York: Fordham University Press.
- Hays, Samuel P., [1987]1993: *Beauty, Health, and Permanence: Environmental Politics in the United States, 1955–1985*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Helper, Susan/John Paul MacDuffie/Charles F. Sabel, 2000: Pragmatic Collaborations: Advancing Knowledge While Controlling Opportunism. In: *Industrial and Corporate Change* 9, 443–488.
- Herrigel, Gary, 1989: Industrial Order and the Politics of Industrial Change: Mechanical Engineering. In: Peter J. Katzenstein (Hg.), *Industry and Politics in West Germany: Toward the Third Republic*. Ithaca: Cornell University Press, 185–220.
- , 2005: Institutionalists at the Limits of Institutionalism: A Constructivist Critique of Two Edited Volumes from Wolfgang Streeck and Kozo Yamamura. In: *Socio-Economic Review* 3, 559–567.

- Herrigel, Gary/Charles F. Sabel, 1999: Craft Production in Crisis: Industrial Restructuring in Germany during the 1990s. In: Pepper Culpepper/David Finegold (Hg.), *The German Skills Machine: Sustaining Competitive Advantage in a Global Economy*. New York: Berghahn, 77–114.
- Heymann, Matthias, 1998: Signs of Hubris: The Shaping of Wind Technology Styles in Germany, Denmark, and the United States, 1940–1990. In: *Technology and Culture* 39, 641–670.
- Hirayama, Yosuke, 2004: *The Changing Context of Home Ownership in Japan*. Unveröffentlichtes Manuskript. Hong Kong: Hong Kong Housing Authority.
- Hirschl, Bernd, 2008: *Erneuerbare Energien-Politik: Eine Multi-Level Policy-Analyse mit Fokus auf den deutschen Strommarkt*. Wiesbaden: VS Verlag.
- Hirschman, Albert O., 1967: The Principle of the Hiding Hand. In: *The Public Interest* 6/1967, 10–23.
- , 1970a: *Exit, Voice, and Loyalty: Responses to Decline in Firms, Organizations, and States*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- , 1970b: The Search for Paradigms as a Hindrance to Understanding. In: *World Politics* 22, 329–343.
- , [1977]1981: A Generalized Linkage Approach to Development, with Special Reference to Staples. In: *Essays in Trespassing. Economics to Politics and Beyond*. Cambridge: Cambridge University Press, 59–97.
- Hoddeson, Lillian, 1977: The Roots of Solid-State Research at Bell Labs. In: *Physics Today* 30, 23–30.
- , 1981: The Emergence of Basic Research in the Bell Telephone System, 1875–1915. In: *Technology and Culture* 22, 512–544.
- Höpner, Martin, et al., 2010: Liberalisierungspolitik: Eine Bestandsaufnahme des Rückbaus wirtschafts- und sozialpolitischer Interventionen in entwickelten Industrieländern. In: *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie* 63, 1–32.
- Hofstadter, Richard, [1952]1996: What Happened to the Antitrust Movement? In: *The Paranoid Style in American Politics and Other Essays*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 188–237.
- Hohensee, Jens, 1996: *Der erste Ölpreisschock 1973/74: Die politischen und gesellschaftlichen Auswirkungen der arabischen Erdölpolitik auf die Bundesrepublik Deutschland und Westeuropa. Historische Mitteilungen, Beiheft 17*. Stuttgart: Steiner.
- Holland, Max, 1989: *When the Machine Stopped: A Cautionary Tale from Industrial America*. Boston, MA: Harvard Business School Press.
- Hollingsworth, J. Rogers, 1991: The Logic of Coordinating American Manufacturing Sectors. In: John L. Campbell/J. Rogers Hollingsworth/Leon N. Lindberg (Hg.), *Governance of the American Economy*. Cambridge: Cambridge University Press, 35–74.
- Hooks, Gregory, 1990: The Rise of the Pentagon and U.S. State Building: The Defense Program as Industrial Policy. In: *American Journal of Sociology* 96, 358–404.
- Hoppmann, Joern, et al., 2013: The Two Faces of Market Support – How Deployment Policies Affect Technological Exploration and Exploitation in the Solar Photovoltaic Industry. In: *Research Policy* 42, 989–1003.
- Hovenkamp, Herbert, 1989: The Antitrust Movement and the Rise of Industrial Organization. In: *Texas Law Review* 68, 105–167.

- Hughes, Llewelyn, 2009: *The Limits of Liberalism? Long-run Petroleum Prices and Government Intervention in Petroleum Markets in Japan, France, and the United States*. Dissertation. Cambridge, MA: Department of Political Science, Massachusetts Institute of Technology.
- Hughes, Llewelyn, 2012: Climate Converts: Institutional Redeployment, Industrial Policy, and Public Investment in Energy in Japan. In: *Journal of East Asian Studies* 12, 89–117.
- Hughes, Thomas P., 1979: The Electrification of America: The System Builders. In: *Technology and Culture* 20, 124–161.
- , 1982: Conservative and Radical Technologies. In: Sven B. Lundstedt/E. William Colglazier Jr. (Hg.), *Managing Innovation: The Social Dimension of Creativity, Invention, and Technology*. New York: Pergamon, 31–44.
- Ikenberry, G. John, 1988a: Market Solutions for State Problems: The International and Domestic Politics of American Oil Decontrol. In: *International Organization* 42, 151–177.
- , 1988b: *Reasons of State: Oil Politics and the Capacity of American Government*. Ithaca: Cornell University Press.
- , 1994: *History's Heavy Hand: Institutions and the Politics of the State*. Konferenzbeitrag. Konferenz »New Perspectives on Institutions«, University of Maryland, Oktober 1994.
- Jackson, Gregory/Anastasia Petraki, 2011: *Understanding Short-termism: The Role of Corporate Governance*. Stockholm: Glasshouse Forum.
- Jacobs, Meg, 2008: The Conservative Struggle and the Energy Crisis. In: Bruce J. Schulman/Julian E. Zelizer (Hg.), *Rightward Bound: Making America Conservative in the 1970s*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 193–209.
- Jacobsson, Staffan/Volkmar Lauber, 2005: Germany: From a Modest Feed-in Law to a Framework for Transition. In: Volkmar Lauber (Hg.), *Switching to Renewable Power: A Framework for the 21st Century*. London: Earthscan, 122–158.
- , 2006: The Politics and Policy of Energy System Transformation – Explaining the German Diffusion of Renewable Energy Technology. In: *Energy Policy* 34, 256–276.
- Jacobsson, Staffan/Björn A. Sandén/Lennart Bångens, 2006: Transforming the Energy System – The Evolution of the German Technological System for Solar Cells. In: *Technology Analysis and Strategic Management* 16, 3–30.
- Jasper, James M., 1990: *Nuclear Politics. Energy and the State in the United States, Sweden, and France*. Princeton: Princeton University Press.
- Johnson, Chalmers (Hg.), 1984. *The Industrial Policy Debate*. San Francisco: Institute for Contemporary Studies.
- Jones, Geoffrey/Loubna Bouamane, 2012: »Power from Sunshine«: A Business History of Solar Energy. Working Paper 12-105. Boston, MA: Harvard Business School.
- Junne, Gerd, 1989: Competitiveness and the Impact of Change: Applications of »High Technologies«. In: Peter J. Katzenstein (Hg.), *Industry and Politics in West Germany: Toward the Third Republic*. Ithaca: Cornell University Press, 249–274.
- Kalecki, Michal, 1943: Political Aspects of Full Employment. In: *Political Quarterly* 14, 322–331.
- Kapoor, Rahul/Nathan R. Furr, 2013: *Complementarities and Capabilities: Unpacking the Drivers of Entrants' Technology Choices in the Solar Photovoltaic Industry*. Working Paper. Philadelphia, PA: Wharton School, University of Pennsylvania.
- Katzenstein, Peter J., 1985: *Small States in World Markets: Industrial Policy in Europe*. Ithaca: Cornell University Press.

- Katzenstein, Peter J. 1987: *Policy and Politics in West Germany: The Growth of a Semi-Sovereign State*. Philadelphia: Temple University Press.
- , 1989: Industry in a Changing West Germany. In: Peter J. Katzenstein (Hg.), *Industry and Politics in West Germany: Toward the Third Republic*. Ithaca: Cornell University Press, 3–29.
- , 2003: *Small States* and Small States Revisited. In: *New Political Economy* 8, 9–30.
- Kemp, René/Arie Rip/Johan W. Schott, 2001: Constructing Transition Paths Through the Management of Niches. In: Raghu Garud/Peter Karnøe (Hg.), *Path Dependence and Creation*. Mahwah: Lawrence Erlbaum, 269–299.
- Kenworthy, Lane, 1990: Are Industrial Policy and Corporatism Compatible? In: *Journal of Public Policy* 10, 233–265.
- Keynes, John Maynard, [1926]1981: Industrial Reorganization: Cotton. In: Donald E. Moggridge (Hg.), *The Collected Writings of John Maynard Keynes: Volume 19, Activities 1922–1929: The Return to Gold and Industrial Policy, Part 1*. New York: Cambridge University Press, 578–637.
- Kimura, Osamu/Tatsujiro Suzuki, 2006: *30 Years of Solar Energy Development in Japan: Co-evolution Process of Technology, Policies, and the Market*. Konferenzbeitrag, Konferenz »Resource Policies: Effectiveness, Efficiency, and Equity«, Berlin, November 2006.
- Kitschelt, Herbert P., 1983: *Politik und Energie: Energie-Technologienpolitiken in den USA, der Bundesrepublik Deutschland, Frankreich und Schweden*. Frankfurt a.M.: Campus.
- , 1986: Political Opportunity Structures and Political Protest: Anti-Nuclear Movements in Four Democracies. In: *British Journal of Political Science* 16, 57–85.
- , 1988: Left-Libertarian Parties: Explaining Innovation in Competitive Party Systems. In: *World Politics* 40, 194–234.
- Knight, Chris P., 2011: Failure to Deploy: Solar Photovoltaic Policy in the United States. In: Fred Block/Matthew R. Keller (Hg.), *State of Innovation: The U.S. Government's Role in Technology Development*. Boulder, CO: Paradigm, 173–195.
- Kohoutek, Martin H., 2013: *Ein »Skandal« im Solarstreit durch Preisverpflichtung? – Oder: Antidumpingzölle – »Davon halten wir nichts.«* Policy Papers on Transnational Economic Law 38. Halle: Transnational Economic Law Research Center. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- Krasner, Stephen D., 1974: Oil Is the Exception. In: *Foreign Policy* 14, 68–84.
- Kryza, Frank T., 2003: *The Power of Light: The Epic Story of Man's Quest to Harness the Sun*. New York: McGraw Hill.
- Laird, Frank N., 2004: *Solar Energy, Technology Policy, and Institutional Values*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Laird, Frank N./Christoph Stefes, 2009: The Diverging Paths of German and United States Policies for Renewable Energy: Sources of Difference. In: *Energy Policy* 37, 2619–2629.
- Lambright, W. Henry/Albert H. Teich, 1979: Policy Innovation in Federal R & D: The Case of Energy. In: *Public Administration Review* 39, 140–147.
- Lauber, Volkmar, (Hg.) 2005: *Switching to Renewable Power: A Framework for the 21st Century*. London: Earthscan.
- Lester, Richard K./Michael J. Piore, 2009: *Innovation: The Missing Dimension*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

- Liu, Xin, 2010: *The U.S. Environmental Protection Agency: A Historical Perspective on Its Role in Environmental Protection*. Dissertation. München: Amerika-Institut, Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Lobo, Kai, 2011: *Die Elektrizitätspolitik und ihre Akteure von 1998 bis 2009: Eine strategische Politikfeldanalyse*. Dissertation. Berlin: Fachbereich Politik- und Sozialwissenschaften der Freien Universität Berlin.
- Margolis, Robert M., 2002: *Understanding Technological Innovation in the Energy Sector: The Case of Photovoltaics*. Dissertation. Princeton: Princeton University.
- Marigo, Nicoletta, 2007: The Chinese Silicon Photovoltaic Industry and Market: A Critical Review of Trends and Outlook. In: *Progress in Photovoltaics* 15, 143–162.
- Mariusson, Åge, 2010: Global Warming, Transnational Communities, and Economic Entrepreneurship: The Case of Carbon Capture and Storage. In: Marie-Laure Djelic/Sigrid Quack (Hg.), *Transnational Communities: Shaping Global Economic Governance*. Cambridge: Cambridge University Press, 327–346.
- Mason, Edward S., 1957: *Economic Concentration and the Monopoly Problem*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Mautz, Rüdiger, 2007: The Expansion of Renewable Energies in Germany between Niche Dynamics and System Integration – Opportunities and Restraints. In: *Science, Technology and Innovation Studies* 3, 113–131.
- Mautz, Rüdiger/Andreas Byzio/Wolf Rosenbaum, 2008: *Auf dem Weg zur Energiewende: Die Entwicklung der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien in Deutschland*. Göttingen: Universitätsverlag Göttingen.
- Mautz, Rüdiger/Wolf Rosenbaum, 2012: Der deutsche Stromsektor im Spannungsfeld energiewirtschaftlicher Umbaumodelle. In: *WSI-Mitteilungen* 2/2012, 85–93.
- Mayntz, Renate, 2009: *Sozialwissenschaftliches Erklären: Probleme der Theoriebildung und Methodologie*. Frankfurt a.M.: Campus.
- McDougall, Walter A., [1985]1997: *The Heavens and the Earth: A Political History of the Space Age*. Baltimore, MD: John Hopkins University Press.
- Mener, Gerhard, 1999: Die Grenzen des Erfolgsmodells der siebziger Jahre: Sonnenenergieforschung in der Fraunhofer-Gesellschaft. In: Gerhard A. Ritter/Margit Szöllösi-Janze/Helmuth Trischler (Hg.), *Antworten auf die amerikanische Herausforderung: Forschung in der Bundesrepublik und der DDR in den »langen« siebziger Jahren*. Frankfurt a.M.: Campus, 107–134.
- , 2001: *Zwischen Labor und Markt: Geschichte der Sonnenenergienutzung in Deutschland und den USA, 1860–1986*. Baldham: LK-Verlag.
- Meyer, Rachel E., 2008: *Perpetual Struggle: Sources of Working-Class Identity and Activism in Collective Action*. Dissertation. Ann Arbor, MI: University of Michigan.
- Mez, Lutz (Hg.), 2007: *Green Power Markets: Support Schemes, Case Studies and Perspectives*. Essex: Multi-Science.
- Miller, Clark, 2012: *Rethinking Energy Demand: Reflections from the History of US Electric Utilities*. Guest Lecture, E.ON Energy Research Center Colloquium, 2012 06 29. Aachen: RWTH Aachen.
- Millman, Sidney, 1983: *A History of Engineering and Science in the Bell System: Physical Sciences (1925–1980)*. Short Hills, NJ: AT & T Bell Laboratories.

- Mitchell, Jordan, 2011: *Canadian Solar: Case Study 9B10M019*. Richard Ivey School of Business. London, ON: Richard Ivey School of Business, University of Western Ontario.
- Mizruchi, Mark S., 2013: *The Fracturing of the American Corporate Elite*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Möllering, Guido, 2007: *Market Constitution Analysis: A New Framework Applied to Solar Power Technology Markets*. MPIfG Working Paper 09/7. Köln: Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung.
- Morgan, Mary S., 1992: *Competing Notions of »Competition« in Late-nineteenth Century American Economics*. Economic History Working Papers, 1/92. London: Department of Economic History, London School of Economics and Political Science.
- Mowery, David C., 2009: *Plus ça change: Industrial R&D in the »Third Industrial Revolution«*. In: *Industrial and Corporate Change* 18, 1–50.
- Mowery, David C./Nathan Rosenberg, [1989]1995: *Technology and the Pursuit of Economic Growth*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Müller, Wolfgang D., 1990: *Geschichte der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland: Anfänge und Weichenstellungen*. Stuttgart: Schäffer.
- Mützel, Sophie, 2011: *Stories and the Emergence of a Market*. Konferenzbeitrag, 2011 Zuckerman Conference at the Mellon Biennial, New York, Columbia University, April 2011.
- Nahm, Jonas/Edward S. Steinfeld, 2014: The Role of Innovative Manufacturing in High-Tech Product Development: Evidence from China's Renewable Energy Sector. In: Richard M. Locke/Rachel L. Wellhausen (Hg.), *Production in the Innovation Economy*. Cambridge, MA: MIT Press, 139–174.
- Nee, Victor, 2005: The New Institutionalisms in Economics and Sociology. In: Neil J. Smelser/Richard Swedberg (Hg.), *The Handbook of Economic Sociology: Second Edition*. Princeton: Princeton University Press, 49–74.
- Neukirch, Mario, 2010: *Die internationale Pionierphase der Windenergienutzung*. Dissertation. Göttingen: Georg-August-Universität Göttingen.
- Nielsen, Henrik Kaare, 2006: Youth and the Antinuclear Power Movement in Denmark and West Germany. In: Axel Schildt/Detlef Siegfried (Hg.), *Between Marx and Coca-Cola: Youth Cultures in Changing European Societies, 1960–1980*. Oxford: Berghahn, 203–223.
- Nilson, C. Bradley, 1998: *Technological Innovation and Public Research & Development Policies: A Case Study of the Photovoltaic Industry*. Master's Thesis. Cambridge, MA: Department of Urban Studies and Planning, Massachusetts Institute of Technology.
- Oizumi, Eiji, 2007: Transformations in Housing Construction and Finance. In: Yosuke Hirayama/Richard Ronald (Hg.), *Housing and Social Transition in Japan*. Abingdon: Routledge, 47–72.
- Olson, Mancur, 1982a: Stagflation and the Political Economy of the Decline in Productivity. In: *American Economic Review* 72, 143–148.
- , 1982b: *The Rise and Decline of Nations: Economic Growth, Stagflation, and Social Rigidities*. New Haven: Yale University Press.
- Paige, Jeffrey M., 1999: Conjuncture, Comparison, and Conditional Theory in Macrosocial Inquiry. In: *American Journal of Sociology* 105, 781–800.
- Paretsky, Nick, 2003: *Policy Planning Organizations and Capitalist Support for Industrial Policy, 1970–1984*. Dissertation. Columbia, MO: University of Missouri-Columbia.

- Parson, Edward A., 1992: *Protecting the Ozone Layer: The Evolution and Impact of International Institutions*. CSIA Discussion Paper 92-02. Cambridge, MA: Kennedy School of Government, Harvard University.
- Parsons, Talcott, [1951]1959: *The Social System*. Glencoe: Free Press.
- Patashnik, Eric M./Julian E. Zelizer, 2013: The Struggle to Remake Politics: Liberal Reform and the Limits of Policy Feedback in the Contemporary American State. In: *Perspectives on Politics* 11, 1071–1087.
- Pegram, William M., 1989: *The Federal Photovoltaics Commercialization Program*. Dissertation. Pasadena, CA: California Institute of Technology.
- Perlin, John, 1999: *From Space to Earth: The Story of Solar Electricity*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Perrow, Charles, 1985: Overboard with Myth and Symbols. Review Essay. In: *American Journal of Sociology* 91, 151–155.
- Pettenkofer, Andreas, 2014: *Die Entstehung der grünen Politik: Kulturosoziologie der westdeutschen Umweltbewegung*. Frankfurt a.M.: Campus.
- Pierson, Paul, 2004: *Politics in Time: History, Institutions, and Social Analysis*. Princeton: Princeton University Press.
- , 2006: Public Policies as Institutions. In: Ian Shapiro/Stephen Skowronek/Daniel Galvin (Hg.), *Rethinking Political Institutions: The Art of the State*. New York: New York University Press, 114–134.
- Piore, Michael J., 2008: *Learning on the Fly: Reviving Active Governmental Policy in an Economic Crisis*. Konferenzbeitrag. Konferenz »How Will a New Administration and Congress Support Innovation in an Economic Crisis?«, Washington, DC, Economic Policy Institute, Dezember 2008.
- , 2011: Beyond Markets: Sociology, Street-level Bureaucracy, and the Management of the Public Sector. In: *Regulation and Governance* 5, 145–164.
- Piore, Michael J./Charles F. Sabel, 1984: *The Second Industrial Divide: Possibilities for Prosperity*. New York: Basic Books.
- Porter, Michael E./A. Michael Spence, 1982: The Capacity Expansion Process in a Growing Oligopoly: The Case of Corn Wet Milling. In: John McCall (Hg.), *The Economics of Information and Uncertainty*. Chicago: University of Chicago Press, 259–316.
- Powell, Walter W., 1990: Neither Market Nor Hierarchy: Network Forms of Organization. In: Barry M. Staw/Larry L. Cummings (Hg.), *Research in Organizational Behavior* 12. Greenwich: Elsevier, 295–336.
- Prasad, Monica/Steven Munch, 2012: State-level Renewable Electricity Policies and Reductions in Carbon Emissions. In: *Energy Policy* 45, 237–242.
- Radkau, Joachim, 1978: Kernenergie-Entwicklung in der Bundesrepublik: ein Lernprozeß? Die ungeplante Durchsetzung des Leichtwasserreaktors und die Krise der gesellschaftlichen Kontrolle über die Atomwirtschaft. In: *Geschichte und Gesellschaft* 4, 195–222.
- , 1983: *Aufstieg und Krise der deutschen Atomwirtschaft 1945–1975: Verdrängte Alternativen in der Kerntechnik und der Ursprung der nuklearen Kontroverse*. Reinbek: Rowohlt.
- , 2008: Von der Kohlenot zur solaren Vision: Wege und Irrwege bundesdeutscher Energiepolitik. In: Hans-Peter Schwarz (Hg.), *Die Bundesrepublik Deutschland: Eine Bilanz nach 60 Jahren*. Köln: Böhlau, 461–486.
- , 2011: *Die Ära der Ökologie: Eine Weltgeschichte*. München: Beck.

- Radkau, Joachim/Lothar Hahn, 2013: *Aufstieg und Fall der deutschen Atomwirtschaft*. München: Oekom.
- Renn, Ortwin, 1990: Public Responses to the Chernobyl Accident. In: *Journal of Environmental Psychology* 10, 151–167.
- Renz, Thomas, 2001: *Vom Monopol zum Wettbewerb: Die Liberalisierung der deutschen Stromwirtschaft*. Opladen: Leske+Budrich.
- Riordan, Michael/Lillian Hoddeson, 1997: *Crystal Fire: The Invention of the Transistor and the Birth of the Information Age*. New York: Norton.
- Rodgers, Daniel T., 1998: *Atlantic Crossings: Social Politics in a Progressive Age*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- , 2011: *Age of Fracture*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Rogers, Everett M., 1988: The Intellectual Foundation and History of the Agricultural Extension Model. In: *Science Communication* 9, 492–510.
- Rogol, Michael G., 2007: *Why Did the Solar Power Sector Develop Quickly in Japan?* Master's Thesis. Cambridge, MA: Engineering Systems Division, Massachusetts Institute of Technology.
- Rosenberg, Nathan, 1982: *Inside the Black Box: Technology and Economics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rucht, Dieter, 2002: Mobilization Against Large Techno-Industrial Projects: A Comparative Perspective. In: *Mobilization* 7, 79–95.
- Rüdiger, Wolfgang, 2003: The Environment and Nuclear Power. In: Stephen Padgett/William E. Paterson/Gordon Smith (Hg.), *Developments in German Politics* 3. Houndmills: Palgrave, 248–268.
- Rueschemeyer, Dietrich, 2003: Can One or a Few Cases Yield Theoretical Gains? In: James Mahoney/Dietrich Rueschemeyer (Hg.), *Comparative Historical Analysis in the Social Sciences*. Cambridge: Cambridge University Press, 305–336.
- Rutherford, Malcolm, 2011: *The Institutional Movement in American Economics, 1918–1947: Science and Social Control*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sabel, Charles F., 1995: *Intelligible Differences: On Deliberate Strategy and the Exploration of Possibility in Economic Life*. Konferenzbeitrag. Annual Meeting of the Società Italiana degli Economisti, Florenz, Oktober 1995.
- , 2012: Rethinking the Street-level Bureaucrat: Tacit and Deliberate Ways Organizations Can Learn. In: Paul Osterman (Hg.), *Economy in Society. Essays in Honor of Michael J. Piore*. Cambridge, MA: MIT Press, 113–142.
- Sabel, Charles F., et al., 1989: Regional Prosperities Compared: Massachusetts and Baden-Württemberg in the 1980s. In: *Economy and Society* 18, 374–404.
- Saretzki, Thomas, 2011: Der Klimawandel und die Problemlösungsfähigkeit der Demokratie. In: Susanne S. Schüttemeyer (Hg.), *Politik im Klimawandel: Keine Macht für gerechte Lösungen?* Baden-Baden: Nomos, 41–64.
- Scharpf, Fritz W., 1977: Problemverstaatlichung und Politikverflechtung: Das selbstblockierende System. In: *Politischer Immobilismus und ökonomische Krise*. Kronberg: Athenäum, 104–115.
- , 2006: Beneficial Constraints bei offenen Grenzen. In: Jens Beckert et al. (Hg.), *Transformationen des Kapitalismus: Festschrift für Wolfgang Streeck zum sechzigsten Geburtstag*. Frankfurt a.M.: Campus, 273–295.

- Schattschneider, Elmer E., [1934]1974: *Politics, Pressures and the Tariff: A Study of Free Private Enterprise in Pressure Politics, as Shown in the 1929–1930 Revision of the Tariff*. New York: Arno Press.
- Scherer, Frederic M., 1970: *Industrial Market Structure and Economic Performance*. Chicago: Rand McNally & Company.
- Schmidt, Susanne, K., 1998: Commission Activism: Subsuming Telecommunications and Electricity under European Competition Law. In: *Journal of European Public Policy* 5, 169–184.
- Schrank, Andrew, 2011: Green Capitalists in a Purple State: Sandia National Laboratories and the Renewable Energy Industry in New Mexico. In: Fred Block/Matthew Keller (Hg.), *State of Innovation: The U.S. Government's Role in Technology Development*. Boulder, CO: Paradigm, 96–108.
- Schrank, Andrew/Josh Whitford, 2009: Industrial Policy in the United States: A Neo-Polanyian Interpretation. In: *Politics and Society* 37, 521–553.
- , 2011: The Anatomy of Network Failure. In: *Sociological Theory* 29, 151–177.
- Schumpeter, Joseph A., 1912: *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*. Berlin: Duncker & Humblot.
- , 1934: Robinson's Economics of Imperfect Competition. In: *Journal of Political Economy* 42, 249–257.
- , [1942]1994: *Capitalism, Socialism and Democracy*. London: Routledge.
- Scott, W. Richard/John W. Meyer, 1982: *The Organization of Institutional Sectors*. Working Paper. Stanford, CA: Institute for Research on Educational Finance und Governance, Stanford University.
- Seidenberg, Philip, 1997: From Germanium to Silicon: A History of Change in the Technology of the Semiconductors. In: Andrew Goldstein/William Aspray (Hg.), *Facets: New Perspectives of the History of Semiconductors*. New Brunswick: IEEE Center for the History of Electrical Engineering, 35–74.
- Shabecoff, Philip, 2003: *A Fierce Green Fire: The American Environmental Movement*. Washington, DC: Island Press.
- Shonfield, Andrew, 1965: *Modern Capitalism: The Changing Balance of Public and Private Power*. London: Oxford University Press.
- Siegfried, Detlef, 2006: Understanding 1968: Youth Rebellion, Generational Change and Post-industrial Society. In: Axel Schildt/Detlef Siegfried (Hg.), *Between Marx and Coca-Cola: Youth Cultures in Changing European Societies, 1960–1980*. Oxford: Berghahn, 59–81.
- Soskice, David, 1996: *German Technology Policy, Innovation, and National Institutional Frameworks*. WZB Discussion Paper FS I 96-319. Berlin: WZB.
- Southwest Energy Innovation Forum, 2010: *Summary Report*. Phoenix, AZ: Arizona State University, Ewing Marion Kauffman Foundation, ARPA-E.
- Spar, Deborah L., 1994: *The Cooperative Edge: The Internal Politics of International Cartels*. Ithaca: Cornell University Press.
- Spence, A. Michael, 1979: Investment Strategy and Growth in a New Market. In: *Bell Journal of Economics* 10, 1–19.
- , 1981: The Learning Curve and Competition. In: *Bell Journal of Economics* 12, 49–70.
- Stark, David, 2008: *Searching Questions: Inquiry, Uncertainty, Innovation*. Working Paper Series, Center on Organizational Innovation. New York: Columbia University.
- Stokes, Leah, 2013: The Politics of Renewable Energy Policies: The Case of Feed-in Tariffs in Ontario, Canada. In: *Energy Policy* 56, 490–500.

- Streeck, Wolfgang, 1990: *Interest Heterogeneity and Organizing Capacity: Two Class Logics of Collective Action*. Working Paper 1990/2. Madrid: Centro de Estudios Avanzados en Ciencias Sociales.
- , 1991: On the Institutional Conditions of Diversified Quality Production. In: Egon Matzner/Wolfgang Streeck (Hg.), *Beyond Keynesianism: The Socio-Economics of Production and Full Employment*. Aldershot: Elgar, 21–61.
- , 1997: Beneficial Constraints: On the Economic Limits of Rational Voluntarism. In: J. Rogers Hollingsworth/Robert Boyer (Hg.), *Contemporary Capitalism: The Embeddedness of Institutions*. Cambridge: Cambridge University Press, 197–218.
- , 2003a: *From State Weakness as Strength to State Weakness as Weakness: Welfare Corporatism and the Private Use of the Public Interest*. MPIFG Working Paper 03/2. Köln: Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung.
- , 2003b: Taking Uncertainty Seriously: Complementarity as a Moving Target. In: *Proceedings of OeNB Workshops 1/2004*, 101–115.
- , 2009a: *E Pluribus Unum? Varieties and Commonalities of Capitalism*. MPIFG Discussion Paper 10/12. Köln: Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung.
- , 2009b: *Re-Forming Capitalism: Institutional Change in the German Political Economy*. Oxford: Oxford University Press.
- Streeck, Wolfgang/Kathleen Thelen, 2005: Introduction: Institutional Change in Advanced Political Economies. In: Wolfgang Streeck/Kathleen Thelen (Hg.), *Beyond Continuity: Institutional Change in Advanced Political Economies*. Oxford: Oxford University Press, 1–39.
- Strum, Harvey, 1984: Eisenhower's Solar Energy Policy. In: *The Public Historian* 6, 37–50.
- , 1985: The Association for Applied Solar Energy/Solar Energy Society, 1954–1970. In: *Technology and Culture* 26, 571–578.
- Suck, André, 2008: *Erneuerbare Energien und Wettbewerb in der Elektrizitätswirtschaft: Staatliche Regulierung im Vergleich zwischen Deutschland und Großbritannien*. Wiesbaden: VS Verlag.
- Sweezy, Paul M., [1942]1962: *The Theory of Capitalist Development: Principles of Marxian Political Economy*. London: Dobson.
- , [1987]2004: Monopoly Capitalism. In: *Monthly Review* 56, 78–85.
- Swenson, Peter, 1997: Arranged Alliance: Business Interests in the New Deal. In: *Politics and Society* 25, 66–116.
- , 2004: Varieties of Capitalist Interests: Power, Institutions, and the Regulatory Welfare State in the United States and Sweden. In: *Studies in American Political Development* 18, 1–29.
- Temin, Peter/Louis Galambos, 1987: *The Fall of the Bell System: A Study in Prices and Politics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- ten Brink, Tobias, 2010: *Chinas Kapitalismus: Entstehung, Verlauf, Paradoxien*. Frankfurt a.M.: Campus.
- Thelen, Kathleen, 1999: Historical Institutionalism in Comparative Politics. In: *Annual Review of Political Science* 2, 369–404.
- , 2002: How Institutions Evolve: Insights from Comparative-Historical Analysis. In: James Mahoney/Dietrich Rueschemeyer (Hg.), *Comparative Historical Analysis in the Social Sciences*. New York: Cambridge University Press, 208–240.

- Thelen, Kathleen, 2010: Beyond Comparative Statics: Historical Institutional Approaches to Stability and Change in the Political Economy of Labor. In: Glenn Morgan et al. (Hg.), *The Oxford Handbook of Comparative Institutional Analysis*. Oxford: Oxford University Press, 41–61.
- , 2014: *Varieties of Liberalization and the New Politics of Social Solidarity*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Thelen, Kathleen/Ikuo Kume, 2006: Coordination as a Political Problem in Coordinated Market Economies. In: *Governance* 19, 11–42.
- Thelen, Kathleen/Richard M. Locke, 1995: Apples and Oranges Revisited: Contextualized Comparisons and the Study of Comparative Labor Politics. In: *Politics and Society* 23, 337–367.
- Tiberghien, Yves, 2007: *Entrepreneurial States: Reforming Corporate Governance in France, Japan, and Korea*. Ithaca: Cornell University Press.
- Trischler, Helmuth, 2001: Das bundesdeutsche Innovationssystem in den »langen 70er Jahren«: Antworten auf die »amerikanische Herausforderung«. In: Johannes Abele/Gerhard Barkleit/Thomas Hänseroth (Hg.), *Innovationskulturen und Fortschrittserwartungen im geteilten Deutschland*. Köln: Böhlau, 47–70.
- , 2007: Das Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik im Kontext der bundesdeutschen Forschungs- und Innovationsgeschichte: Ein zeithistorischer Essay. In: *50 Jahre Fraunhofer IAF: Jubiläumsschrift*. Freiburg: Fraunhofer IAF, 29–67.
- Trischler, Helmuth/Rüdiger vom Bruch, 1999: *Forschung für den Markt: Geschichte der Fraunhofer-Gesellschaft*. München: Beck.
- Trumbull, Gunnar, 2012: *Strength in Numbers: The Political Power of Weak Interests*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- van Lente, Harro, 1993: *Promising Technology: The Dynamics of Technological Developments*. Dissertation. Twente: University of Twente.
- Vitols, Sigurt, 1997: German Industrial Policy: An Overview. In: *Industry and Innovation* 4, 15–36.
- Vogel, Steven K., 2006: *Japan Remodeled: How Government and Industry are Reforming Japanese Capitalism*. Ithaca: Cornell University Press.
- Weber, Max, [1922]1980: *Wirtschaft und Gesellschaft: Grundriß der verstehenden Soziologie*. Tübingen: Mohr.
- , [1904/1905]1988: Die protestantische Ethik und der Geist des Kapitalismus. In: *Gesammelte Aufsätze zur Religionssoziologie I*. Tübingen: Mohr, 17–206.
- Weingart, Peter/Anita Engels/Petra Pansegrau, 2008: *Von der Hypothese zur Katastrophe: Der anthropogene Klimawandel im Diskurs zwischen Wissenschaft, Politik und Massenmedien*. Opladen: Barbara Budrich.
- Weingast, Barry R., 2002: Rational-Choice Institutionalism. In: Ira Katznelson/Helen V. Milner (Hg.), *Political Science: The State of the Discipline*. New York: W. W. Norton, 660–692.
- Weir, Margaret, 2006: When Does Politics Create Policy? The Organizational Politics of Change. In: Ian Shapiro/Stephen Skowronek/Daniel Galvin (Hg.), *Rethinking Political Institutions*. New York: New York University Press, 171–186.
- Weir, Margaret/Jane Rongerude/Christopher K. Ansell, 2011: Collaboration Is Not Enough: Virtuous Cycles of Reform in Transportation Policy. In: *Urban Affairs Review* 44, 455–489.

- Weiss, Linda, 2014: *America Inc? Innovation and Enterprise in the National Security State*. Ithaca: Cornell University Press.
- Wessner, Charles W./Alan Wm. Wolff (Hg.), 2012: *Rising to the Challenge: U.S. Innovation Policy for the Global Economy: Committee on Comparative National Innovation Policies*. Washington, DC: National Academies Press.
- Weyer, Johannes, 1993: *Akteurstrategien und strukturelle Eigendynamiken: Raumfahrt in Westdeutschland 1945–1965*. Göttingen: Otto Schwartz.
- Whitford, Josh, 2005: *The New Old Economy: Networks, Institutions, and the Organizational Transformation of American Manufacturing*. Oxford: Oxford University Press.
- , 2011: *Network Failures and Innovation in the New Old Economy*. Working Paper. CON-NECT Innovation Project.
- Wise, George, 1980: A New Role for Professional Scientists in Industry: Industrial Research at General Electric, 1900–1916. In: *Technology and Culture* 21, 408–429.
- Wüstenhagen, Rolf, 2000: *Ökostrom – von der Nische zum Massenmarkt: Entwicklungsperspektiven und Marketingstrategien für eine zukunftsfähige Elektrizitätsbranche*. Zürich: Hochschulverlag der ETH Zürich.
- Yager, Joseph A., 1981: The Energy Battles of 1979: In: Craufurd D. Goodwin et al. (Hg.), *Energy Policy in Perspective: Today's Problems, Yesterday's Solutions*. Washington, DC: Brookings Institution, 601–635.
- Yakovovich, Valery/Mark S. Granovetter/Patrick McGuire, 2005: Electric Charges: The Social Construction of Rate Systems. In: *Theory and Society* 34, 579–612.
- Yergin, Daniel, 1991: *The Prize: The Epic Quest for Oil, Money, and Power*. New York: Simon & Schuster.
- Ziegler, J. Nicholas, 1997: *Governing Ideas: Strategies for Innovation in France and Germany*. Ithaca: Cornell University Press.
- Zysman, John, 1977: *Political Strategies for Industrial Order: State, Market, and Industry in France*. Berkeley: University of California Press.
- Zysman, John/Mark Huberty, 2010: *Governments, Markets, and Green Growth: Energy Systems Transformation for Sustainable Prosperity*. Discussion Paper. Berkeley Roundtable on the International Economy. University of California, Berkeley.
- Zysman, John/Laura Tyson (Hg.), [1983]1987: *American Industry in International Competition: Government Policies and Corporate Strategies*. Ithaca: Cornell University Press.

