

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 Unterstützer 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 Unterstützerkoalitionen. Wie so viele gesellschaftliche Bewegungen löste sich die Unterstützung 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 bemängle 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 ernüchtert. 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 Industrieregung 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, sektorialem 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 Unterstützungs-koalition 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, Finanziers 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 verflieg, 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, Ölpreisstörungen, 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 Industrieregung. 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*.