



Munich Personal RePEc Archive

# **The drivers of the spatial emergence and clustering of the photovoltaic industry in Germany.**

Breul, Moritz and Broekel, Tom and Brachert, Matthias

Universität zu Köln, Leibniz Universität Hannover, Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung

2015

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/67959/>

MPRA Paper No. 67959, posted 18 Nov 2015 23:27 UTC

# Die Treiber der räumlichen Emergenz und Konzentration der Photovoltaik-Industrie in Deutschland

Moritz Breul\*, Tom Broekel\*\*, Matthias Brachert\*\*\*

\* Geographisches Institut,  
Universität zu Köln  
moritz.breul@uni-koeln.de

\*\* Institut für Wirtschafts- und Kulturgeographie,  
Leibniz Universität Hannover

\*\*\* Abteilung Strukturwandel und Produktivität,  
Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung Halle

## Abstract

**The drivers of the spatial emergence and clustering of the photovoltaic industry in Germany.** Following the *relatedness* literature, we explore to what extent related industries influenced the regional emergence of the PV-industry. In addition, we shed light on factors explaining selective processes of clustering. We particularly argue that generic resources and resources of related activities have been crucial for the regional concentration in early phases of the industry life cycle. With increasing maturity, industry-specific resources became more important. Based on a unique dataset containing population dynamics of the German PV-industry, the hypotheses are tested empirically. Our results partially confirm the assumed beneficial effects of related industries for the emergence of the PV-industry. Moreover, we observe changes in the relative importance of factors supporting regional concentration, with industry-specific resources becoming dominant as the industry matures.

## 1 Einleitung

Der Fähigkeit von Regionen zur Schaffung und Ansiedlung neuer Branchen wird eine große Bedeutung in der längerfristigen regionalen Entwicklung zugesprochen. Neue Branchen fungieren als Impetus für das wirtschaftliche Wachstum und die Beschäftigung einer Region (NEFFKE et al. 2011a; FORNAHL et al. 2012). Diese Fähigkeit ist jedoch sehr ungleich im Raum verteilt. Das hat zur Folge, dass auch die Entstehung neuer Industrien sehr heterogen im Raum

erfolgt (BRACHERT et al. 2013a), was sich langfristig in stark variierenden Wachstumsdynamiken von Regionen niederschlägt (SCOTT 1988; STORPER/WALKER 1989; MARTIN/SUNLEY 2006).

Vor diesem Hintergrund ist es nicht überraschend, dass sich in den letzten Jahren vermehrt Studien mit wirtschaftsgeographischem und industrieökonomischem Hintergrund der räumlichen Evolution von Industrien zugewandt und diese primär anhand von Fallstudien beleuchtet haben (KLEPPER 2006; BOSCHMA/WENTING 2007; BUENSTORF et al. 2012).

Allerdings gibt es noch Lücken in der empirischen Evidenz für diese Prozesse. Neben den raumstrukturellen Treibern von Gründungsaktivitäten (STERNBERG 2009; BOSMA/STERNBERG 2014) wurden zwar insbesondere Spin-Off Dynamiken und Agglomerationsexternalitäten als wichtige Faktoren für die Herausbildung von räumlichen industriellen Konzentrationen identifiziert (ARTHUR 1994; KLEPPER 2006), aber noch ist wenig darüber bekannt, wie sich ihre relative Bedeutung über den Lebenszyklus einer Industrie verändert (NEFFKE et al. 2011b). Dies betrifft insbesondere die Frage, ob die Faktoren, welche die Emergenz einer Industrie begünstigen auch entscheidend für ihr späteres Wachstum und damit potentiell einhergehende räumliche Konzentrationsprozesse sind (BRACHERT/HORNYCH 2011).

Die vorliegende Studie setzt sich zum Ziel, am Beispiel der Photovoltaik-Industrie (PV-Industrie) die räumlichen Muster ihrer Entstehung und Entwicklung aufzudecken sowie zu erklären. Im Rahmen der Evolutionären Wirtschaftsgeographie sowie der Literatur zu regionalen technologischen Pfaden und *related variety* wird dabei insbesondere der Frage nachgegangen, in wie weit existierende regionale industrielle Strukturen, im Sinne von verwandten Branchen, die räumliche Emergenz und Verteilung der PV-Industrie sowie ihre räumliche Konzentration erklären können.

Die PV-Industrie in Deutschland ist in diesem Zusammenhang ein besonders spannendes Beispiel, da sie sich durch ihre extrem dynamische Entwicklung auszeichnet, in der sie bereits wenige Jahrzehnte nach Entstehung mehrere Lebenszyklusphasen durchlaufen hat. Neben dem Beitrag zur oben ausgewiesenen Literatur stellt die Arbeit somit eine quantitativ-empirische Fallstudie zur PV-Industrie dar, zu deren Evolution bisher vorwiegend qualitative und deskriptive Erkenntnisse vorliegen (BRACHERT/HORNYCH 2011; BRACHERT et al. 2013b). Wir wollen damit Erkenntnisse existierender Studien quantitativ empirisch validieren und somit ihre Generalisierbarkeit erleichtern.

Zunächst werden der theoretische Rahmen sowie ein Überblick über bisherige empirische Studien zur Entstehung neuer Industrien dargelegt und Hypothesen abgeleitet. Anschließend wird die Evolution der PV-Industrie in Deutschland deskriptiv dargestellt. Im folgenden Kapitel wird

das ökonomische Vorgehen beschrieben und die Datengrundlage vorgestellt, um anschließend die empirischen Resultate zu diskutieren. In einer Schlussbetrachtung werden das methodische Vorgehen kritisch reflektiert, die Ergebnisse zusammengefasst und offene Fragen für zukünftige Forschungsvorhaben aufgezeigt.

## **2 Die Entstehung neuer Industrien im Raum aus evolutionärer Perspektive**

### **2.1 Lokalisationsphase**

Zur Erklärung der räumlichen Entstehung neuer Branchen entwickelten SCOTT und STORPER (1987) sowie anschließend STORPER und WALKER (1989) das Window of Locational Opportunity (WLO) Konzept. Nach diesem Ansatz stellen *trigger events* den Ausgangspunkt für die Entstehung von Standorten neuer Branchen dar. Diese ersten Standortmuster sind dabei relativ willkürlich und unvorhersehbar im Raum verteilt. Grund hierfür ist die große Diskrepanz zwischen den Anforderungen der neuen Industrie und der gegenwärtigen regionalen Ausstattung, welche sich unmittelbar aus der „Neuheit“ der Branche ergibt. So benötigen neue Industrien andere, d.h. neue Wissensbestände, Fähigkeiten, Inputs und Institutionen, welche bisherige Organisationen durch ihre Ausrichtung auf bereits existierende (d.h. alte) Technologien und Routinen nicht bereitstellen können (BOSCHMA/LAMBOOY 1999). Folglich sind neu entstehende Branchen durch einen relativ hohen Freiheitsgrad hinsichtlich der Standortwahl gekennzeichnet. Eine Annäherung des regionalen Umfeldes und dieser neuen Branchen erfolgt über die Zeit durch wechselseitige Anpassungsprozesse (STORPER/WALKER 1989).

In späteren Erweiterungen des Konzepts wird die Annahme der Zufälligkeit der Standortwahl neuer Branchen revidiert (BOSCHMA/LAMBOOY 1999). Zu Beginn der Branchenentstehung mag es zwar aufgrund der Neuheit keine Unterschiede in der regionalen Ausstattung an branchenspezifischen Ressourcen geben, dennoch kann das Aufkommen der ersten Generation von Unternehmen einer neuen Branche nicht ausschließlich durch Zufall erklärt werden. Vielmehr steht die Emergenz einer neuen Branche in engen Zusammenhang mit den in der Region existierenden Erfahrungen, Wissensbeständen, Fähigkeiten und Kontakten, die aufgrund in der Region bestehender industrieller Entwicklungspfade bereits vorhanden sind (FORNAHL et al. 2012). Demnach bilden Regionen, welche mit Ressourcen aus verwandten Aktivitäten ausgestattet sind, vorteilhafte Standortbedingungen für die Emergenz der neuen Branche.

Auf dieser Idee baut das Konzept der *related variety* auf. Das Konzept betont, dass Wissensspillover nicht zwischen allen Branchen mit gleicher Intensität stattfinden. Vielmehr bedarf es

eines gewissen Grades an kognitiver Nähe zwischen Akteuren, um einen wirksamen Wissenstransfer zu ermöglichen (BOSCHMA 2008). Das bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit der Entstehung von Neuheit im Allgemeinen und von neuen Branchen im Besonderen erhöht wird, wenn in Regionen Industrien angesiedelt sind, die durch eine gewisse technologische Verwandtschaft geprägt sind (BOSCHMA/FRENKEN 2011b). Dies ermöglicht effizienteren Wissensaustausch, was die Entstehung von Innovationen und damit neuen Branchen fördert. Gleichzeitig muss die technologische Basis der Branchen hinreichend verschieden sein, um genügend Potential für neue Wissens(re)kombinationen zu erlauben. NOOTEBOOM (2000) spricht in diesem Zusammenhang von einer „optimalen kognitiven Distanz“, die auf der einen Seite effektive Kommunikation und Wissensaustausch ermöglicht, aber gleichzeitig ein hinreichendes Potential für gegenseitiges Lernen und neuartige Wissenskombinationen fördert. Diese ist zwischen verwandten Wissensgebieten häufiger gegeben als zwischen nicht verwandten Wissensgebieten (FRENKEN et al. 2007).

Der Prozess, in dem neue Branchen aus dem regionalen Bestand technologisch verwandter Branchen entstehen und diesen weiter ausbauen, wird als *regional branching* (BOSCHMA/FRENKEN 2011a) bezeichnet und manifestiert sich in verschiedenen Diversifikationsmechanismen (ASHEIM et al. 2011; BUENSTORF et al. 2012). So wird beispielsweise, die Diversifizierung bestehender Unternehmen aus verwandten Branchen als Initialzündung für den ersten regionalen Eintritt einer neuen Branche hervorgehoben (HELFAF/LIEBERMAN 2002; KLITKOU/COENEN 2013). Ein weiteres Beispiel sind *regional branching* Prozesse als Folge von Spin-Off Aktivitäten von Entrepreneuren die einen Hintergrund in verwandten Branchen haben. KLEPPER (2007) sowie BOSCHMA und WENTING (2007) demonstrieren am Beispiel der Automobilindustrie, dass Spin-Offs mit Ursprung in verwandten Branchen, wie der Kutschenindustrie, von ihren Fähigkeiten und Erfahrungen profitieren und sich gegenüber Entrepreneuren ohne diesen Vorzug im Selektionsprozess behaupten können. Beide Mechanismen, betriebliche Diversifikation und Spin-offs, wirken primär regional, da neue Unternehmenssparten zumeist in unmittelbarer Nähe zu existierenden Betriebsstätten aufgebaut werden und Spin-Offs dazu neigen, sich in räumlicher Nähe zum Mutterunternehmen anzusiedeln. Weitere Prozesse, die hier eine Rolle spielen, sind die räumlich beschränkte Arbeitnehmermobilität sowie Wissensdiffusion in sozialen Netzwerken, die ebenfalls innerhalb relativ kleinräumiger Gebiete intensiver ausgeprägt sind (ASHEIM et al. 2011).

Erste empirische Studien am Beispiel spanischer (BOSCHMA et al. 2013) und schwedischer Regionen (NEFFKE et al. 2011a) belegen die Relevanz des *regional branching* und entsprechend

von pfadabhängigen regionalen Diversifizierungsprozessen<sup>1</sup>. Hieraus lässt sich folgende Hypothese ableiten:

*H 1.1: Der regionale Bestand an Unternehmen aus verwandten Branchen begünstigt die Emergenz einer neuen Industrie in eine Region.*

Gemäß dem erweiterten WLO-Konzept sind in der Entstehungsphase der räumlichen Industrieentwicklung aufgrund einer (noch) fehlenden industriespezifischen Ausstattung, neben Ressourcen aus verwandten Aktivitäten, generische Ressourcen von Relevanz (BOSCHMA/LAMBOOY 1999). In diesem Zusammenhang unterstützt Urbanisation das Herausbilden einer neuen Branche, indem sie Zugang zu generischen Inputs, wie Humankapital, Dienstleistungen und Infrastruktur bereitstellt (HOOVER/VERNON 1962).

*H 1.2: Neue Branchen entstehen eher in urbanen als in ländlichen Räumen.*

## **2.2 Räumliche Konzentration**

Einige Regionen schaffen es zwar Standorte einer neuen Branche zu werden, profitieren jedoch nicht notwendigerweise von ihrem weiteren Wachstum, da industrielle Konzentrationsprozesse häufig dazu führen, dass sich in nur wenigen Regionen signifikante Unternehmensagglomerationen einer Branche herausbilden. Doch welche regionalen Eigenschaften begünstigen solche Konzentrationsprozesse? Die Literatur stellt zur Klärung dieser Frage u.a. mit Industriedistrikten (MARSHALL 1920), italienischen Industriedistrikten (PYKE et al. 1990), Clustern (PORTER 1998) und innovativen Milieus (CAMAGNI 1995) ein breites Spektrum an Konzepten bereit, welche sich jeweils durch unterschiedliche Akzentuierungen in ihrer Begründung auszeichnen<sup>2</sup>. Die evolutionäre Ökonomie betont Spin-Offs und Agglomerationsexternalitäten als Erklärungsmechanismen (ARTHUR 1994; KLEPPER 2006).

Spin-Off Prozesse sind ein Übertragungskanal, in dem Routinen und Wissen von einer Mutterorganisation in ein neues Unternehmen diffundieren. Dabei fungiert der Unternehmensbestand als potenzielle Keimzelle für neue Gründungen. Der Mechanismus ist mit einem sich selbstverstärkenden, dem Schneeballprinzip ähnelnden Prozess zu vergleichen, denn die Wahrscheinlichkeit für eine weitere Ausgründung ist abhängig von der Anzahl der Unternehmen in der Region. Es handelt sich, wie oben beschrieben, um ein primär lokales Phänomen (BOSCHMA/FRENKEN 2011b). Die Rolle von Spin-Off Dynamiken in der Entstehung regionaler

Branchencluster wurde anhand vielzähliger Beispiele, wie der Informations- und Kommunikationstechnologie im Silicon Valley (SAXENIAN 1994) oder der Automobilindustrie in Detroit (Klepper 2007), nachgewiesen.

Im Kontext der Industrieentwicklung ist es naheliegend, die Relevanz von Spin-Off Prozessen mit industriespezifischem Hintergrund für die Branchenkonzentration in der Entstehungsphase einer Branche, aufgrund des (noch) geringen Bestands, als weniger relevant einzuschätzen. Vielmehr ist, wie bereits im Zusammenhang mit der räumlichen Emergenz einer neuen Industrie diskutiert, der Einfluss verwandter Branchen wahrscheinlich bedeutender. Mit zunehmender Präsenz einer Branche in einer Region werden Spin-Offs aus den Unternehmen dieser Branche immer relevanter, wie es am Beispiel der räumlichen Evolution der britischen Automobilindustrie empirisch gezeigt wurde (BOSCHMA/WENTING 2007).

Neben Spin-Off Prozessen werden Agglomerationsexternalitäten eine bedeutende Rolle für die Herausbildung von regionalen Branchenkonzentrationen zugeschrieben. Diese Externalitäten stellen Vorteile dar, welche sich aus der Ko-Lokalisierung von ökonomischen Akteuren ableiten lassen (NEFFKE et al. 2011b). Sie sind demnach die räumliche Konnotation von *increasing returns* (KRUGMAN 1991). Es ist üblich, zwischen Urbanisations- und Lokalisationsexternalitäten zu differenzieren (HOOVER 1948). Erstere beziehen sich auf Externalitäten, die aus der räumlichen Konzentration von ökonomischen Akteuren verschiedener Branchen resultieren, wohingegen sich letztere auf Effekte beziehen, die sich aus der Agglomeration von Unternehmen der gleichen Branche ergeben (BOSCHMA/WENTING 2007). Urbane Regionen bieten jungen Branchen Vorteile für ihre Entwicklung, da aufgrund ihrer Größe und stärkeren Diversität ihrer Industriestruktur in ihnen die Wahrscheinlichkeit höher ist, generische Ressourcen vorzufinden, die junge Branchen benötigen. Zu diesen Inputs, die urbane Regionen eher bereitstellen können, gehören insbesondere Humankapital, Dienstleistungen und Infrastruktur (HOOVER/VERNON 1962). In anderen Regionen müssen diese erst langsam herausgebildet werden. Das motiviert die nächste Hypothese:

*H 2.1: Urbane Räume bieten zu Beginn der Industrieentwicklung begünstigende Rahmenbedingungen für die regionale Konzentration.*

Des Weiteren ist anzunehmen, dass in diesem Stadium Agglomerationsexternalitäten basierend auf der regionalen Konzentration verwandter Branchen eine unterstützende Rahmenbedingung für die Clusterung der neuen Branche darstellen (BOSCHMA/WENTING 2007). Diese Branchen konnten aufgrund ihrer bereits längeren Existenz in der Region eigene spezifische Ressourcen,

wie Wissen und Arbeitskräfte, herausbilden, welche aufgrund der Verwandtschaft mit der neuen Branche für deren Entwicklung hilfreich sind. Dies wird im Konzept der *related variety* aufgegriffen und argumentiert, dass konzentrationsfördernde Externalitäten häufig aus der Agglomeration von mit der neuen Branche verwandten Branchen in Regionen hervorgehen (BOSCHMA/WENTING 2007; BOSCHMA/FRENKEN 2011a). Dies nimmt Hypothese 2.2. auf:

*H 2.2: Zu Beginn der Industrieevolution ist der regionale Bestand verwandter Branchen für die Konzentration von neuen Branchen in der Region förderlich.*

Im Verlauf der weiteren Industrieevolution kommt es zu wechselseitigen Anpassungsprozessen zwischen der neuen Branche und ihrem regionalen Umfeld. Beispielsweise schaffen Investitionen in Forschung und Entwicklung (FuE) industriespezifisches Wissen, und die Beschäftigten erlangen industriespezifische Fähigkeiten durch *on-the-job-learning* (BOSCHMA/LEDDER 2010). Mit zunehmendem Etablierungsgrad der Branche werden die bis dahin kreierte spezifischen Ressourcen immer wichtiger. Sobald eine kritische Masse der neuen Industrie in der Region erreicht ist, führt steigende Nachfrage nach spezifischen Ressourcen zur Entstehung einer effizienten „local production environment“ (BOSCHMA/LAMBOUY 1999). Gemäß des Marshall'schen Dreiklangs bestehend aus Wissens-Spillovern, der Akkumulation an spezialisiertem Humankapital sowie spezialisierten Zulieferern profitieren Unternehmen vermehrt von der Ko-Lokalisierung mit Unternehmen der gleichen Branche (BOSCHMA/LAMBOUY 1999). Regionen mit entsprechenden Vorteilen verfügen folglich über eine höhere Wahrscheinlichkeit, weitere Unternehmen der neuen Branche anzuziehen. Ein sich selbstverstärkender Prozess nach dem Prinzip der *cumulative causation* (MYRDAL 1957) wird in Gang gesetzt.

Allerdings können von der Ko-Lokalisierung zu anderen Unternehmen der gleichen Branche auch negative Effekte aufgrund des starken lokalen Wettbewerbsdrucks ausgehen (BOSCHMA/WENTING 2007). Diese sind jedoch in der Regel geringer als die Vorteile. Die letzte Hypothese nimmt diese Argumentation auf:

*H 2.3: Mit zunehmender Etablierung der neuen Industrie wird die regionale Branchenkonzentration mehr und mehr vom bereits in der Region existierenden Bestand getrieben.*



### **3 Die Evolution der deutschen Photovoltaik-Industrie**

Zur Bedeutung der verschiedenen Typen von Agglomerationsexternalitäten für die ökonomische Performanz von Regionen und Unternehmen gibt es zahlreiche empirische Studien<sup>3</sup>. Empirische Erkenntnisse im Kontext zur Industrieentwicklung dagegen existieren bislang nur vereinzelt. BOSCHMA und WENTING (2007) bestätigen die Relevanz von verwandten Branchen sowie deren abnehmende Bedeutung im Evolutionsverlauf für die Herausbildung räumlicher Muster neuer Branchen für den Fall der britischen Automobilindustrie. Lokalisationseffekte hingegen konnten nicht nachgewiesen werden<sup>4</sup>. Neffke et al. (2011b) bestätigen die wandelnde Bedeutung von Urbanisations- zu Lokalisationsvorteilen für schwedische Regionen. Für Deutschland im Allgemeinen und für die PV-Industrie, als noch relativ junge Branche, im Besonderen existieren bisher keine Studien, was die vorliegende Arbeit motiviert.

Die Photovoltaik-Industrie in Deutschland ist ein interessantes Fallbeispiel für die Evolution einer Industrie. Sie ist zum einen eine noch sehr junge Branche, zu der es insgesamt nur wenige wirtschaftsgeographische Erkenntnisse gibt, zum anderen zeichnet sie sich in Deutschland durch eine extrem dynamische Entwicklung aus. Im Folgenden werden die Entstehungsphase (bis 1999) und die Konzentrationsphase auf Ostdeutschland (ab 2000) dargestellt<sup>5</sup>.

#### **Entstehungsphase**

Die PV-Industrieentwicklung ist eng mit historischen Ereignissen und daraus hervorgehenden politischen Interventionen verbunden. So führte die erste Ölkrise zur Förderung erneuerbarer Energietechnologien, so dass in den 1970er Jahren eine erste PV-Wissensbasis entstand (FUCHS/WASSERMANN 2012). In den nachfolgenden zwei Jahrzehnten bestand die Industrie aus einigen wenigen großen Unternehmen wie Siemens oder AEG Telefunken (JACOBSSON et al. 2004). Anders als in klassischen Industrielebenszyklen stagnierte die Branchenpopulation lange Zeit (vgl. Abb. 1). Trotz wachsender Wissensbasis hemmten fehlende Marktperspektiven aufgrund von hohen Kosten das weitere Branchenwachstum (BLANKENBERG/DEWALD 2013).

Abbildung 2 illustriert die räumlichen Muster der PV-Industrie zu verschiedenen Zeitpunkten. 1992 existierten gerade einmal 18 Betriebe, die sich auf 15 Regionen (Raumordnungsregionen) verteilten. Aufgrund der deutschen Teilung beschränkte sich die Emergenz der neuen Branche in der Entstehungsphase mit Ausnahme von Südsachsen auf westdeutsche Regionen in Bayern, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen, Schleswig-Holstein und Hamburg. In dieser Phase gab es noch keine Anzeichen für die Herausbildung einer signifikanten PV-Industrieagglomeration.

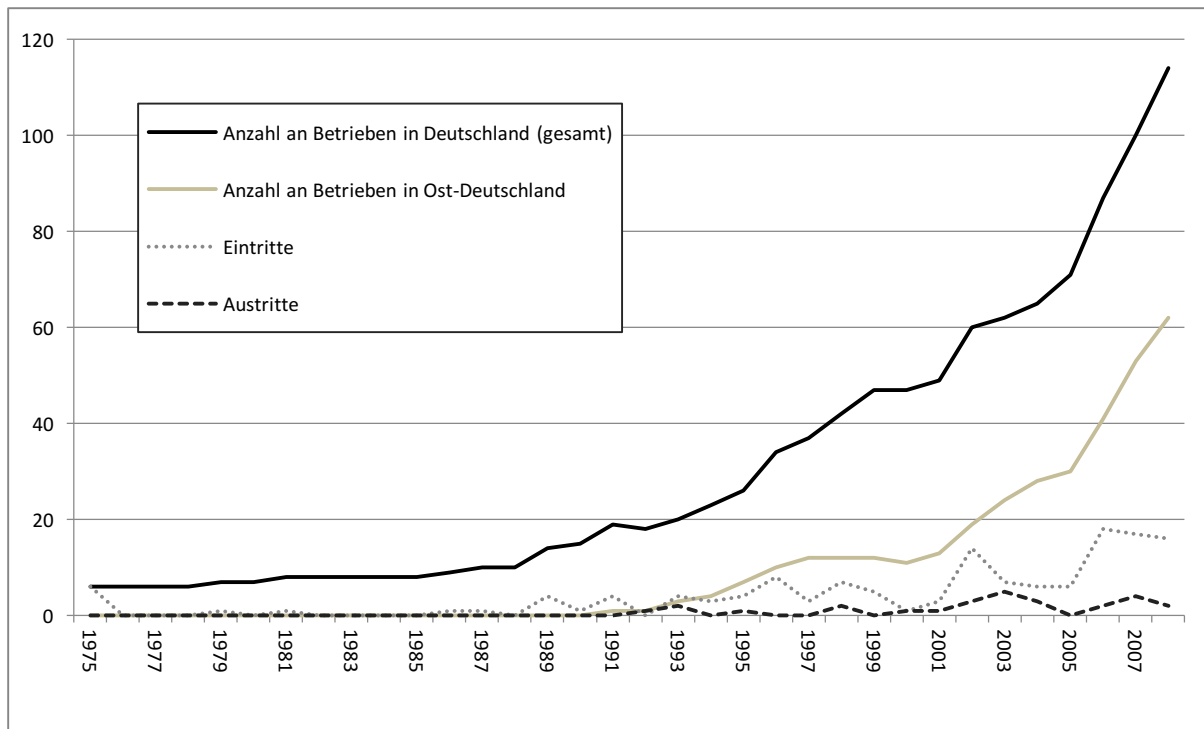


Abbildung 1: Branchendynamik der deutschen PV-Industrie 1975-2008 (Quelle: IWH-Datenbank-PV, eigene Abbildung)

Ein wirkliches Wachstum der Branchenpopulation setzte erst mit der Einführung nachfrageinduzierender Maßnahmen, wie dem Stromeinspeisegesetz (1991) und dem 1.000-Dächer-Programm (1990-1995), ein (vgl. Abb. 1). Das Wachstum der PV-Population sorgte für eine signifikante geographische Diffusion der neuen Branche. Die PV-Branche umfasste 1999 bereits 47 Betriebe, die sich auf 29 Regionen verteilten. Es ist insbesondere eine verstärkte Emergenz der Industrie in ostdeutschen Regionen zu beobachten. 1999 waren 26% der Betriebe in Ost-Deutschland lokalisiert. Diese Entwicklung kann bedeuten, dass die Branche trotz bereits jahrzehntelanger Existenz weiterhin einen relativ hohen Freiheitsgrad hinsichtlich der Standortwahl besaß bzw. dass die „Windows-of-locational-opportunity“ immer noch weit geöffnet waren. BRACHERT und HORNYCH (2011) nehmen an, dass insbesondere standortpolitische Maßnahmen sowie die Existenz von generischen Ressourcen durch den Bestand verwandter Branchen die Emergenz in ostdeutschen Regionen begünstigt haben.

Erste Ansätze der Branchenkonzentration sind in den Regionen Hamburg und bayerischer Untermain mit jeweils vier Betrieben sowie Aachen, südlicher Oberrhein und Mittelthüringen mit je drei Betrieben in dieser Phase zu beobachten. Mit Ausnahme von Mittelthüringen waren diese Regionen bereits in der vorangegangenen Phase Standorte der PV-Industrie.

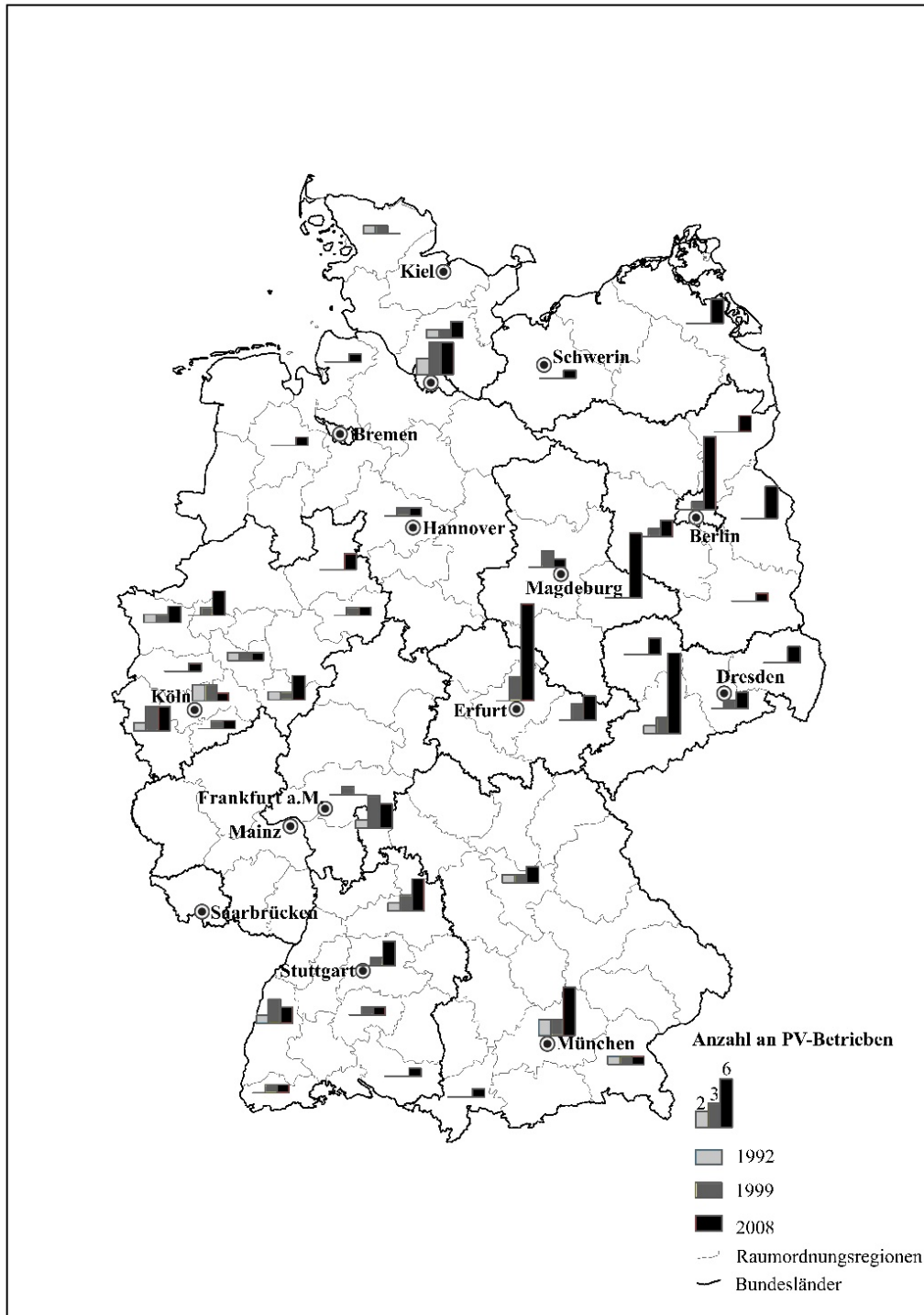


Abbildung 2: Regionale Verteilung der PV-Betriebe im Verlauf der Industrieentwicklung (Quelle: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2011, IWH-Datenbank-PV, eigene Abbildung)

### Konzentrationsphase

Mit dem Regierungswechsel 1998 (rot-grüne Koalition) wird der Ausbau erneuerbarer Energien weiter verstärkt. Die neue Regierung verabschiedete mit dem 100.000-Dächer-Programm

(1999-2003) und dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) (2000) neue, größere, nachfrageinduzierende Fördermaßnahmen. Verglichen mit vorherigen politischen Interventionen (s.o.) waren diese Maßnahmen langfristig angelegt und versprachen Unternehmen Planungssicherheit (FUCHS/WASSERMANN 2012). Die Kombination aus EEG und 100.000-Dächer-Programm ließ Solarenergie zu einer äußerst lukrativen Investitionsmöglichkeit werden<sup>6</sup>. Aus der erhöhten Nachfrage ging ein steiles Wachstum der Branche hervor (vgl. Abb. 1). Quellen für Markteintritte von PV-Firmen lassen sich in dieser Phase auf die Ausweitung von Aktivitäten bestehender Unternehmen, Spin-Offs bestehender PV-Unternehmen und die Ansiedlung ausländischer Produzenten zurückführen (BLANKENBERG/DEWALD 2013). Mit dem stetigen Wachstum der Branche ging auch die weitere räumliche Expansion einher. So war die PV-Industrie 2008 in 41 der 96 Regionen mit insgesamt 114 Betrieben vertreten. Grundsätzlich sind Markteintritte in allen Landesteilen auszumachen. Allerdings fanden neue Markteintritte schwerpunktmäßig in ostdeutschen Regionen statt, so dass 2008 der Bestand in Ost-Deutschland bereits 54% der Gesamtpopulation ausmachte. Das räumliche Muster der PV-Industrie erfuhr eine Verschiebung der relativen Bedeutung von westdeutschen Regionen, wie Baden-Württemberg, mit langjähriger Branchenerfahrung in Richtung ostdeutscher Regionen (vgl. Abb. 1 u. 2). Es waren insbesondere ostdeutsche Regionen, in denen sich nun eine beachtliche Zahl an PV-Betrieben konzentrierte (Mittelthüringen (12), Südsachsen (10), Berlin (9), Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg (8)). Zuvor genannte westdeutsche Regionen mit anfänglichen Konzentrationsansätzen hielten mit dieser Dynamik nicht mit. Unvorhersehbar folgte der Konzentrationsprozess nicht entlang eines raumzeitlichen Entwicklungspfades, welcher Eintritte an frühen Standorten der PV-Industrie begünstigt. Es scheint entgegen der Annahme von BOSCHMA und LAMBOOY (1999) zumindest bis dahin kein regionaler *early-mover advantage* für die PV-Industrie bestanden zu haben.

## **4 Ökonometrische Analyse**

### **4.1 Empirischer Ansatz für die Emergenz der Photovoltaik-Industrie**

Um zu bestimmen, welche Determinanten den räumlichen Pfad der Industrieentwicklung erklären können, wird der ökonometrische Ansatz von BUENSTORF et al. (2012) verwendet. In diesem steht die regionale Varianz der Zeitdauer bis zum ersten Markteintritt eines PV-Betriebs in den 96 deutschen Raumordnungsregionen (ROR) im Fokus und soll mittels eines Regressionsansatzes erklärt werden.

Die Untersuchung umfasst den Zeitraum von 1993 bis 2008. Zwar existierte die deutsche PV-Industrie schon seit den 70er Jahren, sie umfasste allerdings in den ersten Jahrzehnten nur einige wenige Firmen (vgl. Abb. 1). Ein substanzieller Markt und das damit einhergehende Branchenwachstum entstanden erst mit den nachfraginduzierenden politischen Maßnahmen Anfang der 90er Jahre (BLANKENBERG/DEWALD 2013). Ferner liegt die Wahl des Zeitraums in der eingeschränkten Verfügbarkeit der Daten zur Konstruktion der erklärenden Variablen begründet. Von der Verwendung eines klassischen OLS-Regressionsmodells soll aufgrund folgender Eigenschaften der Daten abgesehen werden: Zum einen kann die abhängige Variable, Dauer bis zum ersten Eintritt eines PV-Betriebs in einer Region, keine negativen Werte annehmen. Zum anderen hat nicht in jede ROR, die als Beobachtung fungiert, ein Markteintritt im Untersuchungszeitraum stattgefunden (zensierte Daten). Darüber hinaus tendieren Residuen von solchen *time-to-event* Beobachtungen dazu, nicht normalverteilt zu sein, und verletzen somit grundsätzliche Annahmen der OLS-Teststatistiken. Hazard-Raten-Modelle hingegen erlauben den Umgang mit der dargestellten Spezifität der Daten (JENKINS 2005). Die Hazard-Funktion gibt dabei die bedingte Wahrscheinlichkeit an, dass zum Zeitpunkt  $t$  ein konkretes Ereignis in der Beobachtungseinheit  $i$  geschieht. Im hier angewandten Zusammenhang handelt es sich um die Eintrittswahrscheinlichkeit für den ersten Markteintritt eines PV-Betriebs in eine ROR. Das *Cox proportional hazard model* (COX 1972) erfreut sich aufgrund seines semiparametrischen Charakters großer Beliebtheit. Allerdings wird bei dessen Anwendung häufig nicht berücksichtigt, dass es sich um ein kontinuierliches Zeit-Modell handelt, die zugrunde liegenden Daten jedoch einen zeitdiskreten Charakter aufweisen (JENKINS 2005). Im vorliegenden Fall findet die Zeitdauer des Markteintritts auf einem diskreten einjährigen Intervall statt. Diesem Umstand soll durch die Verwendung eines komplementären Log-Log-Modells begegnet werden. Diese Unterart der generalisierten linearen Modelle erlaubt die diskrete Darstellung von Daten mit eigentlich kontinuierlichem Hintergrund und weist ansonsten gleiche Charakteristika des *Cox proportional hazard models* auf (BUENSTORF et al. 2012). Das Modell nimmt folgende Form an:

$$H_i(t, X, Z) = 1 - \exp(-\exp[c(j) + \beta'X_{it} + \theta'Z_i])$$

Hier steht  $H_i(t, X, Z)$  für die Wahrscheinlichkeit, dass zum Zeitpunkt  $t$  in der ROR  $i$  der erste PV-Betrieb eintritt.  $t$  wird in Jahren gemessen, beginnend mit 1993 als erstes Jahr im Untersuchungszeitraum. Auf der rechten Seite der Gleichung repräsentiert  $Z_i$  die zeitinvarianten und  $X_{it}$  die zeitvarianten Kovariaten. Dabei stellen  $\beta$  und  $\theta$  die Regressionskoeffizienten dar.  $c(j)$

ist die *baseline hazard function*, welche die erwartete Wahrscheinlichkeit für das Eintreffen des Ereignisses angibt, wenn gilt:  $X_{it} = 0$  und  $Z_i = 0$ .

Der Datensatz umfasst im Beobachtungszeitraum insgesamt 40 Ereignisse. In der Literatur wird für Hazard-Modelle ein Verhältnis von zehn beobachteten Ereignissen pro Kovariate als angemessen eingeschätzt, um Probleme des Overfitting zu vermeiden (HARRELL et al. 1985). Aufgrund der geringen Anzahl an Ereignissen im Verhältnis zu den theoretisch relevant erscheinenden Einflussfaktoren wird eine manuelle sukzessive Selektion der Kovariaten durchgeführt. Dabei werden dem Modell in einem schrittweisen Verfahren erklärende Variablen hinzugefügt bzw. entnommen (BORTZ/SCHUSTER 2010). Die Obergrenze der Anzahl erklärender Variablen ist durch die Anzahl der Ereignisse vorgegeben.

Mit dem dargelegten Vorgehen sind einige gerechtfertigte Kritiken verbunden (WHITTINGHAM et al. 2006). So beinhaltet auch die Insignifikanz von zuvor als theoretisch relevant befundener erklärender Variablen einen bedeutenden Aussagegehalt. Deshalb wird jedes Modell des Selektionsprozesses abgebildet.

#### **4.2 Empirischer Ansatz für die räumliche Konzentration der Photovoltaik-Industrie**

Zur Untersuchung der Determinanten der räumlichen Konzentration wird ein anderer Ansatz gewählt. Zu erklären ist hier die regionale Varianz der Branchenkonzentration, die mit der Anzahl an Eintritten von PV-Betrieben in einer ROR innerhalb eines definierten Zeitraumes approximiert wird. Der vollständige Beobachtungszeitraum wird zur Berücksichtigung möglicher Industrie-Lebenszyklusphasen (vgl. Kap. 2.2) in zwei Zeitabschnitte unterteilt, die separat analysiert werden. Die erste Phase geht von 1993 bis 1999 und umfasst einen Großteil der ersten Eintrittswelle. Mit dem Jahr 2000 einhergehend begann die in Kapitel 3 dargestellte, durch nachfrageinduzierende Fördermaßnahmen ausgelöste, rasante Marktwachstumsphase der Branche.

Die abhängige Variable der Analyse entspricht mit seinen Eigenschaften dem Typ Zähldaten. Dieser Datentyp kann nur positive, diskrete Werte annehmen und ist häufig linksschief verteilt. Die Anwendung einer klassischen OLS-Regression ist folglich ungeeignet (TUTZ 2010). Die Poissonverteilung hingegen kann diskrete positive Werte annehmen, einschließlich Null, und bietet demnach ein geeigneteres Verteilungsmodell für die vorliegende Untersuchung. Die Poissonverteilung beruht auf der Äquidispersionsannahme (TUTZ 2010). Die Daten der zweiten Beobachtungsphase erfüllen diese Annahme aufgrund einer deutlich stärkeren Streuung der Residuen jedoch nicht und es kommt zur sogenannten *overdispersion*. Aus diesem Grund wird für den zweiten Beobachtungszeitraum ein negativ binominales Regressionsmodell verwendet,

welches unter Hinzufügen eines zusätzlichen Parameters eine flexiblere Modellierung der Varianz erlaubt<sup>7</sup> (ZEILEIS et al. 2008).

### 4.3 Datengrundlage

Für die empirische Überprüfung der vorangestellten Hypothesen baut die Studie auf einen Datensatz des Instituts für Wirtschaftsforschung Halle (IWH) auf, welcher die sozialversicherungspflichtig Beschäftigten innerhalb der PV-Industrie abbildet (vgl. IWH-Datenbank-PV). Dabei umfasst die Branchenpopulation alle Betriebe, die entlang des Kernbereichs der Wertschöpfungskette tätig sind (Silikon > Ingots > Wafer > Zellen > Module, sowie Hersteller von Komponenten, Solarglas und integrierte Dünnschicht-Produzenten). Der Datensatz erfasst einen Zeitraum von 1975 bis 2008 (wovon allerdings nur die Jahre ab 1993 Verwendung finden) und beinhaltet insgesamt 141 Betriebe.

Wie üblich in der Literatur, wird der Eintrittszeitpunkt eines Betriebs als der Zeitpunkt der Einstellung des ersten sozialversicherungspflichtig Beschäftigten definiert. Unberücksichtigt dabei bleibt möglicherweise die Anfangsphase eines Betriebs, in der nur der/die Gründer tätig ist/sind. Die Beendigung des Arbeitsverhältnisses des letzten sozialversicherungspflichtig Beschäftigten impliziert den Marktaustritt des Betriebs. Die Betrachtung und Analyse der Branchenpopulation findet auf Betriebsebene statt, da Betriebe eindeutig regionalisiert werden können, falls Unternehmen mehrere Betriebsstätten in unterschiedlichen Regionen besitzen sollten (BUENSTORF et al. 2010).

Vor dem Hintergrund der räumlichen Perspektive dieser Studie kommt der Abgrenzung regionaler Einheiten eine wichtige Bedeutung zu, um zusammenhängende Wirtschaftsräume in ihrer räumlichen Dynamik in der Analyse adäquat zu berücksichtigen. In der vorliegenden Arbeit werden, wie häufig in der Literatur, ROR verwendet (BROEKEL/BRENNER 2011; BUENSTORF et al. 2012). Hierbei handelt es sich um zentralörtliche Bereiche, welche mindestens ein Oberzentrum sowie dessen auf Pendlerverflechtungen basierendes Umland umfassen (BBSR o.J.). Die funktionalräumliche Abgrenzung bietet sich an, da sie die geographische Reichweite möglicher Mechanismen der Emergenz und der Konzentration der PV-Branche realitätsgetreuer wiedergibt als eine Einteilung in administrative Regionen. Des Weiteren eignet sich die Verwendung von ROR für die korrekte Regionalisierung von Patenten nach dem Erfindersitzprinzip (BUENSTORF et al. 2010), welche eine weitere wichtige Grundlage für die empirischen Untersuchungen sind.

Patentdaten werden in der vorliegenden Studie verwendet, um die regionale Wissensbasis verwandter Branchen zu approximieren. Dieses Vorgehen basiert auf folgenden Erkenntnissen:

FuE-Aktivitäten gelten als zentraler Input für die Generierung von Erfindungen, die zumindest für das Verarbeitende Gewerbe (zu dem die PV-Industrie zählt) durch Patente approximiert werden können (AUDRETSCH 1998). Patente kommen in vielen empirischen Studien zur Anwendung (HALL et al. 1986; CRÉPON/DUGUET 1997). BOTTAZZI und PERI (2003) zeigen, dass der innovationsgenerierende Effekt von FuE-Aktivitäten einen stark lokalisierten Charakter aufweist und demnach auch für Regionen als Beobachtungseinheit Gültigkeit hat. Folglich deutet die regionale Präsenz von Patenten auf zuvor stattgefundene FuE-Aktivitäten in der Region hin. FuE-Aktivitäten wiederum implizieren die Präsenz der Branche sowie entsprechende Ressourcen. Vor- und Nachteile hinsichtlich der Verwendung von Patenten als Indikatoren wurden in der Literatur umfassend diskutiert (FELDMAN/FLORIDA 1994; GRILICHES 1998) und sollen hier nicht näher ausgeführt werden.

Die Patentinformationen wurden dem Patentatlas von 2002 und 2006 entnommen (GREIF/SCHMIEDL 2002; GREIF et al. 2006). Der Patentatlas wird vom Deutschen Patent- und Markenamt (DPMA) herausgegeben und bildet einen Zeitraum von 1995 bis 2005 ab. Der Datensatz umfasst Patentanmeldungen des Europäischen Patentamts (EPO) und des DPMA mit deutschem Ursprung (ohne Doppelzählung). Dabei erfolgt die Regionalisierung der Patentanmeldungen nach Erfindersitzprinzip, um Verzerrungen durch den „headquarter effect“ zu vermeiden (GREIF/SCHMIEDL 2002). Bei Patenten mit mehreren Erfindern wird der Kehrwert der Zahl der Erfinder gebildet und ihren Regionen zugeordnet.

Der in der Studie verwendete Datensatz wurde gemäß der Aufbereitungsmethode des Patentatlases bis einschließlich 2010 um EPO-Patentanmeldungen erweitert. Die Patente sind gemäß des Systems der World Intellectual Property Organization (WIPO) 31 technischen Bereichen zugeordnet (GREIF/SCHMIEDL 2002). Bei der Verwendung von Patentdaten ist zu berücksichtigen, dass es eine gewisse Zeitdauer bedarf, bis aus FuE-Aktivitäten eine Patentanmeldung hervorgeht. In der Literatur wird häufig von einem zweijährigem time lag ausgegangen (FRITSCH/SLAVTSCHEV 2011; BROEKEL 2015). Dieser Annahme folgend, wird die Anzahl der angemeldeten Patente in einer ROR zum Zeitpunkt  $t_2$  verwendet.

#### **4.4 Konstruktion der Variablen**

*Verwandte Branchen:* Vor dem Hintergrund des Untersuchungsschwerpunktes ist die Identifikation von verwandten Branchen ein zentraler Bestandteil der Analyse. In der Literatur werden die Wissensbasen von Herstellern elektrischer Bauteile als auch der Chemiebranche als elementar für die Entwicklung der PV-Industrie angeführt (MENANTEAU 2000; GRAU et al. 2012). Insbesondere zwischen der Herstellung elektrischer Bauteile und der PV-Branche existiert eine



hohe technologische Ähnlichkeit, da sie auf der gleichen Basistechnologie beruhen (MENANTEAU 2000). Diese Befunde werden auch in den Langfriststudien von RÄUBER et al. (2003) zur photovoltaischen Stromerzeugung bestätigt. Die Autoren ermitteln hier für den Zeitraum 1983-2003, insbesondere mit Bezug auf die Zellfertigung, die engagierten Branchen im Bereich der Photovoltaik. Hier sind sowohl die Elektronik- als auch die Chemieindustrie neben den Ölkonzernen, die mit Abstand bedeutendsten Industriezweige. In der nachfolgenden Analyse soll der Einfluss dieser beiden verwandten Branchen auf die räumliche Evolution der PV-Industrie geprüft werden. Zur Abbildung der Branchen wird auf Patente zurückgegriffen, um die regionale Wissensbasis hinsichtlich dieser beiden Branchen zu approximieren. Die berücksichtigten Patente umfassen die technischen Bereiche 12 „anorganische Chemie“, 13 „organische Chemie“ und 30 „Elektrotechnik“.

*Bestand an PV-Betrieben 1992:* Aus Gründen der Datenverfügbarkeit beginnt der eigentliche Analysezeitraum erst 1993. In einigen ROR waren aber bereits zuvor PV-Betriebe vorzufinden. Aus diesem Grund wird auch eine Dummy-Variable berücksichtigt, die angibt, ob in der Region bereits vor 1993 ein PV-Betrieb lokalisiert war. Auf diese Weise soll der Einfluss von bereits bestehenden Betrieben auf die Dauer bis zum ersten regionalen Eintritt eines PV-Betriebs nach 1992 abgebildet werden, da diese als potentielle Keimzellen für Spin-Offs zur Verfügung stehen sowie die Möglichkeit der Unternehmensdiversifizierung über Tochtergesellschaften haben (KLEPPER 2007; BRACHERT/HORNYCH 2011). Entsprechend wird angenommen, dass der Markteintritt von PV-Betrieben ab 1993 in Regionen mit frühen PV-Betrieben wahrscheinlicher ist. Als Datengrundlage dient wieder der Datensatz zur Branchenpopulation.

*(Außer-)universitäre Forschungseinrichtung:* In der Literatur werden Universitäten und Forschungseinrichtungen für die Emergenz einer neuen Branche zwei relevante Funktionen zugeschrieben. Zum einen dienen sie als Quelle der Wissensgenerierung. Die öffentliche Forschung wird für die PV-Industrie als äußerst bedeutend eingeschätzt (HORNYCH/BRACHERT 2010). Geographische Nähe zu wichtigen Wissensquellen kann für den Wissenserwerb vorteilhaft sein und demnach eine entscheidende Rolle spielen (BUENSTORF et al. 2012). Zum anderen können Forschungseinrichtungen als Quelle potenzieller Markteintritte fungieren, wenn ihre Mitarbeiter sich selbstständig machen (BRENNER/MÜHLIG 2013).

Informationen zu Forschungseinrichtungen beruhen auf dem Förderkatalog, welcher Vorhaben der Projektförderung des Bundes ab 1960 umfasst (BMBF o.J.). Die Auswahl der PV-relevanten Förderprojekte innerhalb des Datensatzes erfolgte anhand der Leistungsplansystematik sowie einer ergänzenden logischen Stichwortsuche in den Titelbeschreibungen. Die Vorhaben

wurden über den Ort der ausführenden Stelle regionalisiert. Anhand des Datensatzes wurde eine Dummy-Variable als Proxy für die Präsenz von (erfolgreichen) PV-relevanten (außer-)universitären Forschungseinrichtungen in der Region erstellt. Die dichotome Variable gibt an, ob Universitäten oder außeruniversitäre Forschungseinrichtungen mit Sitz in jeweiliger ROR Fördermittel für einen PV-relevanten Themenbereich vor dem ersten PV-Eintritt im Beobachtungszeitraum erhalten haben.

*PV-Patente:* Dem Argument der Bedeutung von Nähe zu branchenspezifischem Wissen folgend (BUENSTORF et al. 2012) wird in der Analyse die Anzahl der angemeldeten PV-Patente in einer ROR zum Zeitpunkt  $t$  berücksichtigt. Als Datengrundlage dienen Patentanmeldungen des EPO sowie internationale Patentanmeldungen gemäß des *Patent Cooperation Treaty* (PCT), bei denen der Wohnsitz des Erfinders in Deutschland liegt. Für Patente mit mehreren Erfindern wird der Kehrwert der Zahl der Erfinder gebildet und den Regionen zugeordnet. Zur Filterung der PV-Patente wird von dem kürzlich neu eingeführten Klassifizierungssystem *Cooperative Patent Classification* (CPC) Gebrauch gemacht. Dies hat den Vorteil, dass „unlike existing patent classifications [...], [CPC] can also be indexed with a focus on emerging technologies using specific tags in the new Y-class“ (LEYDESDORFF et al. 2014, 6). Unter dem Klassifizierungsschlüssel „Y02E 10/50“ werden alle Patente mit Bezug zur Photovoltaik aufgeführt.

*PV-Betriebe in angrenzenden ROR:* Die Analyse beruht zwar auf funktional abgegrenzten Raumeinheiten, nichtsdestotrotz verhalten sich diese nicht notwendigerweise unabhängig voneinander. So können regionale Nachbarschaftseffekte ebenfalls einen Einfluss auf die räumliche Emergenz der PV-Industrie ausüben (BUENSTORF et al. 2012). Dem wird mit einer Variable Rechnung getragen, welche die Anzahl der PV-Betriebe in angrenzenden ROR zum Zeitpunkt  $t_1$  erfasst.

*Bevölkerungsdichte:* Mögliche Effekte, die auf unterschiedliche Größen bzw. Verstärterungsgrade im Sinne von Urbanisationseffekten zurückzuführen sind, werden durch die Bevölkerungsanzahl pro  $\text{km}^2$  berücksichtigt. Die zugrundeliegenden Daten stammen vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung und beziehen sich auf das Jahr 2011, was aufgrund ihrer relativ zeitinvarianten Eigenschaft unproblematisch ist.

*Ost-Dummy:* Aufgrund der in Kapitel 3 dargestellten auffälligen räumlichen Entwicklung der PV-Industrie in Ost-Deutschland wird das Spektrum der Kovariaten um einen Ost-Dummy ergänzt, welcher mögliche Unterschiede zwischen ost- und westdeutschen Regionen berücksichtigt.

Für die Untersuchung in Bezug auf die Branchenkonzentration kommen die gleichen erklärenden Variablen zur Anwendung wie für die Analyse der Emergenz. Allerdings werden die Variablen, die nicht zeitinvariant sind, für diese Untersuchung über mehrere Jahre gemittelt. Das betrifft insbesondere die angemeldeten Patente der PV-Branche und die der verwandten Branchen. Zusätzlich nehmen wir in diesen Untersuchungen auch das arithmetische Mittel der Gesamtbewilligungssumme (in Tausend Euro) von PV-relevanten Fördervorhaben in der ROR im jeweils betrachteten Zeitraum auf. Die Datengrundlage ist die gleiche, die auch für die Variable (außer-)universitäre Forschungseinrichtungen genutzt wird. Der Grund hierfür ist, dass die Subventionierung von FuE-Vorhaben ebenfalls ein potenzieller Einflussfaktor auf die Branchenkonzentration sein kann (PORTER 2000). Neben den zusätzlichen finanziellen Ressourcen, über die regionale Betriebe verfügen können, kann die finanzielle Unterstützung zur Erforschung eines neuen technischen Verfahrens auch zu Ausgründungen oder der technologischen Diversifizierung bestehender Unternehmen mittels Tochtergesellschaften führen. DEWALD (2012) sowie DEWALD und TRUFFER (2011; 2012) zeigen ferner die hohe Bedeutung vielfältiger lokaler und regionaler Initiativen und damit regional unterschiedlicher Institutionen zur erfolgreichen Marktformierung der Photovoltaik insbesondere im Zeitraum vor der Einführung des EEG. Diese könnten ebenso einen Effekt auf die Emergenz der PV-Industrie ausgeübt haben. Leider sind diese Informationen jedoch im Zeitverlauf auf regionaler Ebene für Deutschland nicht verfügbar und finden daher keinen Eingang in die Untersuchung.

## **5 Resultate**

### **5.1 Ergebnisdiskussion: Emergenz der Photovoltaik-Industrie**

Gemäß der sukzessiven Vorgehensweise wurden insgesamt sieben Modelle geschätzt, welche in Tabelle 1 abgebildet sind. Ost-Dummy und Bevölkerungsdichte sind in allen Modellen enthalten.

Ausgehend von den theoretischen Überlegungen wird in den Modellen 1.5 bis 1.7 der Einfluss verwandter Branchen der PV-Industrie auf die regionale Emergenz dieser überprüft (Hypothese 1.1). Das Ergebnis von Modell 1.5 zeigt, dass entgegen Annahmen bisheriger Studien, welche auf einzelnen Beispielen beruhen (BRACHERT/HORNYCH 2011; BRACHERT et al. 2013b), kein systematischer Zusammenhang zwischen der Präsenz der verwandten Branche Elektrotechnik und der Emergenz eines PV-Betriebes in einer Region vorliegt. Auch für die regionale Präsenz

der verwandten Branche organische Chemie ist kein signifikanter Einfluss nachzuweisen (vgl. Modell 1.6).

Die Bevölkerungsdichte als Proxy für Urbanisationsexternalitäten hat in den Modellen 1.1 bis 1.6 einen positiv signifikanten Einfluss auf die Hazard-Rate und bestätigt die Annahme, dass urbane Räume einen förderlichen Nährboden für die Emergenz neuer Branchen bieten, indem Zugang zu generischen Inputs und Infrastruktur bereitgestellt wird (Hypothese 1.2). Durch Hinzufügen der Variable „anorganische Chemie“ in Modell 1.7 wird der Zusammenhang jedoch insignifikant. Gleichzeitig übt die Variable „anorganische Chemie“ einen signifikant positiven Effekt auf die Hazard-Rate aus. Dieses Ergebnis impliziert, dass die räumliche Emergenz der PV-Industrie nicht auf beliebige generische Ressourcen zurückzuführen ist, sondern der Grad der *relatedness* der Ressourcen entscheidend ist. Die regionale Präsenz der anorganischen Chemie begünstigt den Zeitpunkt des Eintritts der PV-Industrie in die Region. Beispiele für eine starke Präsenz der anorganischen Chemie und einem frühe regionale Emergenz der PV-Industrie sind die ROR Rhein-Main, Köln und Aachen. Folglich kann Hypothese 1.1 zumindest partiell bestätigt werden. Die räumliche Emergenz der PV-Industrie findet nicht unabhängig von regionalen Bedingungen statt, sondern wird zu einem gewissen Grad von den industriestruktuellen Gegebenheiten des Standortes beeinflusst. Das empirische Ergebnis bestätigt somit die Erkenntnisse anderer empirischer Studien (NEFFKE et al. 2011a; BUENSTORF et al. 2012; FORNAHL et al. 2012; KLITKOU/COENEN 2013) für die PV-Industrie in Deutschland.

*Tabelle 1: Zeitdauer bis zum Markteintritt des ersten PV-Betriebs in deutschen ROR, 1993-2008 (Quelle: eigene Berechnung)*

Modell	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
Ost-Dummy	3.2382** (0.3388)	4.5787** (0.3674)	4.4432** (0.3672)	4.4567** (0.3641)	4.4711** (0.3658)	4.8575** (0.3734)	4.8813** (0.3725)
Bevölkerungsdichte	1.0006** (0.0002)	1.0005** (0.0002)	1.0005** (0.0002)	1.0005** (0.0002)	1.0005** (0.0002)	1.0004* (0.0002)	1.0004 (0.0002)
PV-Patente	1.0174* (0.0069)	1.0070 (0.0073)					
Bestand an PV-Betrieben 1992		4.6353** (0.4072)	5.1119** (0.3933)	5.1702** (0.3860)	5.0168** (0.3998)	5.1321** (0.3869)	4.6281** (0.3872)
(außer-) universitäre Forschungseinrichtung			0.9693 (0.3413)				
PV-Betriebe in angrenzenden ROR				0.9240 (0.0727)			
Elektrotechnik					1.0002 (0.0021)		
Organische Chemie						1.0078 (0.0046)	
Anorganische Chemie							1.0377* (0.0178)
Anzahl an Ereignissen	40						
Log Likelihood	20.1066	31.9554	31.1957	32.56492	31.2034	33.3101	34.5802
(p>chi <sup>2</sup> )	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)
Nagelkerkes R <sup>2</sup>	0.0657	0.1039	0.1014	0.1058	0.1014	0.1082	0.1123

Koeffizienten entsprechen den odd ratios; Standardfehler in Klammern;

\*\* statistisch signifikant auf dem 1%-Niveau; \*statistisch signifikant auf dem 5%-Niveau

In Modell 1.1 wird die Beziehung zwischen dem regionalen Bestand an branchenspezifischem Wissen („PV-Patente“) und der Zeitdauer bis zum regionalen Eintritt des ersten PV-Betriebs getestet. Wie vermutet, werden Regionen mit einem größeren Bestand an branchenspezifischem Wissen relativ früh zu Standorten der PV-Industrie. Allerdings wird dieser Effekt in Modell 1.2 durch das Hinzufügen der Dummy-Variable „Bestand an PV-Betrieben 1992“, welche die regionale Präsenz von Firmen in den Jahren vor 1993 berücksichtigt, insignifikant. Dagegen hat diese Variable erwartungsgemäß einen signifikant positiven Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines weiteren PV-Betriebs in die Region. Zwei Erklärungen bieten sich hier an: Zum einen ist es nicht die Nähe zu PV-Wissen per se, sondern vielmehr die Nähe zu stärker angewandtem Wissen mit impliziter Natur, die hier von Bedeutung ist. Zum anderen können bestehende PV-Betriebe (die sich für einen Großteil der Patente verantwortlich zeigen) auch als Mutterorganisationen von Spin-offs fungiert haben. Mit den vorliegenden Daten kann zwischen beiden Erklärungen leider nicht differenziert werden.

Die regionale Präsenz (außer-)universitärer Forschungseinrichtungen mit PV-relevanter Ausrichtung übt keinen signifikanten Einfluss auf die räumliche Emergenz der PV-Industrie aus (vgl. Modell 1.3). Die öffentliche Forschung gilt zwar als bedeutend für die Wissensgenerierung der PV-Technologie (HORNYCH/BRACHERT 2010), jedoch scheinen die Funktionen der öffentlichen Forschung im Kontext zur räumlichen Industrieentwicklung (Quelle für Wissens-Spillover und potenzielle Markteintritte) zumindest in ihrer geographischen Beschränktheit nicht relevant zu sein.

Aus Modell 1.4 geht weiter hervor, dass Nachbarschaftseffekte zwischen ROR nicht von Bedeutung sind. Die Wirkung bestehender PV-Betriebe scheint räumlich auf funktionale Raumeinheiten (ROR) begrenzt zu sein. Das Ergebnis spricht daher für die Verwendung der gewählten Raumabgrenzung.

Der Ost-Dummy weist für alle Modellmodifikationen einen ausgeprägten positiv signifikanten Effekt auf die Hazard-Rate auf. Mit anderen Worten, die Lage einer Region in Ostdeutschland steht im positiven Zusammenhang zu der Wahrscheinlichkeit für einen ersten Markteintritt eines PV-Betriebs in der Region. Dabei ist interessant, dass zum Beginn des Beobachtungszeitraums kaum PV-spezifische Ressourcen in Ost-Deutschland existierten<sup>8</sup> (vgl. Abb. 2). Zwar impliziert der Koeffizient der Variable „Bestand an PV-Betrieben 1992“, dass frühe Aktivitäten in der PV-Industrie zu regionalen Pfadabhängigkeiten führen können und den Eintritt eines weiteren PV-Betriebs in die Region begünstigen. Nichtsdestotrotz deuten die geschätzten Koeffizienten des Ost-Dummies, wie in Kapitel 3 bereits angemerkt, auf einen gewissen standortbezogenen Freiheitsgrad der PV-Branche hin. In diesem Kontext vermuten BRACHERT und

HORNYCH (2011), dass standortpolitische Maßnahmen und die Ausstattung mit verwandten Branchen die Emergenz in ostdeutschen Regionen begünstigt haben. Letztgenannte Begründung kann jedoch unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Variablen zu verwandten Branchen (vgl. Modelle 1.5 bis 1.7) ausgeschlossen werden, da keine Veränderungen auf den Ost-Dummy-Koeffizienten wahrzunehmen sind<sup>9</sup>. Vielmehr ist hinter dem Koeffizienten der Einfluss raumwirtschaftspolitischer Maßnahmen als *triggering event* für ostdeutsche Regionen zu vermuten. Eine explizite Kontrolle hierfür ist jedoch aus Datenverfügbarkeitsgründen nicht möglich. Das Beispiel von Q-Cells in Bitterfeld-Wolfen illustriert den massiven Einfluss von raumwirtschaftspolitischen Maßnahmen auf die dynamische Entwicklung der PV-Industrie in ostdeutschen Regionen. Noch Ende der 1990er Jahre wurde Bitterfeld-Wolfen nicht als vorteilhafter Standort für die PV-Industrie wahrgenommen. Erst diverse standortpolitische Maßnahmen überzeugten die Gründer von Q-Cells ihr Unternehmen in Bitterfeld-Wolfen anstelle von Berlin anzusiedeln (BRACHERT/HORNYCH 2011).

## **5.2 Ergebnisdiskussion: räumliche Konzentration der Photovoltaik-Industrie**

Tabelle 2 stellt die Ergebnisse der Regressionsanalysen zur Erklärung der Branchenkonzentration für die zwei Zeiträume dar. Mit der theoretischen Darlegung übereinstimmend üben urbane Räume in der ersten Phase einen förderlichen Einfluss auf die regionale Konzentration der PV-Industrie aus. In der zweiten Beobachtungsphase hingegen ist dieser Effekt nicht mehr wahrnehmbar.

Die Relevanz verwandter Industrien verzeichnet eine ähnliche Entwicklung. Von den drei verwandten Branchen wird nur die anorganische Chemie signifikant positiv. Diese Beobachtung entspricht den Ergebnissen aus dem ersten Modell. So ist für die Branchenkonzentration nur die Branche förderlich, welche auch für die regionale Emergenz der PV-Industrie förderlich war. In der zweiten Beobachtungsphase ist die Variable nicht länger signifikant. Diese Ergebnisse implizieren die abnehmende Relevanz generischer Ressourcen und Ressourcen aus verwandten Aktivitäten im Verlauf der Industrieentwicklung. Folglich können Hypothese 2.1 gänzlich und Hypothese 2.2 für die anorganische Chemie bestätigt werden.

Damit im Einklang stehen die Ergebnisse der Variable „Bestand an PV-Betrieben“. Im ersten Zeitraum geht kein messbarer Effekt von dieser Variable auf die Anzahl an regionalen Einträgen von PV-Betrieben aus. Dieses Ergebnis war zu erwarten, da 1992 in keiner Region eine kritische Masse an PV-Betrieben existierte und demnach zumindest Lokalisationseffekte zu diesem Zeitpunkt noch gering sind. 1992 gibt es erst vier ROR, in denen zwei bis drei Betriebe lokalisiert sind (vgl. Abb. 2). Für den Zeitraum 2000 bis 2008 wird der Koeffizient signifikant und

übt einen positiven Einfluss auf die Anzahl an weiteren regionalen Eintritten von PV-Betrieben aus. Beispielsweise erfährt die ROR Mittelthüringen, mit drei Betrieben 1999, im zweiten Beobachtungszeitraum zwölf weitere regionale Eintritte. Dieses Ergebnis bestätigt Hypothese 2.3, dass mit einem gewissen Etablierungsgrad der Branche die bis dahin kreierte branchenspezifischen Ressourcen in den Mittelpunkt der weiteren räumlichen Evolution rücken. Der kumulierte Effekt, welcher sowohl Spin-Off Dynamiken als auch Lokalisationsexternalitäten umfasst, scheint in einem sich selbstverstärkenden Prozess zu münden. Das Beispiel von Q-Cells in Bitterfeld-Wolfen veranschaulicht den kumulativen Prozess der regionalen Branchenkonzentration. Zum einen gingen aus Q-Cells mehrere Tochtergesellschaften mit jeweils unterschiedlicher Zelltechnologieausrichtung am selben Standort hervor. Diese erste, von Q-Cells geschaffene, Branchenkonzentration attrahierte Zulieferer entlang der PV-Wertschöpfungskette und verstärkte den Konzentrationsprozess (BRACHERT/HORNYCH 2011).

Die dargestellten Ergebnisse der ökonometrischen Analyse entsprechen in weiten Teilen existierenden empirischen Analysen zu anderen Branchen, welche die wandelnde Bedeutung unterschiedlichen Ressourcen im Kontext der Industrieentwicklung untersuchen (BOSCHMA/WENTING 2007; NEFFKE et al. 2011b).

Tabelle 2: Determinanten der regionalen Branchenkonzentration (Quelle: eigene Berechnung)

Zeitraum	1993-1999	2000-2008
Ost-Dummy	2.2612 (0.4324)	8.1261** (0.3345)
Bevölkerungsdichte	1.0006* (0.0003)	1.0002 (0.0002)
PV-Patente	0.7761 (0.6261)	0.8685 (0.1614)
Bestand an PV-Betrieben (1992 bzw. 1999)	0.5472 (0.7226)	1.6399** (0.1697)
PV-relevante Forschungsförderung (in Tsd.)	1.0006** (0.0000)	1.0000 (0.0000)
Elektrotechnik	0.9970 (0.0018)	1.0006 (0.0003)
Organische Chemie	0.9958 (0.0028)	0.9999 (0.0008)
Anorganische Chemie	1.0216* (0.0107)	1.0029 (0.0032)
Anzahl der Beobachtungen	96	96
Log Likelihood (p>chi <sup>2</sup> )	35.8184 (0.000)	46.4390 (0.000)
Nagelkerkes R <sup>2</sup>	0.4634	0.6976

Koeffizienten entsprechen den odd ratios; Standardfehler in Klammern;

\*\* statistisch signifikant auf dem 1%-Niveau;

\*statistisch signifikant auf dem 5%-Niveau

Mit Hinblick auf politische Interventionen impliziert der signifikant positive Zusammenhang zwischen PV-relevanter Forschungsförderung und der Anzahl an regionalen Eintritten von PV-Betrieben im ersten Beobachtungszeitraum eine anfängliche politische Einflussnahme auf den

räumlichen Evolutionsprozess der PV-Industrie. Mit der Entscheidung über die räumliche Allokation finanzieller Ressourcen scheint die Politik die räumliche Entwicklung zu einem gewissen Grad räumlich gelenkt zu haben. Im zweiten Zeitraum ist ein solcher Effekt nicht mehr zu beobachten. Entsprechend erhöhen frühe exogene positive Impulse die Wahrscheinlichkeit, selbstverstärkende kumulative Industrie-evolutionsprozesse in Regionen in Gang zu setzen.

Im Einklang mit den Ergebnissen zur Industrieemergenz übt die regionale Präsenz von branchenspezifischem Wissen („PV-Patente“) keinen Einfluss auf die räumliche Evolution der PV-Industrie aus. Die Industriedynamik scheint räumlich von der Wissensgenerierung relativ losgelöst zu sein. Das zeigt sich auch darin, dass süddeutsche Regionen eine prominente Stellung in der PV-Forschung einnehmen (BRACHERT et al. 2013b), aber die Branche sich eher in ostdeutschen Regionen konzentriert (vgl. Abb. 2). So verzeichnet die ROR südlicher Oberrhein als eine der Regionen mit den meisten Patentanmeldungen im zweiten Beobachtungszeitraum keine PV-Betriebseintritte. Südsachsen, eine ROR mit keinen regionalen Patentanmeldungen hingegen, erfährt acht Eintritte. Das heißt, Markteintritte finden nicht notwendigerweise dort statt, wo wissenschaftliches Wissen generiert wird, sondern eher dort, wo bereits Betriebe der Branche existieren bzw. in Regionen mit starker Förderung (z.B. Ostdeutschland).

Ein signifikanter Unterschied in der Herausbildung von regionalen PV-Clustern zwischen ost- und westdeutschen Regionen ist erst im zweiten Untersuchungszeitraum wahrnehmbar. Mit dem Einsetzen des umfangreichen Marktwachstums behaupten sich ostdeutsche Regionen beachtlich gegenüber westdeutschen Regionen als PV-Standorte (vgl. Abb. 2). Die tatsächliche Einflussgröße hinter diesem Effekt ist allerdings in dieser Untersuchung nicht greifbar<sup>10</sup>. Brachert et al. (2013b) stellen heraus, dass insbesondere ostdeutsche Regionen es geschafft haben, sich gemäß den neuen Anforderungen der Branche auszurichten und ein förderliches regionales Umfeld zu kreieren. Dies äußert sich beispielsweise in der Einrichtung abgestimmter Bildungsangebote, um die Versorgung der PV-Industrie in der Region mit qualifiziertem Humankapital zu gewährleisten. Darüber hinaus kann gemutmaßt werden, dass wie die Forschungsförderung auch standortpolitische Fördermaßnahmen signifikant zum räumlichen Muster der PV-Industrie beigetragen haben (BRACHERT/HORNYCH 2011; KLITKOU/COENEN 2013), die wir hier aber nur unzureichend abbilden können, da flächendeckende Informationen hierzu nicht verfügbar sind.



## 6 Diskussion und Fazit

In der vorliegenden Studie wurde die räumliche Evolution der PV-Industrie in Deutschland untersucht. Dabei stand die Bedeutung der regionalen industriestrukturellen Gegebenheiten für die räumliche Emergenz und die regionale Konzentration der Industrie im Fokus des Forschungsinteresses.

Die empirischen Befunde zur räumlichen Emergenz der PV-Industrie unterstreichen die im erweiterten Window-of-locational-opportunity-Konzept betonten Aspekte (BOSCHMA/LAMBOOY 1999). Zum einen konnte gezeigt werden, dass die regionale Präsenz der anorganischen Chemie als technologisch verwandte Branche einen signifikant positiven Effekt auf die Emergenz der PV-Industrie Region ausübte. Entgegen bisheriger Annahmen (BRACHERT/HORNYCH 2011; BRACHERT et al. 2013b) konnte jedoch kein systematischer Zusammenhang zwischen der Präsenz der Elektrotechnik und der räumlichen Entstehung der PV-Industrie festgestellt werden. Zum anderen demonstriert die spätere, aber dafür umso stärker stattfindende Emergenz der PV-Industrie in ostdeutschen Regionen das gewisse Zufallselement bzw. das „geöffnete Fenster“ in der räumlichen Entstehung neuer Industrien. Zudem zeigt die Studie, dass der signifikante Unterschied in der Wahrscheinlichkeit für einen ersten Markteintritt eines PV-Betriebs in der Region zwischen ost- und westdeutschen Regionen nicht durch die regionale Ausstattung an verwandten Branchen erklärt werden kann.

Im Hinblick auf die nach der Emergenz stattfindende räumliche Konzentration der Branche hat die Studie gezeigt, dass anfangs generische Ressourcen und Ressourcen von verwandten Aktivitäten wichtig waren. In späteren Phasen wurde dessen Bedeutung durch bis dahin entstandene branchenspezifische Ressourcen abgelöst. In der frühen Konzentrationsphase haben sowohl urbane Räume als auch Standorte der anorganischen Chemie größere Chancen, dass es in ihnen zur Neuansiedlung von PV-Betrieben kommt. In der späteren Phase verlieren diese Eigenschaften an Bedeutung und die Anzahl der bereits in der Region bestehenden PV-Betriebe gewinnt an Relevanz. Dies spricht für die zunehmende Wichtigkeit von Spin-Off-Dynamiken und Lokalisationsexternalitäten in späteren Lebenszyklusphasen der Industrie, die selbstverstärkende Konzentrationsprozesse in Gang setzen und das „Window of locational opportunity“ schließen. Die Studie hat einige Schwächen, die im Folgenden angeführt werden. Zum einen ist die Identifikation von verwandten Branchen relativ grob. Hier können in Zukunft andere Ansätze wie beispielsweise die Berechnung inter-industrieller Ähnlichkeitsmatrizen zur Anwendung kommen (BOSCHMA et al. 2014). Weiterhin wäre es wünschenswert gewesen, dass die empirische Analyse auch den Zeitraum von vor 1993 abdeckt, um insbesondere die Auswirkung des 1000-

Dächer-Programms von 1990 zu berücksichtigen. Weiterhin unterlag die (räumliche) Entstehung und Konzentration der PV-Industrie weiteren politischen Einflüssen (BRACHERT/HORNYCH 2011; FUCHS/WASSERMANN 2012), die über die im Modell vorhandenen Approximationen hinausgehen, und vornehmlich aus Datenmangel, hier im Modell nur unzureichend berücksichtigt werden konnten. Allerdings müssten diese Einflüsse räumlich mit den in den Modellen verwendeten raumstrukturellen Faktoren hoch korreliert sein, um die Ergebnisse zu verfälschen. Auch wenn eine solche Korrelation nicht vollständig ausgeschlossen werden kann, so stellt sich dann allerdings die Frage, wie sich diese Korrelation sach-kausal begründet. Denn warum sollte die Politik z.B. genau die Standorte fördern an denen verwandte Industrien präsent sind? Hier ist sicherlich noch weitere Forschung von Nöten.

Eine weitere Schwäche der Arbeit ist die relativ geringe Anzahl an Ereignissen im Beobachtungszeitraum aus ökonometrischer Sicht nicht optimal, da dies verhindert, dass alle erklärenden Variablen gleichzeitig in den Modellen verbleiben können. Weiterhin ist die Phase der Industrieemergenz durch signifikante Gründungsaktivitäten gekennzeichnet, die in der vorliegenden Arbeit lediglich aus Gesamtindustrieperspektive diskutiert worden sind. Zukünftige Arbeiten sollten stärker Ansätze und Erkenntnisse der Gründungsliteratur aufnehmen und individuelle Gründungsaktivitäten vor dem Hintergrund der Industrieevolution analysieren.

Neben diesen Einschränkungen zeigt die Studie allerdings auch signifikanten weiteren Forschungsbedarf auf. So verbleibt es beispielsweise bei der zukünftigen empirischen Forschung, die *Black Box* des Ost-Dummies zu öffnen und die expliziten Mechanismen hinter dem Erfolg ostdeutscher Regionen in der Herausbildung der PV-Branche tiefergehend zu beleuchten.

Vor dem Hintergrund des aktuellen Konsolidierungsprozesses und der zunehmenden internationalen Konkurrenz der PV-Industrie (BLANKENBERG/DEWALD 2013) stellt sich außerdem die Frage, welche Regionen langfristig von der PV-Branche profitieren. Eine Überlebensanalyse aus populationsorientierter Perspektive könnte das Verständnis der räumlichen Industrieevolution vervollständigen.

## Literatur

- ARTHUR, W. B. (1994): Increasing returns and path dependence in the economy. Ann Arbor. (=Economics, cognition, and society).
- ASHEIM, B. T./BOSCHMA, R. A./COOKE, P. (2011): Constructing regional advantage. Platform policies based on related variety and differentiated knowledge bases. In: *Regional studies*, (45)7, 893–904.
- AUDRETSCH, B. (1998): Agglomeration and the location of innovative activity. In: *Oxford Review of Economic Policy*, (14)2, 18–29.
- BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung) (o.J.): Laufende Raumbbeobachtung – Raumabgrenzungen. Internetquelle: [http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumbbeobachtung/Raumabgrenzungen/Raumordnungsregionen/raumordnungsregionen\\_node.html](http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumbbeobachtung/Raumabgrenzungen/Raumordnungsregionen/raumordnungsregionen_node.html) (03.08.2014).
- BEAUDRY, C./SCHIFFAUEROVA, A. (2009): Who's right, Marshall or Jacobs? The localization versus urbanization debate. In: *Research policy*, (38)2, 318–337.
- BLANKENBERG, A. K./DEWALD, U. (2013): Public Policy and Industry Dynamics: The Evolution of the Photovoltaic Industry in Germany. Paper to be presented at the 35th DRUID Celebration Conference 2013, Barcelona, Spain, June 17-19. Internetquelle: [http://druid8.sit.aau.dk/acc\\_papers/s2kqv3aax8h6jtk1l1tb9f4j258b.pdf](http://druid8.sit.aau.dk/acc_papers/s2kqv3aax8h6jtk1l1tb9f4j258b.pdf) (11.08.2014).
- BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (o.J.): Förderkatalog. Internetquelle: <http://www.foerderkatalog.de> (03.08.2014).
- BORTZ, J./SCHUSTER, C. (2010): Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. 7. Aufl. Berlin.
- BOSCHMA, R./HEIMERIKS, G./BALLAND, P.-A. (2014): Scientific knowledge dynamics and relatedness in biotech cities. In: *Research policy*, (43)1, 107–114.
- BOSCHMA, R. A. (2008): Constructing regional advantage: related variety and regional innovation policy. Report for the Dutch Scientific Council for Government Policy. Internetquelle: <http://www.ncl.ac.uk/curds/assets/documents/BoschmaNewcastleSeminar2008.pdf> (03.08.2014).
- BOSCHMA, R. A./FRENKEN, K. (2011a): Technological relatedness and regional branching. In: Kogler, D. F./Feldman, M. P./Bathelt, H. (Hrsg.): *Beyond territory. Dynamic geographies of knowledge creation, diffusion, and innovation*. Milton Park, New York, 64–81. (=Regions and cities).
- BOSCHMA, R. A./FRENKEN, K. (2011b): The emerging empirics of evolutionary economic geography. In: *Journal of economic geography*, (11)2, 295–307.
- BOSCHMA, R. A./LAMBOOY, J. G. (1999): Evolutionary economics and economic geography. In: *Journal of evolutionary economics*, (9)4, 411–429.
- BOSCHMA, R. A./LEDDER, F. (2010): The evolution of the banking cluster in Amsterdam, 1850 - 1993. A survival analysis. In: Fornahl, D./Henn, S./Menzel, M.-P. (Eds.): *Emerging clusters. Theoretical, Empirical and Political Perspective on the Initial Stage of Cluster Evolution*. Cheltenham, UK, Northampton, MA, 191–213.
- BOSCHMA, R. A./MINONDO URIBE-ETXEBERRIA, A./NAVARRO ARANCEGUI, M. (2013): The emergence on new industries at the regional level in Spain. A proximity approach based on product relatedness. In: *Economic geography*, (89)1, 29–51.
- BOSCHMA, R. A./WENTING, R. (2007): The spatial evolution of the British automobile industry. Does location matter? In: *Industrial and corporate change*, (16)2, 213–238.
- BOSMA, N./STERNBERG, R. (2014): Entrepreneurship as an Urban Event? Empirical Evidence from European Cities. In: *Regional studies*, (48)6, 1016–1033.
- BOTTAZZI, L./PERI, G. (2003): Innovation and spillovers in regions. Evidence from European patent data. In: *European economic review*, (47)4, 687–710.
- BRACHERT, M./CANTNER, U./GRAF, H./GÜNTHER, J./SCHWARTZ, M. (2013a): Which Regions Benefit from Emerging Industries? In: *European Planning Studies*, (21)11, 1703–1707.
- BRACHERT, M./HORNYCH, C. (2011): Entrepreneurial opportunity and the formation of photovoltaic clusters in Eastern Germany. In: Wüstenhagen, R./Wuebker, R. (Eds.): *Handbook of research on energy entrepreneurship*. Cheltenham, pp., 83–103.

- BRACHERT, M./HORNYCH, C./FRANZ, P. (2013b): Regions as Selection Environments? The Emergence of the Solar Industry in Germany from 1992 to 2008. In: *European Planning Studies*, (21)11, 1820–1837.
- BRENNER, T./MÜHLIG, A. (2013): Factors and mechanisms causing the emergence of local industrial clusters. A summary of 159 cases. In: *Regional studies*, (47)4, 480–507.
- BROEKEL, T. (2015): Do Cooperative Research and Development (R&D) Subsidies Stimulate Regional Innovation Efficiency? Evidence from Germany. In: *Regional studies*, (49)7, 1087–1110.
- BROEKEL, T./BRENNER, T. (2011): Regional factors and innovativeness. An empirical analysis of four German industries. In: *The annals of regional science*, (47)1, 169–194.
- BUENSTORF, G./FRITSCH, M./MEDRANO, L. (2012): Regional knowledge and spatial evolution of the West German laser systems industry. In: *Zeitschrift für Wirtschaftsgeographie*, (56)3, 147–167.
- BUENSTORF, G./FRITSCH, M./MEDRANO, L. F. (2010): Regional knowledge and the emergence of an industry. Laser systems production in West Germany, 1975-2005. In: *Jena economic research papers*, (2010,079), 1–43.
- CAMAGNI, R. P. (1995): The concept of innovative milieu and its relevance for public policies in European lagging regions. In: *Papers in regional science*, (74)4, 317–340.
- COX, D. R. (1972): Regression Models and Life-Tables. In: *Journal of the Royal Statistical Society*, (34)2, 187–220.
- CRÉPON, B./DUGUET, E. (1997): Research and development, competition and innovation. Pseudo-maximum likelihood and simulated maximum likelihood methods applied to count data models with heterogeneity. In: *Journal of econometrics*, (79)2, 355–378.
- DEWALD, U. (2012): *Energieversorgung im Wandel. Marktformierung im deutschen Photovoltaik-Innovations-system*. Berlin. (=Wirtschaftsgeographie, Band 51).
- DEWALD, U./TRUFFER, B. (2011): Market Formation in Technological Innovation Systems—Diffusion of Photovoltaic Applications in Germany. In: *Industry and Innovation*, (18)3, 285–300.
- DEWALD, U./TRUFFER, B. (2012): The Local Sources of Market Formation: Explaining Regional Growth Differentials in German Photovoltaic Markets. In: *European Planning Studies*, (20)3, 397–420.
- FELDMAN, M. P./FLORIDA, R. (1994): The geographic sources of innovation. Technological infrastructure and product innovation in the United States. In: *Annals of the Association of American Geographers*, (84)2, 210–229.
- FORNAHL, D./HASSINK, R./KLAERDING, C./MOSSIG, I./SCHRÖDER, H. (2012): From the Old Path of Shipbuilding onto the New Path of Offshore Wind Energy? The Case of Northern Germany. In: *European Planning Studies*, (20)5, 835–855.
- FRENKEN, K./VAN OORT, F./VERBURG, T. (2007): Related variety, unrelated variety and regional economic growth. In: *Regional studies*, (41)5, 685–697.
- FRITSCH, M./SLAVTCHEV, V. (2011): Determinants of the efficiency of regional innovation systems. In: *Regional studies*, (45)7, 905–918.
- FUCHS, G./WASSERMANN, S. (2012): From Niche to Mass Markets in High Technology: The Case of Photovoltaics in Germany. In: Bauer, J./Lang, A./Schneider, V. (Hrsg.): *Innovation Policy and Governance in High-Tech Industries*. Berlin, Heidelberg, 219–244.
- GRAU, T./HUO, M./NEUHOFF, K. (2012): Survey of photovoltaic industry and policy in Germany and China. In: *Energy Policy*, (51), 20–37.
- GREIF, S./SCHMIEDL, D. (2002): *Patentatlas Deutschland - Ausgabe 2002. Dynamik und Strukturen der Erfindungstätigkeit*. München.
- GREIF, S./SCHMIEDL, D./NIEDERMEYER, G. (2006): *Patentatlas Deutschland - Ausgabe 2006. Regionaldaten der Erfindungstätigkeit*. München.
- GRILICHES, Z. (1998): *R & D and productivity. The econometric evidence*. Chicago. (=A National Bureau of Economic Research monograph).
- HALL, B. H./GRILICHES, Z./HAUSMAN, J. A. (1986): Patents and R and D: is there a lag? In: *International economic review*, (27)2, 265–283.
- HARRELL, F. E./LEE, K. L./MATCHAR, D. B./REICHERT, T. A. (1985): Regression models for prognostic prediction: advantages, problems, and suggested solutions. In: *Cancer treatment reports*, (69)10, 1071–1077.

- HARTOG, M./BOSCHMA, R./SOTARAUTA, M. (2012): The impact of related variety on regional employment growth in Finland 1993-2006: high-tech versus medium/low-tech. In: *Papers in Evolutionary Economic Geography*, (12)05, 1–34.
- HELFAF, C. E./LIEBERMAN, M. B. (2002): The birth of capabilities. Market entry and the importance of pre-history. In: *Industrial and corporate change*, (11)4, 725–760.
- HOOVER, E. M. (1948): *The location of economic activity*. New York. (=Economics handbook series).
- HOOVER, E. M./VERNON, R. (1962): *Anatomy of a metropolis. The changing distribution of people and jobs within the New York metropolitan region*. Garden City, N.Y. (=A Doubleday Anchor book, A 298).
- HOPPMANN, J./HUENTELER, J./GIROD, B. (2014): Compulsive policy-making—The evolution of the German feed-in tariff system for solar photovoltaic power. In: *Research policy*, (43)8, 1422–1441.
- HORNYCH, C./BRACHERT, M. (2010): Determinanten der Vernetzung von Unternehmen der deutschen Photovoltaik-Industrie. In: *IWH-Diskussionspapiere*, (20/2010), 1–28.
- JACOBSSON, S./SANDÉN, B./BÄNGENS, L. (2004): Transforming the Energy System. The Evolution of the German Technological System for Solar Cells. In: *Technology Analysis & Strategic Management*, (16)1, 3–30.
- JENKINS, S. P. (2005): *Survival Analysis*. Internetquelle: <http://www.iser.essex.ac.uk/files/teaching/stephenj/ec968/pdfs/ec968lnotesv6.pdf> (03.08.2014).
- KLEPPER, S. (2006): The evolution of geographic structure in new industries. In: *Revue de l'OFCE*, 5, 135–158.
- KLEPPER, S. (2007): Disagreements, spinoffs, and the evolution of Detroit as the capital of the US automobile industry. In: *Management science*, (53)4, 616–631.
- KLITKOU, A./COENEN, L. (2013): The Emergence of the Norwegian Solar Photovoltaic Industry in a Regional Perspective. In: *European Planning Studies*, (21)11, 1796–1819.
- KRUGMAN, P. R. (1991): Increasing returns and economic geography. In: *The journal of political economy*, (99)3, 483–499.
- LEYDESDORFF, L./ALKEMADE, F./HEIMERIKS, G./HOEKSTRA, R. (2014): Geographic and Technological Perspectives on "Photovoltaic Cells:" Patents as Instruments for Exploring Innovation Dynamics. Internetquelle: <http://arxiv.org/abs/1401.2778> (03.08.2014).
- MARSHALL, A. (1920): *Principles of economics. An introductory volume*. 8. Aufl. London, pp.
- MARTIN, R./SUNLEY, P. (2006): Path dependence and regional economic evolution. In: *Journal of economic geography*, (6)4, 395–437.
- MENANTEAU, P. (2000): Learning from variety and competition between technological options for generating photovoltaic electricity. In: *Technological forecasting & social change*, (63)1, 63–80.
- MYRDAL, G. (1957): *Economic Theory and Under-developed Regions*. London.
- NEFFKE, F./HENNING, M./BOSCHMA, R. A. (2011a): How do regions diversify over time? Industry relatedness and the development of new growth paths in regions. In: *Economic geography*, (87)3, 237–265.
- NEFFKE, F./HENNING, M./BOSCHMA, R. A./LUNDQUIST, K.-J./OLANDER, L.-O. (2011b): The dynamics of agglomeration externalities along the life cycle of industries. In: *Regional studies*, (45)1, 49–65.
- NOOTEBOOM, B. (2000): *Learning and innovation in organizations and economies*. 1. Aufl. Oxford.
- NUHN, H. (2001): *Systemtransformation und Regionalentwicklung. Technologiecluster der Mikroelektronik in Ostdeutschland*. Münster. (=Arbeitsberichte zur wirtschaftsgeographischen Regionalforschung, Band 6).
- PORTER, M. E. (1998): *On competition*. Boston. (=The Harvard business review book series).
- PORTER, M. E. (2000): Location, Competition, and Economic Development: Local Clusters in a Global Economy. In: *Economic Development Quarterly*, (14)1, 15–34.
- PYKE, F. S./BECATTINI, G./SENGENBERGER, W. (1990): *Industrial districts and inter-firm co-operation in Italy*. Geneva.
- RÄUBER, A./WARMUTH, W./WETTLING, W. (2003): *Photovoltaische Solarenergienutzung III. Abschlussbericht*. Freiburg.

- SAXENIAN, A. (1994): Regional advantage. Culture and competition in Silicon Valley and Route 128. 2. Aufl. Cambridge.
- SCOTT, A. J. (1988): New industrial spaces. Flexible production organization and regional development in North America and Western Europe. London. (=Studies in society and space, Band 3).
- SCOTT, A. J./STORPER, M. (1987): High technology industry and regional-development - A theoretical critique and reconstruction. In: International social science journal, (39)2, 215–232.
- STERNBERG, R. (2009): Regional Dimensions of Entrepreneurship. In: Foundations and Trends in Entrepreneurship, (5)4, 211–340.
- STORPER, M./WALKER, R. (1989): The capitalist imperative. Territory, technology, and industrial growth. New York.
- TUTZ, G. (2010): Regression für Zählvariablen. In: Wolf, C./Best, H. (Hrsg.): Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse. Wiesbaden, 887–904.
- WHITTINGHAM, M. J./STEPHENS, P. A./BRADBURY, R. B./FRECKLETON, R. P. (2006): Why Do We Still Use Step-wise Modelling in Ecology and Behaviour? In: Journal of Animal Ecology, (75)5, 1182–1189.
- ZEILEIS, A./KLEIBER, C./JACKMAN, S. (2008): Regression models for count data in R. In: Journal of Statistical Software, (27)8, 1–25.

---

## Bemerkungen

<sup>1</sup> An dieser Stelle ist anzumerken, dass die Bedeutung von *relatedness* zwischen verschiedenen Industrien variiert. HARTOG et al. (2012) zeigen, dass *related variety* je nach Sektor eine unterschiedliche Bedeutung einnimmt. Die Studie bezieht sich jedoch nicht auf die räumliche Evolution von Branchen, sondern untersucht den Zusammenhang zwischen *related variety* und regionalem Beschäftigungswachstum in Finnland. Die Ergebnisse zeigen, dass die Rolle von *relatedness* nicht per se regionales Wachstum beeinflusst. Vielmehr ist dieser Zusammenhang nur zwischen High-Tech Sektoren nachzuweisen.

<sup>2</sup> Für eine weiterführende Darstellung der verschiedenen Konzepte vgl. BRENNER und MÜHLIG (2013: 482ff.).

<sup>3</sup> Für eine Übersicht vgl. BEAUDRY und SCHIFFAUEROVA (2009).

<sup>4</sup> BOSCHMA und WENTING (2007) stellen die Bedeutung der verschiedenen Typen von Agglomerationsexternalitäten nicht explizit in den Zusammenhang zur räumlichen Konzentration einer Branche, sondern beziehen sich auf die Performance bzw. Überlebenswahrscheinlichkeit der Unternehmen.

<sup>5</sup> Der Artikel von FUCHS und WASSERMANN (2012: 230-240) bietet eine umfassende Darstellung der Entwicklung der PV-Industrie in Deutschland unter Berücksichtigung zentraler Akteure, historischer Ereignisse sowie politischer Interventionen.

<sup>6</sup> Für eine tiefergehende Beschreibung der Maßnahmen und dessen Wirkungsweisen siehe GRAU et al. (2012) und HOPPMANN et al. (2014).

<sup>7</sup> Die Regressionsergebnisse der jeweiligen Verteilungsmodelle unterscheiden sich nicht voneinander.

<sup>8</sup> Nur in der ROR Südsachsen existierte bereits 1991 ein erster PV-Betrieb.

<sup>9</sup> Zur Präzisierung des Ost-Dummies wurden die Modelle um eine weitere Dummy-Variable ergänzt, welche angibt ob die ROR Standort eines Betriebes des VEB Mikroelektronik war (Datengrundlage: NUHN 2001: 4f.). Es wird angenommen, dass ehemalige Standorte des VEB Mikroelektronik aufgrund ihrer Ausstattung an Ressourcen verwandter Aktivitäten einen begünstigenden Effekt auf die räumliche Evolution der neuen Industrie ausgeübt haben (BRACHERT et al. 2013b) und damit haupterklärende Variable hinter dem Ost-Dummy sind. Der VEB Mikroelektronik-Dummy bleibt jedoch in allen Modellen insignifikant, wohingegen der Ost-Dummy seinen signifikanten Erklärungsgehalt beibehält. Der VEB Mikroelektronik-Dummy trägt demnach zu keiner weiteren Erklärung der Signifikanz ostdeutscher Regionen bei.

<sup>10</sup> Analog zu den vorangegangenen Hazard-Modellen wurde auch in diese Regressionen der VEB Mikroelektronik-Dummy eingebunden mit der Intention den Ost-Dummy zu präzisieren. Dieser ist jedoch für beide Modelle insignifikant und führt zu keinen Veränderungen in den Ergebnissen der anderen Variablen. Demnach trägt er nicht zur Erklärung der Konzentration der PV-Industrie in ostdeutschen Regionen bei.