

Unternehmensnetzwerke in der Photovoltaik-Industrie – starke Verbundenheit und hohe Kooperationsintensität

Unternehmensnetzwerken wird in der stadt- und regionalökonomischen Forschung ein hoher Stellenwert für die regionale Wirtschaftsentwicklung eingeräumt. Überdies wird der wirtschaftliche Aufstieg von Regionen nicht zuletzt durch das Aufkommen neuer Industrien bestimmt. Die deutsche Photovoltaik-Industrie (PV-Industrie) ist ein vergleichsweise junger Sektor, dessen heutige Strukturen sich im Wesentlichen erst seit dem Jahr 2000 herausgebildet haben.⁶⁹ In diesem Beitrag wird geprüft, inwieweit sich zwischen den Unternehmen dieses Sektors bereits Kooperationsbeziehungen etabliert haben. Hierfür wird erstmalig die Methode der Netzwerkanalyse für die PV-Industrie angewandt.

Nachdem die deutsche PV-Industrie in den zurückliegenden Jahren durch starkes Produktions- und Beschäftigungswachstum gekennzeichnet war,⁷⁰ hat sich in den vergangenen Monaten der Wettbewerbsdruck in der Industrie deutlich erhöht. Ursache hierfür sind Überkapazitäten, die Einschränkung der staatlichen Förderung der Solarstromproduktion in Spanien, einem wichtigen Auslandsmarkt, sowie gestiegene Kapitalkosten.⁷¹ Angesichts der steigenden Wettbewerbsfähigkeit insbesondere chinesischer Photovoltaikunternehmen wurden bereits Befürchtungen über Marktaustritte oder eine Abwanderung der Industrie aus Deutschland geäußert.⁷²

Unternehmensnetzwerke stellen dabei einen Faktor dar, der zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen PV-Industrie beitragen kann.⁷³ Aus diesem Grund wurden von Seiten der

Wirtschaftspolitik zahlreiche Initiativen gestartet, um die Bildung von Netzwerken in der PV-Industrie zu fördern.⁷⁴ Wie stark die deutsche PV-Industrie bereits vernetzt ist, war jedoch bisher kaum bekannt. Der vorliegende Beitrag versucht diese Wissenslücke zu schließen.

Der folgende Abschnitt gibt zunächst einen kurzen Überblick über die in theoretischen Ansätzen diskutierten Bestimmungsfaktoren der Vernetzung einer Industrie. Diese Ansätze werden anschließend auf die PV-Industrie übertragen. Nach der Beschreibung der diesem Beitrag zugrunde liegenden Methodik werden die Ergebnisse zu den ermittelten Kooperationsbeziehungen präsentiert und abschließend Implikationen für eine mögliche Politik der Förderung von Netzwerken in der PV-Industrie diskutiert.

Entstehungsgründe für Netzwerke in einer Industrie

Unternehmensnetzwerke gelten als hybride Organisationsformen, die sowohl Elemente rein marktlicher als auch hierarchischer Koordination beinhalten und somit in spezifischen Situationen Transaktionskosten senken können.⁷⁵ Inwieweit in einer Industrie auf Netzwerke zurückgegriffen wird, kann dabei mittels verschiedener Ansätze erklärt werden. So wird etwa in spieltheoretischen und evolutorischen Modellen der Fokus auf die einzelnen Organisationen und deren Kalkül, Netzwerkbeziehungen

funde aus Ostdeutschland, in: IWH, *Wirtschaft im Wandel* 9/2008, S. 153-160.

⁶⁹ Vgl. BRACHERT, M.; HORNYCH, C.: Die Formierung von Photovoltaik-Cluster Ostdeutschland, in: IWH, *Wirtschaft im Wandel* 2/2009, S. 81-90.

⁷⁰ Vgl. BRACHERT, M.; HORNYCH, C., a. a. O., 2009.

⁷¹ Vgl. BRACHERT, M.; HORNYCH, C.; GÜNTHER, J.: Aktuelle Trends: Druck auf die Photovoltaik-Industrie nimmt zu, in: IWH, *Wirtschaft im Wandel* 1/2009, S. 3.

⁷² Vgl. LBBW: *Solardarwinismus – die besten bleiben. Branchenanalyse Photovoltaik 2009*. Landesbank Baden-Württemberg 2009.

⁷³ Vgl. BOSCHMA, R. A.: Proximity and Innovation: A Critical Assessment. *Regional Studies* 39, 2005, pp. 61-74. – HORNYCH, C.; SCHWARTZ, M.: Räumliche Branchenschwerpunkte als Innovationsmotoren? – empirische Be-

⁷⁴ Siehe die genannten Beispiele in BRACHERT, M.; HORNYCH, C., a. a. O., sowie die in EBERT, S.; BRACHERT, M.; DOMINGUEZ-LACASA, I.: Cluster und regionale Wettbewerbsfähigkeit – Die Photovoltaik-Industrie in Berlin-Brandenburg, in: IWH, *Wirtschaft im Wandel* 11/2009, S. 471-480. Allgemein zur Netzwerkförderung siehe HORNYCH, C.: Im Fokus: Unternehmensnetzwerke in Ostdeutschland und ihre Entwicklung, in: IWH, *Wirtschaft im Wandel* 7/2009, S. 268-269.

⁷⁵ Siehe hierzu COASE, R. H.: *The Nature of the Firm*. *Economica* 4, 1934, pp. 396-405. – WILLIAMSON, O. E.: *The Economic Institutions of Capitalism*. Free Press: New York 1985. – THORELLI, H. B.: *Networks: Between Markets and Hierarchies*. *Strategic Management Journal* 7 (1), 1986, pp. 37-51. – JARILLO, J. C.: On Strategic Networks. *Strategic Management Journal* 9, 1988, pp. 31-41.

aufzubauen oder abzubauen, gelegt. Aus diesen mikroökonomischen Entscheidungen resultiert die Struktur des Gesamtnetzwerkes.⁷⁶

Im Gegensatz hierzu begreifen Ansätze aus der Makroperspektive die Netzwerkstruktur als eine Funktion der Verhältnisse in einer Industrie.⁷⁷ Dabei werden verschiedene Faktoren angeführt, die Anreize zum Erhalt bestehender oder zur Bildung neuer Netzwerkbeziehungen stärken oder schwächen.

Insbesondere in der Innovationsintensität einer Industrie wird eine zentrale Determinante der Netzwerkstruktur gesehen. Innovationsanstrengungen erfordern die Kombination verschiedener Wissensarten, zugleich kann die dem Prozess inhärente Unsicherheit durch den Zugriff auf externe Ressourcen gesenkt werden. Aus diesem Grund stellen Innovationsanstrengungen häufig einen kollektiven Prozess dar.⁷⁸ Gleichsam werden Netzwerke insbesondere in Phasen hoher technologischer Unsicherheit gebildet.⁷⁹ Somit weisen insbesondere Industrien, die am Anfang ihres Lebenszyklus stehen, in denen somit Unklarheit über künftige technologische Entwicklungen besteht, eine hohe Kooperationsintensität auf.⁸⁰

Indes muss aus Innovationen nicht zwangsweise ein Anwachsen der Netzwerkaktivitäten in einer Industrie folgen. So können auch bereits bestehende Verbindungen zwischen Unternehmen stabilisiert werden, etwa indem durch inkrementelle Innovationen die dominierende Technologie gestärkt wird und somit bestehende Strukturen gefestigt werden.⁸¹ In diesem Sinne lässt sich zwischen solchen industriespezifischen Schocks unterscheiden, die die Netzwerkstruktur erhalten, und jenen, die diese Struktur verändern. Bei Ersteren, wie z. B. den genannten inkrementellen Innovationen, bleibt die Wettbewerbsstruktur der Industrie erhalten, sodass es zu keiner Entwertung bestehender Netzwerkbeziehungen kommt. Verändert sich hingegen aufgrund von radikalen Innovationen, gewandelten Kundenpräferenzen, von Regulierungsaufgaben oder grundlegenden Veränderungen der Transaktionskostenstrukturen die Wettbewerbssituation einer Industrie, dann sind Anreize zur Suche neuer Netzwerkpartner gegeben.⁸² Die Unternehmen reagieren auf diese Unsicherheit hinsichtlich der künftigen Entwicklung externer Umweltbedingungen mit der Suche nach neuen Netzwerkpartnern, etwa um Zugang zu nun an Bedeutung gewinnenden Ressourcen zu erhalten und Risiken zu senken.⁸³

Neben der Unsicherheit wird die Entwicklung der Netzwerke einer Industrie zudem von dem Ausmaß der Verfügbarkeit kritischer Ressourcen und Absatzmöglichkeiten sowie den damit einhergehenden unternehmerischen Chancen determiniert. Industrien sind insbesondere in Phasen hoher Unsicherheit sowie sich gleichzeitig bietender unternehmerischer Chancen durch expandierende Netzwerke gekennzeichnet, da die Unternehmen erst durch die Verfügbarkeit kritischer Ressourcen und Absatzmöglichkeiten in der Lage sind, Inves-

76 Vgl. BALA, V.; GOYAL, S.: A Noncooperative Model of Network Formation. *Econometrica* 68 (5), 2000, pp. 1181-1229.

77 Vgl. MADHAVAN, R.; KOKA, B. R.; PRESCOTT, J. E.: Networks in Transition: How Industry Events (Re)Shape Interfirm Relationships. *Strategic Management Journal* 19, 1998, pp. 439-459. – RICCABONI, M.; PAMMOLLI, F.: Technological Regimes and the Evolution of Networks of Innovators – Lessons from Biotechnology and Pharmaceuticals. *International Journal of Technology Management* 25 (3/4), pp. 334-348.

78 Vgl. ALLEN, R. C.: Collective Invention. *Journal of Economic Behavior and Organization* 4, 1983, pp. 1-24 – HAGEDOORN, J.: Inter-firm R&D Partnerships: an Overview of Major Trends and Patterns since 1960. *Research Policy* 31, 2002, pp. 477-492 – VONORTAS, N. S.; OKAMURA, K.: Research Partners. *International Journal of Technology Management* 46 (3/4), 2009, pp. 280-306.

79 Vgl. ROSENKOPF, L.; TUSHMAN, M. L.: The Coevolution of Community Networks and Technology: Lessons from the Flight Simulation Industry. *Industrial and Corporate Change* 7 (2), 1998, pp. 311-346.

80 Vgl. EISENHARDT, K. M.; SCHOONHOVEN, C. B.: Resource-based View of Strategic Alliance Formation: Strategic and Social Effects in Entrepreneurial Firms. *Organization Science* 7 (2), 1996, pp. 136-150. Andererseits sind Industrien, die am Anfang des Lebenszyklus stehen, auch eher durch instabile Netzwerke gekennzeichnet. Vgl. TERWAL, A. L.; BOSCHMA, R.: Co-evolution of Firms, Industries and Networks in Space. *Regional Studies*, 2009.

81 Vgl. MADHAVAN, R.; KOKA, B. R.; PRESCOTT, J. E., a. a. O.

82 Dabei gilt es zu beachten, dass die Radikalität der Veränderungen der Netzwerkstruktur in Abhängigkeit von Strukturschwellen zu sehen ist. Sind diese nicht erreicht, ist auch ein Unterhalten einer ineffizienten Netzwerkstruktur möglich. Vgl. BLUM, U.; DUDLEY, L.; LEIBBRAND, F.; WEISKE, A.: *Angewandte Institutionenökonomik*. Gabler: Wiesbaden 2005.

83 Vgl. MADHAVAN, R.; KOKA, B. R.; PRESCOTT, J. E., a. a. O. – KOKA, B. R.; MADHAVAN, R.; PRESCOTT, J. E.: The Evolution of Interfirm Networks: Environmental Effects on Patterns of Network Change. *Academy of Management Review* 31 (3), 2006, pp. 721-737.

titionen in neue Geschäftsfelder oder Technologien zu starten, um die sich bietenden Marktchancen zu nutzen. Nicht zuletzt aufgrund der bestehenden Unsicherheit werden hierfür eher Kooperationen mit neuen Partnern initiiert, als dass Alleingänge gewagt werden. Gleichwohl existieren auch Anreize, bestehende Netzwerkbeziehungen zu vertiefen, etwa um am etablierten Informationsaustausch zu partizipieren oder um Markteintrittsbarrieren für Newcomer zu schaffen. Im Ergebnis der Bildung neuer sowie der Aufrechterhaltung bestehender Beziehungen ist die Industrie durch ein dichtes Netz von Kooperationen zwischen den Unternehmen gekennzeichnet.⁸⁴

Unsicherheit bedingt hohe Kooperationsintensität in der deutschen PV-Industrie

Die beschriebenen theoretischen Ansätze lassen zahlreiche Netzwerke in Industrien mit hoher Verfügbarkeit kritischer Ressourcen und Absatzmöglichkeiten sowie – insbesondere technologischer – Unsicherheit erwarten. Diese Bedingungen sind in der PV-Industrie gegeben.

Zum einen hat die Förderung der Produktion von Strom mittels Photovoltaikanlagen in Deutschland die Nachfrage stimuliert und eine Phase günstiger Absatzmöglichkeiten und unternehmerischer Chancen eröffnet.⁸⁵ Zum anderen führen aber Regulierungsänderungen in verschiedenen Auslandsmärkten zu Unsicherheit bezüglich zukünftiger Marktvolumina. Auch die hohe Preisvolatilität von Photovoltaikprodukten trägt zu dem hohen Maß an Unsicherheit in der Branche bei.⁸⁶ Desweiteren war das Marktwachstum in der PV-Industrie bisher nicht durch die Herausbildung eines dominanten Technologiepfades gekennzeichnet. Im Gegenteil haben die Innovationsanstrengungen neuer Unternehmen unterschiedliche Technologiepfade hervorgebracht. Bis heute ist nicht abzusehen, welche der unterschiedlichen Verfahren bzw. Materialien zur

Herstellung von Photovoltaikzellen und -modulen sich letztlich für welche Anwendung durchsetzen werden.

Die daraus resultierende technologische Unsicherheit dürfte zum einen die weitere Verstärkung der Netzwerkbeziehungen innerhalb des jeweiligen Technologiepfades bewirken. Zum anderen ergibt sich für die Unternehmen die Notwendigkeit, sich verschiedenen Technologiepfaden zu öffnen und Netzwerkbeziehungen einzugehen, um so an der Entwicklungsdynamik der anderen technologischen Lösungen zu partizipieren. Vor dem Hintergrund der Marktchancen der vergangenen Jahre dürften die Unternehmen über entsprechende Ressourcen hierfür verfügen.

Ist diese aus theoretischer Perspektive zu erwartende hohe Kooperationsintensität in der deutschen PV-Industrie nun tatsächlich anzutreffen? Dieser Frage ist das IWH in einer im Folgenden beschriebenen Untersuchung nachgegangen.

Die Identifikation von Netzwerkbeziehungen ...

Als Grundlage für die Analyse konnte auf die „IWH-Unternehmensdatenbank Photovoltaik“ zurückgegriffen werden, eine umfassende Datensammlung zur Entwicklung der Beschäftigung und Produktion in der deutschen PV-Industrie.⁸⁷ Überdies enthält die „IWH-Unternehmensdatenbank Photovoltaik“ Informationen zu den zwischen den in der Datenbank enthaltenen Unternehmen bestehenden Kooperationsbeziehungen.⁸⁸ Erfasst sind dabei vier verschiedene Arten solcher Beziehungen: Kooperationen bei Forschung und Entwicklung, langfristige Lieferbeziehungen, Kapitalver-

⁸⁴ Vgl. MADHAVAN, R.; KOKA, B. R.; PRESCOTT, J. E., a. a. O.

⁸⁵ Vgl. BRACHERT, M.; HORNYCH, C.: Entrepreneurial Opportunity and the Formation of Photovoltaic Clusters in Eastern Germany. Handbook of Research on Energy Entrepreneurship. Edward Elgar Publishing, 2010 (im Erscheinen).

⁸⁶ Vgl. PEARCE, J. M.: Industrial Symbiosis of Very Large-scale Photovoltaic Manufacturing. Renewable Energy 33, 2008, pp. 1101-1108.

⁸⁷ Für eine Beschreibung siehe BRACHERT, M.; HORNYCH, C., a. a. O., 2009, S. 81. Als Photovoltaikunternehmen werden die Hersteller entlang der Wertschöpfungskette (Silizium > Ingots > Wafer > Zellen > Module, integrierte Anbieter und Dünnschichtproduzenten) sowie Zulieferer und Komponentenhersteller bezeichnet. Nicht betrachtet wurde hingegen der nicht-industrielle Bereich der Wertschöpfungskette, also Unternehmen, deren Geschäftsgegenstand der Handel mit Photovoltaiksystemen oder die Planung, Errichtung oder Betreuung von Solaranlagen darstellt.

⁸⁸ Berücksichtigt wurden Kooperationen, die im Zeitraum Januar 2007 bis September 2009 vereinbart wurden. Informationen zu Kooperationen mit Unternehmen mit Sitz außerhalb Deutschlands sind nicht enthalten.

flechtungen⁸⁹ sowie informelle Kooperationsbeziehungen. Die genannten Kooperationsarten werden hier als Netzwerkbeziehungen bezeichnet. Sie sind in der Regel mittel- bis langfristig angelegt; zudem dürften sich bei diesen Kooperationsarten mit zunehmender Interaktionsdauer zwischen den beteiligten Unternehmen Normen herausbilden und Vertrauen entwickeln,⁹⁰ womit die Interaktion über rein marktliche Beziehungen hinausgeht. Diese Elemente gelten als Merkmale von Unternehmensnetzwerken.⁹¹ Nicht berücksichtigt werden hingegen gemeinsame Mitgliedschaften von Unternehmen in Verbänden, Vereinen oder regionalen Netzwerkinitiativen⁹² sowie die Zusammenarbeit bei der Errichtung und Betreuung von Solarparks.

⁸⁹ Kapitalverflechtungen gelten als Netzwerkbeziehungen, da sie eine Möglichkeit der Koordination von Unternehmen darstellen. Vgl. GRANDORI, A.; SODA, G.: Inter-firm Networks: Antecedents, Mechanisms and Forms. *Organization Studies* 16/2, 1995, pp. 183-214. – POWELL, W. W.; KOPUT, K. W.; SMITH-DOERR, L.: Interorganizational Collaboration and the Locus of Innovation: Networks of Learning in Biotechnology. *Administrative Science Quarterly* 41, 1996, pp. 116-145. – M'CHIRGUI, Z.: The Smart Card Firms' Network Positions: A Social Network Analysis. *European Management Journal* 25 (1), 2007, pp. 36-49. Einschränkend ist zu erwähnen, dass Beteiligungen nicht immer der Koordination von Unternehmen dienen, sondern auch ausschließlich der Verfolgung finanzieller Zielstellungen dienen können.

⁹⁰ Vgl. KOKA, B. J.; PRESCOTT, J. E.: Strategic Alliances as Social Capital: A Multidimensional View. *Strategic Management Journal* 23, 2002, pp. 795-816.

⁹¹ Vgl. hierzu ROSENFELD, M. T. W.; FRANZ, P.; GÜNTHER, J.; HEIMPOLD, G.; KRONTHALER, F.: Ökonomische Entwicklungskerne in ostdeutschen Regionen – Branchenschwerpunkte, Unternehmensnetzwerke und innovative Kompetenzfelder in der Wirtschaft. *IWH-Sonderheft 5/2006, Halle (Saale) – HEIMPOLD, G.: Unternehmensnetzwerke in Ostdeutschland: Konzentration auf Verdichtungsräume*, in: IWH, *Wirtschaft im Wandel* 4/2005, 2005, S. 118-124.

⁹² Bei gemeinsamen Mitgliedschaften von Unternehmen in Verbänden, Vereinen oder regionalen Netzwerkinitiativen bleibt offen, inwieweit tatsächlich jedes der betreffenden Unternehmen mit jedem der anderen Mitglieder interagiert. Dies ist nur dann der Fall, wenn die interne Organisation des Vereins bzw. der Initiative völlig dezentral gestaltet ist. Insbesondere wenn die Steuerung im Wesentlichen durch ein einzelnes oder wenige Mitglieder erfolgt, dürften die einzelnen Mitglieder oftmals ausschließlich Beziehungen zu diesen fokalen Mitgliedern unterhalten. Vgl. hierzu PROVAN, K. G.; KENIS, P.: Modes of Network Governance and Implications for Network Management and Effectiveness. *Journal of Public Administration Research and Theory* 18 (2), 2007, pp. 229-252.

Kasten 1: Methoden zur Identifikation von Netzwerkbeziehungen

Eine Methode, mit deren Hilfe die Netzwerkbeziehungen in der PV-Industrie identifiziert wurden, war die Analyse von **Patentdaten**. Bei der Veröffentlichung eines Patentbesitzes werden jeweils die Namen der Anmelder des Patentbesitzes genannt. Treten zwei Unternehmen gemeinsam als Anmelder eines Patents auf, kann davon ausgegangen werden, dass sie bei der dieser Patentanmeldung vorausgehenden Forschung und Entwicklung miteinander kooperiert haben.^a

Eine weitere Datenbasis stellen **Archivdaten** dar. Für die vorliegende Untersuchung wurden unterschiedliche öffentlich zugängliche Quellen gesichtet, die Informationen zu den Unternehmen der Industrie bereitstellen,^b u. a.

- Fachzeitschriften der PV-Industrie,
- Pressemeldungen,
- Unternehmenspräsentationen,
- Vorträge
- und andere Publikationen wie z. B. Bücher.

Daten zu **Unternehmensverflechtungen** wurden zusätzlich im Rahmen von Unternehmensauskünften von Wirtschaftsinformationsdiensten gewonnen. Von Interesse war dabei insbesondere, ob zwei Unternehmen durch den einseitigen oder gegenseitigen Besitz von Unternehmensanteilen miteinander verbunden sind. Die Höhe der Beteiligung blieb dabei unberücksichtigt.

Als weitere Erhebungsmethode wurde im August und im September 2009 eine **Unternehmensbefragung** unter den Unternehmen der deutschen PV-Industrie durchgeführt. Hier wurden die Unternehmen um die Nennung ihrer wichtigsten Kooperationspartner in verschiedenen Kategorien gebeten.^c

^a Vgl. LOBO, J.; STRUMSKY, D.: Metropolitan Patenting, Inventor Agglomeration and Social Networks: A Tale of Two Effects. *Journal of Urban Economics* 63, 2008, pp. 871-884. – ^b Vgl. HAGEDOORN, J.; SCHAKENRAAD, J.: The Effect of Strategic Technology Alliances on Company Performance. *Strategic Management Journal* 15 (4), 1994, pp. 291-309. – ^c Zur Nutzung von Befragungen zur Erhebung von Netzwerkdaten siehe HAHN, C.; BRANDT, A.; KIESE, M.; KRÄTKE, S.: *Netzwerkanalyse in der Wissensökonomie*. *RegioPol* 1/2008, S. 41-53.

Die Daten zu den Netzwerkbeziehungen werden aus verschiedenen Quellen bzw. Erhebungsverfahren ermittelt. Es werden Patentdaten, Archivdaten, Verflechtungsdaten sowie Unternehmensbefragungen genutzt (siehe Kasten 1). Letztlich findet in den folgenden Auswertungen lediglich Berücksichtigung, ob eine Netzwerkbeziehung zwischen zwei Unternehmen besteht oder nicht, unabhängig

von der Art bzw. der verwendeten Quelle zur Identifikation dieser Beziehung. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich sowohl die Qualität der identifizierten Beziehungen als auch die Validität der erhobenen Daten in Abhängigkeit von der Quelle erheblich unterscheiden kann. Nichtsdestotrotz empfiehlt sich die Kombination verschiedener Erhebungstechniken, um eine möglichst vollständige Abbildung der Netzwerkstruktur der Industrie leisten zu können.

... und ihre Analysemethoden

Die Netzwerkanalyse ist eine Methode zur Analyse sozialer Netzwerke, also einer definierten Menge von Akteuren (wie Personen oder Organisationen) und der zwischen diesen bestehenden Beziehungen.⁹³ Die Netzwerkanalyse erlaubt einerseits Aussagen zur Positionierung einzelner Akteure im Netzwerk und ermöglicht andererseits Angaben zu den Strukturmerkmalen des Gesamtnetzes. Bei der Beschreibung der Vernetzung einer Industrie sind vor allem Merkmale der Gesamtstruktur des Netzwerks von Interesse. Mittels der Netzwerkanalyse können hierzu verschiedene Indikatoren bestimmt werden. Kasten 2 gibt einen Überblick über die in diesem Beitrag verwendeten Kennzahlen: Größe, Grad der Einbeziehung, Zahl der Komponenten, Dichte, Zentralität einzelner Akteure und Zentralisierung des Gesamtnetzwerkes.

PV-Branche zeigt hohe Kooperationsintensität

Mit Hilfe der „IWH-Unternehmensdatenbank Photovoltaik“ konnten die zum Untersuchungszeitpunkt (Oktober 2008) aktiven 178 Unternehmen identifiziert werden, die Silizium, Ingots, Wafer, Solarzellen, Solarmodule oder andere Komponenten von Solaranlagen in Deutschland herstellen bzw. als Zulieferer für diese Hersteller tätig sind. Die Abbildung zeigt die Kooperationsbeziehungen zwischen diesen Unternehmen in Form eines Netzwerkgraphen. Dabei symbolisieren die Knoten die Unternehmen der Industrie und die diese verbindenden Linien das Vorhandensein von Kooperationsbeziehungen, wobei nicht nach der Art der Beziehung differenziert wird. Die Form der Kno-

Kasten 2:

Verwendete Kennzahlen der Netzwerkanalyse

Die **Größe** eines Netzwerkes entspricht der Zahl der erfassten Akteure (hier: der PV-Unternehmen). Mit dem **Grad der Einbeziehung** wird beschrieben, welcher Anteil dieser Akteure Verbindungen zu anderen Akteuren des Netzwerks unterhält. Die Zahl der **Komponenten** gibt an, aus wievielen jeweils in sich verbundenen Teilnetzen das Gesamtnetzwerk besteht. Die Gesamtzahl der tatsächlichen Kooperationsbeziehungen zwischen diesen Akteuren im Verhältnis zur maximal möglichen Zahl an Beziehungen ergibt die **Dichte** des Netzwerkes. Sie beschreibt, wie hoch die Kooperationsintensität im Netzwerk ist. Die Dichte eines Netzwerkes kann Werte zwischen null (überhaupt keine Beziehungen) und eins (jeder kooperiert mit jedem) annehmen.^a Die Dichte eines Netzwerkes ist hoch, wenn die **durchschnittliche Anzahl an Kooperationsbeziehungen** pro Akteur hoch ist.

Eine weitere Möglichkeit der Beschreibung eines Netzwerkes liegt in der Identifikation zentraler Akteure. Dabei wurde die *betweenness centrality* verwendet, um die **Zentralität** von Akteuren im Netzwerk auszudrücken.^b Die **Zentralisierung** des Gesamtnetzwerkes ergibt sich aus dem Vergleich der *betweenness centrality* des zentralsten Akteurs mit der *betweenness centrality* aller anderen Akteure des Netzwerkes. Sie beträgt eins, wenn das gesamte Netzwerk auf einen Akteur ausgerichtet ist, und null, wenn alle Akteure die gleiche Zentralität aufweisen.

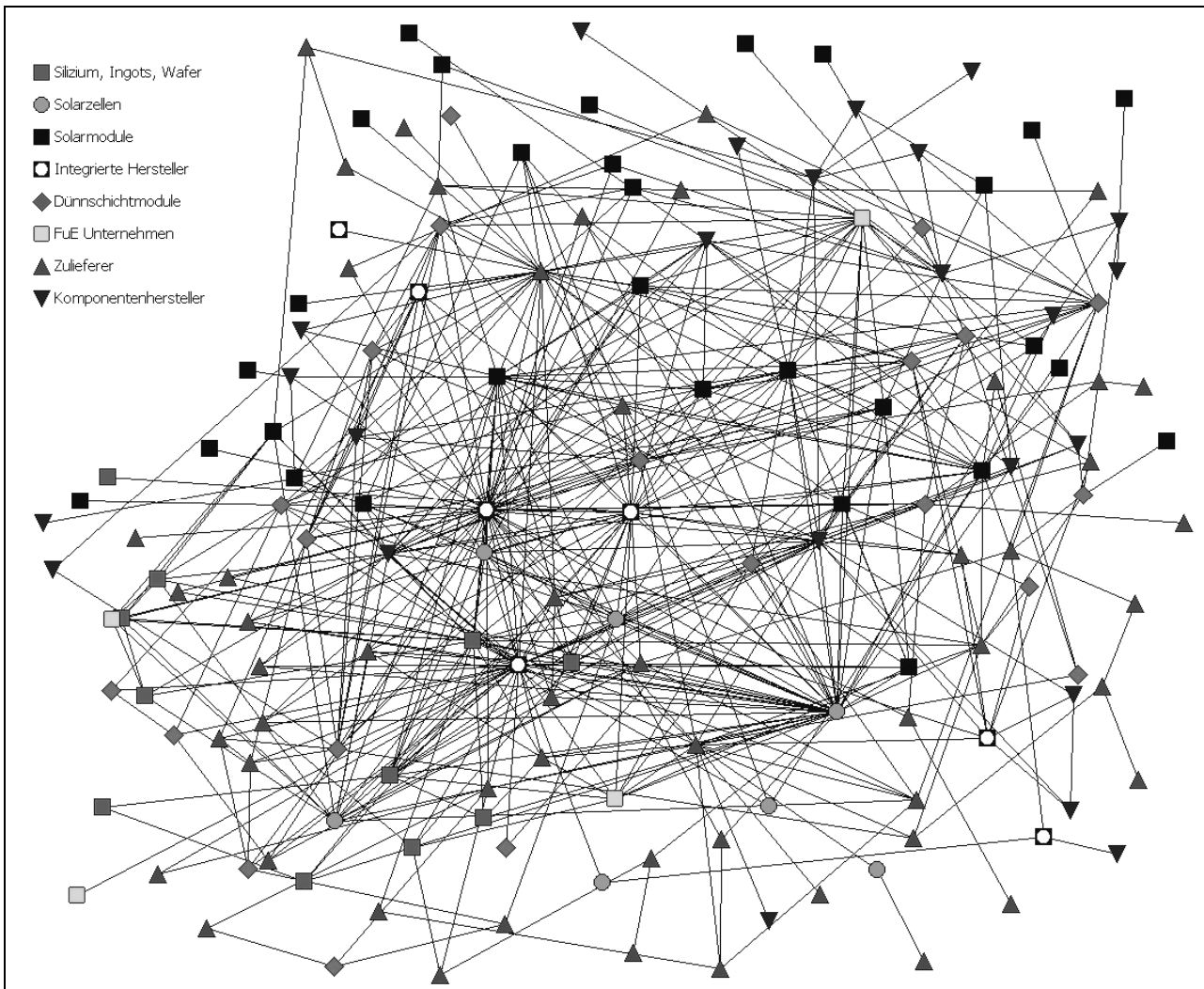
^a Vgl. WASSERMAN, S.; FAUST, K.: Social Network Analysis: Methods and Applications. Cambridge University Press: Cambridge 1994. – ^b Die *betweenness centrality* eines Akteurs resultiert aus seiner Position in der gesamten Netzwerkstruktur. Eine hohe *betweenness centrality* ergibt sich dabei aus einer Position, die „zwischen“ den anderen Akteuren des Netzwerkes liegt. Ein Akteur mit einer hohen *betweenness centrality* dient somit häufig als Mittler zwischen anderen Akteuren. Zur Berechnung der *betweenness centrality* siehe FREEMAN, L. C.: Centrality in Social Networks. Social Networks 1, 1979, pp. 215-239.

ten repräsentiert die Stellung der Unternehmen in der Wertschöpfungskette der PV-Industrie.

Bereits die Illustration des Netzwerkes der deutschen PV-Industrie in der Abbildung deutet auf die hohe Kooperationsintensität in der Industrie hin. Dieser Eindruck wird durch die Ergebnisse der Netzwerkanalyse bestätigt. Fast neun Zehntel der Unternehmen kooperieren mit anderen in Deutschland ansässigen PV-Unternehmen, der Grad der Einbeziehung beträgt 0,882. Insgesamt wurden über 1 000 langfristig angelegte Netzwerkbeziehungen zwischen den 157 kooperierenden Unternehmen identifiziert. Die Dichte des Netzwerkes

⁹³ Vgl. WASSERMAN, S.; FAUST, K.: Social Network Analysis: Methods and Applications. Cambridge University Press: Cambridge 1994.

Abbildung:
Netzwerk der deutschen PV-Industrie – Geordnet nach Zentralität¹



¹ 21 unverbundene Unternehmen sind nicht in der Abbildung dargestellt. Im Netzwerk zentrale Unternehmen sind tendenziell in der Mitte der Abbildung, im Netzwerk periphere Unternehmen am Rande der Abbildung dargestellt.

Quelle: IWH-Unternehmensdatenbank Photovoltaik.

der deutschen PV-Industrie beträgt 0,066, ein vergleichsweise hoher Wert. So werden etwa für die Pharma-, die Chemie- sowie die Automobilindustrie Netzwerkdichten von unter 0,03 berichtet.⁹⁴ Auch für andere Industrien werden zumeist gerin-

gere Dichten ausgewiesen.⁹⁵ Die hohe Dichte des Netzwerkes der PV-Unternehmen ist ein Hinweis

⁹⁴ Basierend auf der Vernetzung von 85 führenden Unternehmen der genannten Branchen, vgl. GILSING, V.; NOOTEBOOM, B.; VANHAVERBEKE, W.; DUYSSTERS, G.; VAN DEN OORD, A.: Network Embeddedness and the Exploration of Novel Technologies: Technological Distance, Betweenness Centrality and Density. *Research Policy* 37, 2008, pp. 1717-1731. Eine andere Studie berichtet für das Netzwerk aus 97 Chemieunternehmen eine maximale Dichte von 0,057, vgl. AHUHA, G.: Collaboration Networks, Structural Holes, and Innovation: A Longitudinal Study. *Administrative Science Quarterly* 45, 2000, S. 425-455.

⁹⁵ Untersuchungen über Netzwerke in Deutschland berichteten z. B. für ein regionales Logistik-Netzwerk in Bremen mit 78 Akteuren eine Dichte von 0,028, für das Netzwerk von 46 Akteuren der Filmwirtschaft in Potsdam eine Dichte von 0,129 und für das Netzwerk von 104 Akteuren der brandenburgischen Holzwirtschaft eine Dichte von 0,044. Vgl. ELSNER, W.; HÜBSCHER, J. A.; ZACHCIAL, M.: Regionale Logistik-Cluster. Peter Lang: Frankfurt (Main) 2005. – KRÄTKE, S.; SCHEUPLEIN, C.: Produktionscluster in Ostdeutschland. VSA-Verlag: Hamburg 2001. Allerdings ist ein Vergleich der Dichte von Netzwerken unterschiedlicher Größe nur mit Einschränkungen möglich, da große Netzwerke tendenziell eine geringere Dichte aufweisen. Zudem wird eine Vergleichbarkeit dadurch erschwert, dass die Studien nicht die gleichen Arten von Netzwerkbeziehungen betrachten bzw. unter-

Tabelle:
Kennzahlen des Netzwerks der deutschen Photovoltaik-Industrie

| Kategorie | Anzahl | Grad der Verbundenheit | Durchschnittliche Zentralität ¹ |
|---|--------|------------------------|--|
| <i>Nach Art des Unternehmens</i> | | | |
| Hersteller von Silizium, Ingots, Wafer | 14 | 0,79 | 0,41 |
| Hersteller von Solarzellen | 9 | 0,78 | 1,74 |
| Hersteller von Solarmodulen | 36 | 0,83 | 0,47 |
| Integrierte Hersteller | 7 | 1,00 | 5,51 |
| Hersteller von Dünnschichtmodulen | 23 | 0,91 | 0,65 |
| Forschungs- und Entwicklungsunternehmen | 6 | 1,00 | 0,63 |
| Zulieferindustrie | 58 | 0,91 | 0,61 |
| Komponentenhersteller | 25 | 0,96 | 0,90 |
| <i>Nach Größe des Unternehmens</i> | | | |
| Bis 100 Beschäftigte | 105 | 0,83 | 0,35 |
| 100-500 Beschäftigte | 52 | 0,94 | 0,90 |
| Über 500 Beschäftigte | 21 | 1,00 | 3,32 |
| <i>Nach Alter des Unternehmens</i> | | | |
| Gründung vor 2002 | 99 | 0,91 | 1,21 |
| Gründung nach 2002 | 79 | 0,85 | 0,43 |

¹ Gemessen anhand der standardisierten *betweenness centrality*.

Quelle: IWH-Unternehmensdatenbank Photovoltaik.

auf das Potenzial für die Diffusion von Informationen und Wissen innerhalb der Industrie. Im Durchschnitt kooperiert ein Unternehmen mit jeweils etwa 5,8 anderen PV-Unternehmen.

Neben der – gemessen an der Netzwerkdichte – hohen Kooperationsintensität wird in der Abbildung ein zweites Merkmal der Netzwerkstruktur der Photovoltaik deutlich. Es finden sich keine insularen Teilnetze, also keine vom Kern des Netzwerks separierten Gruppen von Unternehmen. Stattdessen besteht das Netzwerk aus einer einzigen Komponente, die sämtliche Unternehmen, die Netzwerkbeziehungen unterhalten, umfasst. Wenngleich nicht alle dieser Unternehmen direkt miteinander verbunden sind, bestehen doch zumindest immer indirekte Beziehungen über gemeinsame Kooperationspartner, und zwar über relativ geringe Distanzen hinweg. Tatsächlich müssen im Durchschnitt nur etwa zwei „Mittler“ einbezogen wer-

schiedliche Erhebungsmethoden anwenden. So ist die hier ermittelte hohe Kooperationsintensität auch ein Resultat der simultanen Betrachtung unterschiedlicher Arten von Netzwerkbeziehungen (Kooperationen bei FuE, langfristige Lieferbeziehungen, informelle Kontakte, Kapitalverflechtungen), wodurch allerdings eine vollständigere Abbildung der Netzwerkstruktur erreicht wird.

den, um eine Verbindung zwischen zwei Unternehmen der Komponente herzustellen. Durch das Fehlen von isolierten Teilnetzen sowie durch die geringen Distanzen zwischen den Unternehmen weist das Netzwerk insgesamt einen sehr hohen Zusammenhalt bzw. eine hohe Kohäsion auf. Dies spricht dafür, dass nicht einzelne Gruppen des Netzwerkes von den Informationsflüssen der Industrie abgeschnitten sind.

Ein drittes Merkmal der dargestellten Netzwerkstruktur liegt in den erkennbaren Unterschieden der Zentralität der einzelnen Akteure. Zwar ist die Zentralisierung des Gesamtnetzwerkes mit einem Wert von 0,018 als eher gering einzuschätzen.⁹⁶ Nichtsdestotrotz gibt es eine Reihe von Unternehmen, bei denen besonders viele Verbindungen zusammenlaufen und die durch zentrale Positionen gekennzeichnet sind. Gemessen mit dem Indikator der *betweenness centrality* weisen die Hersteller von Solarzellen sowie die integrierten Anbieter, die sowohl Solarzellen als auch Solarmodule produzieren, die höchste Zentralität auf (vgl. Tabelle).

⁹⁶ Vgl. hierzu z. B. die bei WASSERMAN, S.; FAUST, K., a. a. O., pp. 178 ff. angegebenen Werte.

Berücksichtigt man die Größenklassen der Unternehmen (gemessen an Beschäftigtenzahlen), wird deutlich, dass die größten Unternehmen im Zentrum der Industrie stehen. Insbesondere Unternehmen mit mehr als 500 Beschäftigten sind zentral im Netzwerk positioniert. Ebenfalls in der Tabelle angegeben ist die Beziehung zwischen Netzwerkposition und Unternehmensalter. Demgemäß weisen insbesondere die bis 2002 gegründeten Unternehmen heute eine hohe Zentralität auf, während die später gegründeten Unternehmen durch geringere Zentralitätswerte charakterisiert sind.

Fazit

Ziel der Untersuchung war eine Darstellung des Kooperationsgeschehens in der Gruppe der in Deutschland ansässigen PV-Unternehmen. Die Übertragung theoretischer Ansätze auf die PV-Industrie ließ auf eine hohe Zahl an Netzwerkbeziehungen schließen. Diese Vermutung konnte in der empirischen Untersuchung bestätigt werden. Dies ist ein Hinweis darauf, dass gute Voraussetzungen für einen Informationsaustausch in der Branche herrschen. Insgesamt lässt die hohe Kooperationsintensität der deutschen PV-Industrie vermuten, dass es den Unternehmen gelingt, Vorteile aus der räumlichen Ballung der Industrie in Deutschland zu ziehen.⁹⁷

Trotz des dichten Netzwerkes, welches sich bereits in der Industrie entwickelt hat, kann eine darauf aufbauende, ergänzende Förderung von Netzwerken ein effizienter Weg sein, die Innovationskraft und das Wachstum von industriellen Strukturen weiter zu unterstützen.⁹⁸ Dies kann umso eher gelingen, wenn die Ergebnisse der Netzwerkanalyse bei der Förderung Berücksichtigung finden. Verfolgt die Wirtschaftspolitik daher auch

künftig eine Strategie der Stärkung der Vernetzung der Industrie, sollte sie die Befunde der Netzwerkanalyse in der PV-Industrie berücksichtigen:

- So ist aufgrund der ermittelten starken Kohäsion des Netzwerkes der PV-Industrie keine Notwendigkeit zu erkennen, einzelne Gruppen von Unternehmen im Netzwerk miteinander zu verbinden, um mögliche Lücken in der Struktur zu schließen. Das Netzwerk weist vielmehr eine hohe Robustheit auf, in dem Sinne dass auch bei einem möglichen Ausfall einzelner Unternehmen eine kohärente Netzwerkstruktur erhalten bleibt.
- Unter der Annahme, dass die Einbindung in Netzwerke sich positiv auswirkt, könnten Netzwerkinitiativen künftig vielmehr auf eine Integration der identifizierten peripheren Akteure zielen. Durch gezielte Maßnahmen könnte versucht werden, insbesondere bisher isolierte Akteure stärker einzubinden. Somit könnte die Koordination des Gesamtnetzwerkes verbessert und der Informations- und Wissensaustausch zwischen den in Deutschland ansässigen PV-Unternehmen intensiviert werden.

Bei der Umsetzung dieser Anregungen ist zu berücksichtigen, dass der vorliegende Beitrag noch keine Antwort auf die Frage liefern konnte, inwieweit Bildungs- und Forschungseinrichtungen mit den Unternehmen der PV-Industrie kooperieren.⁹⁹ Auch eventuelle regionale Unterschiede im Kooperationsverhalten sind bisher unerforscht. Der Beantwortung dieser Fragen geht das IWH in einem laufenden Forschungsprojekt zur Clusterentstehung und -entwicklung in der Photovoltaik in Ostdeutschland nach, aus dem auch die in diesem Beitrag präsentierten Forschungsergebnisse stammen.

Christoph Hornych
(*Christoph.Hornych@iwh-halle.de*)

Matthias Brachert
(*Matthias.Brachert@iwh-halle.de*)

⁹⁷ Vgl. BOSCHMA, R. A., a. a. O.

⁹⁸ Vgl. hierzu GÜNTHER, J.: Zur Ausgestaltung der Innovationsförderung. Wirtschaftspolitische Standpunkte des IWH, 2009. http://www.iwh-halle.de/d/standpunkte/200904/Guether_Wi.pol.Standpunkt_Innovationspolitik.pdf. – GÜNTHER, J.; MICHELSEN, C.; PEGLOW, F.; TITZE, M.; FRITSCH, M.; NOSELEIT, F.; SCHRÖTER, A.: Evaluierung der FuE-Projektförderung des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Arbeit, IWH-Sonderheft 3/2008. Halle (Saale). – VISSER, E.-J.; ATZEMA, O.: With or Without Clusters: Facilitating Innovation through a Differentiated and Combined Network Approach. *European Planning Studies* 16 (9), 2008, pp. 1169-1188.

⁹⁹ Dabei nehmen die Hochschulen in Deutschland eine zunehmende Rolle im Innovationssystem der Photovoltaik ein. Vgl. FRANZ, P.: Wie reagieren Hochschulen auf neue Technologien? Das Beispiel Photovoltaik, in: IWH, *Wirtschaft im Wandel* 12/2008, S. 460-467.