

OBS-Arbeitsheft 56

Ursula Richter, Gregor Holst, Walter Krippendorf

Solarindustrie als neues Feld industrieller Qualitätsproduktion – das Beispiel Photovoltaik

**Eine Studie im Auftrag der Otto Brenner Stiftung
Frankfurt/Main, 2008**

OBS-Arbeitsheft 56
ISSN 1863-6934 (Print)

Herausgeber:

Otto Brenner Stiftung
Jupp Legrand/Wolf-Jürgen Röder
Wilhelm-Leuschner-Straße 79
60329 Frankfurt/Main
Tel.: 069/6693-2810
Fax: 069/6693-2786
E-Mail: obs@igmetall.de
<http://www.otto-brenner-stiftung.de>

Autoren:

Ursula Richter
Gregor Holst
Walter Krippendorf

IMU-Institut Berlin GmbH
Schlesische Straße 28, Haus S
10997 Berlin
Tel.: 030-293697-0
Fax: 030-293697-11
E-Mail: imu-institut@imu-berlin.de

Hinweis zu den Nutzungsbedingungen:

Nur für nichtkommerzielle Zwecke im Bereich der wissenschaftlichen Forschung und Beratung und ausschließlich von der Redaktion der Otto Brenner Stiftung veröffentlichten Fassung – vollständig und unverändert! – darf dieses Dokument von Dritten weitergegeben sowie öffentlich zugänglich gemacht werden.

In den Arbeitsheften werden die Ergebnisse der Forschungsförderung der Otto Brenner Stiftung dokumentiert und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Für die Inhalte sind in erster Linie die Autoren/innen verantwortlich.

Präambel	2
1. Ausgangsbedingungen der Photovoltaikindustrie	3
1.1. Solare Energien im Kontext	3
1.2. Die Herausbildung der Photovoltaikindustrie als Wirtschaftszweig	4
1.3. Solarzellentechnologien und das Wertschöpfungssystem der Photovoltaikindustrie heute	5
2. Die internationale Entwicklung der Photovoltaikindustrie	7
2.1. Wertschöpfungskette Photovoltaik	7
2.1.1. Weltmarkt Silizium	7
2.1.2. Weltmarkt Wafer	8
2.1.3. Weltmarkt Solarzellen	8
2.1.4. Weltmarkt Solarmodule	9
2.1.5. Weltmarkt photovoltaische Systeme	9
2.2. Installierte Kapazitäten	10
2.3. Zum Wirkungszusammenhang installierter Leistung und Photovoltaik-Industrie	12
3. Ökonomische Bedeutung der Photovoltaikindustrie heute und Entwicklung in Deutschland	14
4. Die Entwicklung der Photovoltaikindustrie in Ostdeutschland	16
4.1. Unternehmen, Standorte und Spezialisierung im Wertschöpfungssystem Photovoltaik	16
4.2. Wirtschafts- und strukturpolitische Aspekte	22
4.2.1. Förderinstrumentarien	22
4.2.2. Forschung und Entwicklung	24
4.2.3. Clusterinitiativen	26
4.3. Arbeitspolitische Aspekte	28
4.3.1. Interessenvertretung	28
4.3.2. Arbeitsverhältnisse	29
4.3.3. Entlohnung	30
4.3.4. Arbeitszeit- und Schichtplangestaltung	31
4.3.5. Arbeitsbedingungen	32
4.3.6. Arbeitspolitische Schlussfolgerungen	33
5. Schlussfolgerungen für arbeitsorientierte Strategien der industrie- und strukturpolitischen Entwicklung der Photovoltaikindustrie	34
6. Glossar	36
7. Literaturverzeichnis	38
8. Verzeichnis der Abbildungen, Karten und Tabellen	40
9. Anlagen	41

Präambel

Das Arbeitsheft fasst die wesentlichen Ergebnisse aus einem Projekt der Otto Brenner Stiftung zusammen.

Heutige und kommende Solartechnologien sind Schlüsseltechnologien der zukünftigen Energiebereitstellung. Ostdeutschland ist das bislang wachstumsstärkste Cluster von Produzenten, Zulieferern, Dienstleistern und FuE-Einrichtungen der Solarindustrie in Europa.

Unterschiedliche technische Entwicklungspfade und Fertigungstiefen prägen heute die Unternehmenslandschaft in der ostdeutschen Solarindustrie. Das Wachstum der Unternehmen ist ebenso wie die Gestaltung der Arbeitswelt von einer hochgradig dynamischen Entwicklung bestimmt. Professionalisierung und Qualität von Arbeit sowie Entlohnung sind dabei wichtige Elemente der Entwicklungsbedingungen.

In dem vom IMU-Institut Berlin durchgeführten Projekt wurde untersucht, unter welchen Voraussetzungen die industrielle Qualitätsproduktion der Photovoltaikindustrie (PV) in Ostdeutschland verstärkt werden kann. Vor dem Hintergrund technologischer und globaler Entwicklungstrends ergeben sich vielfältige Gestaltungsanforderungen für die Nachhaltigkeit der ostdeutschen Standorte, für die Regionen und ihre Fachkräfte sowie für Arbeitsorganisation und -bedingungen. Ziel des Projekts ist es, Informationen über die bisherigen und aktuellen Entwicklungen in der ostdeutschen Photovoltaikindustrie bereit zu stellen, um die Nachhaltigkeit des neuen Industriezweigs in Ostdeutschland zu unterstützen und die Herausbildung industrieller Qualitätsproduktion dieser Zukunftsindustrie hin zu einem Cluster zu verstärken. Für die Sozialpartner ergeben sich vielfältige Gestaltungsanforderungen und neue Herausforderungen rund um den Schutz der Arbeits- und Leistungsbedingungen und des Beschäftigungsaufbaus. Ebenso geht es um die Perspektiven der Sicherung bzw. des Aufbaus von dauerhafter Anpassungsfähigkeit des Industriezweigs an technologische und globale Entwicklungstrends und die Sicherung von Innovations- und Anschlussfähigkeit in diesem Kontext. Dringend bedarf es daher des industriepolitischen Dialogs über die Fragen der Zukunftsfähigkeit der Photovoltaikindustrie.

Die Recherchen wurden vertieft durch eine Reihe von Expertengesprächen mit Unternehmensvertretern, Vertretern aus Forschung und Lehre, Wirtschaftsförderung, Beschäftigten des Industriezweigs und Vertretern der Gewerkschaften, bei denen wir uns an dieser Stelle bedanken möchten. Unser besonderer Dank gilt Dr. Frederic Speidel, Otto Brenner Stiftung, für die engagierte Begleitung der Studie.

Ursula Richter

1. Ausgangsbedingungen der Photovoltaikindustrie

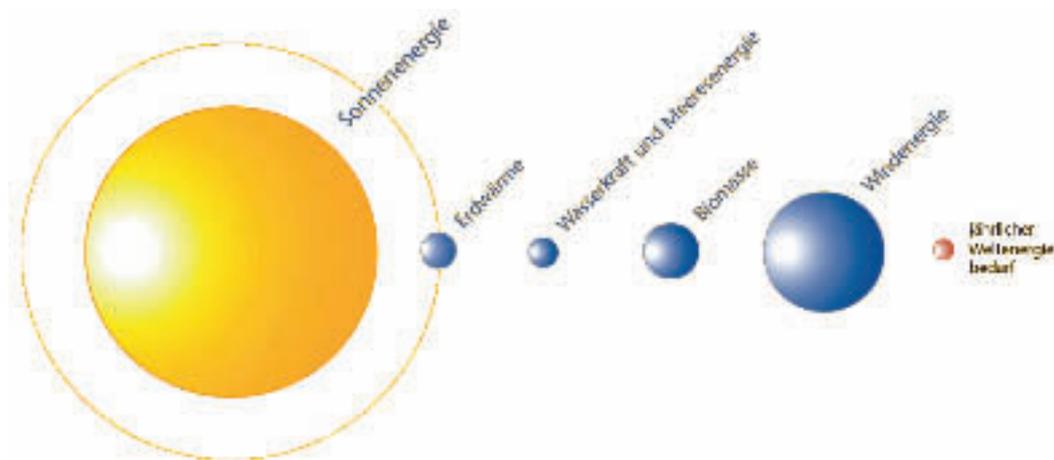
1.1. Solare Energien im Kontext

Die Entwicklung und Verbreitung regenerativer Energien und damit auch der Solartechnik bergen nicht nur aus ökologischer und klimapolitischer Sicht, sondern auch hinsichtlich wirtschafts- und arbeitsmarktpolitischer Belange große Entwicklungspotenziale.

Bezogen auf das in Abbildung 1 dargestellte Potenzial der Nutzung solarer Energie hat – geschichtlich betrachtet – die Entwicklung moderner Techniken einer solchermaßen definierten energiewirtschaftlichen Basis gerade eben erst begonnen.

Abbildung 1: Sonnenpotenzial und Weltenergieverbrauch

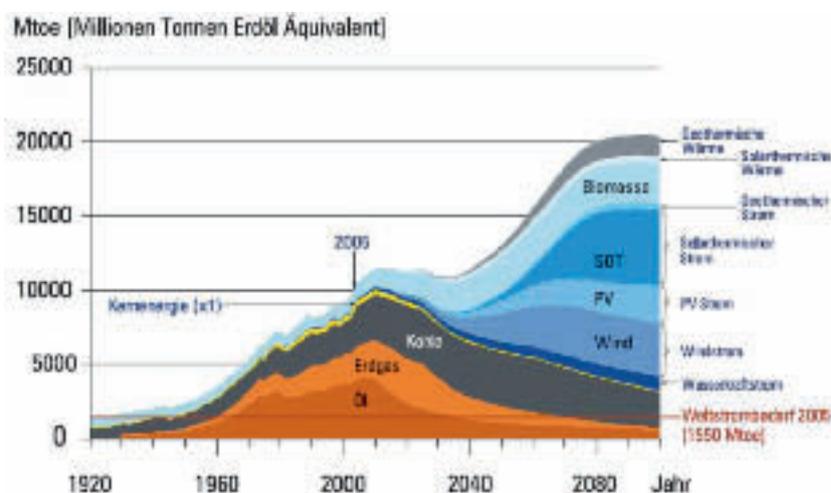
Quelle: FVS-Forschungsverbund Sonnenenergie/Fischedick, Langniß und Nitsch (2000)
Nach dem Ausstieg – Zukunftskurs erneuerbare Energien



Das ökologische Potenzial solarer Energien liegt vorwiegend in der schadstoffarmen, umweltfreundlichen und vor allem in der von fossilen Energieträgern unabhängigen, nachhaltigen Energiegewinnung. Dies gewinnt, wie es ausgewählte Szenarien deutlich machen (vgl. Abbildung 2 sowie u. a. IEA; DWV sowie WBGU 2007), vor allem vor dem Hintergrund endlicher fossiler Energieträger zunehmend an Bedeutung.

Abbildung 2: Ein mögliches Energiewendeszenario

Quelle: Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (LBST), Alternative World Energy Outlook 2005



Die ökonomischen Chancen regenerativer und speziell solarer Energietechniken liegen in der Etablierung neuer Wirtschaftszweige, in der Herstellung von Energiegewinnungsanlagen, die Wirtschaftswachstum und Arbeitsplätze schaffen ebenso wie sie zum Aufbau einer weitgehend regionalisierten und klimaneutralen Energiewirtschaft beitragen (vgl. hierzu insbesondere Scheer 1999). Diese wird auf dem Mix jeweils regional geeigneter Technologien der regenerativen Gewinnung und Speicherung von Energie und ihrer ressourcenschonenden Verwendung liegen.

In Deutschland wurden 2007 mit den erneuerbaren Energien Wasser, Wind, Solar und Biomasse 9,1 % des Gesamtenergiebedarfs gedeckt, insgesamt wurden rechnerisch 219 Mrd. kWh produziert (BEE 2008). Dem entspricht eine Einsparung von 116 Mio. Tonnen CO₂ – die durchschnittliche Jahresemission einer Großstadtreion wie Köln. Der so genannte „Regenerativstrom“¹ erzielte dabei einen Zuwachs auf 86,4 Mrd. kWh (Vorjahr 72,1) bei einem insgesamt auf 14,1 % (11,9 %) steigenden Anteil des inländischen Stroms – dies entspricht der Jahresproduktion eines AKW. Die Menge des photovoltaisch erzeugten Stroms belief sich 2007 in Deutschland – gerade eben – auf 3,5 Mrd. kWh²; im Vorjahr waren es 2,2 Mrd. kWh (BMU 2007; BSW 2008-02). Dies entspricht 0,6 % des gesamten Bruttostromverbrauchs.

1.2. Die Herausbildung der Photovoltaikindustrie als Wirtschaftszweig

Die Photovoltaikindustrie ist eine relativ junge Branche. Erste praktische Anwendung fand die Photovoltaik 1958 durch den Einsatz als Energiequelle in der Raumfahrt. Ausgelöst durch die Energiekrisen in den 1970er und 1980er Jahren und das steigende Umweltbewusstsein gewannen solare Technologien allmählich an gesamtwirtschaftlicher Bedeutung. Es dauerte jedoch bis zur Jahrtausendwende, ehe der Durchbruch vom Nischenmarkt zu einem bedeutenden industriellen Produktionsfeld gelang. Aktuell ist die Photovoltaik einer der am schnellsten wachsenden Technologiemarkte weltweit.

Künftig werden weitere Anwendungsgebiete solarer Energien entdeckt und entwickelt werden. Als Beispiele der jüngeren Zeit seien hier die Raumklimatisierung mittels Solarwärme und die Entwicklung zentraler, konzentrierter solarthermischer Kraftwerke (bspw. großflächige Parabolanlagen und Aufwindkraftwerke) genannt. Als Wirtschaftszweig der Solarindustrie umfassen sie die Planung, die Herstellung und den Service für strom- und wärmeerzeugende Anlagen, die die Sonne als Energiequelle nutzen – Photovoltaik und Solarthermie.

Hinsichtlich der weltweit installierten Leistung – hauptsächlich für Klimatisierung und Warmwasserbereitung – wird bereits heute mit Solarthermie international achtmal mehr Energie als mit Photovoltaik erzeugt. Ihr maßgebliches Entwicklungspotenzial liegt in der solarthermischen Gewinnung von Strom in klimatisch geeigneten Regionen. Bis 2010 werden daher jährliche Wachstumsraten von rund 25 % erwartet.

In anderen Regionen als in unserer klimatischen Zone ist aber einschlägigen Prognosen zufolge dennoch das Potenzial der Photovoltaik, das bislang nur zu einem kleinen Bruchteil erschlossen und genutzt ist weitaus größer (vgl. Abbildung 2). Besondere Anreize zur weiteren Entwicklung der Technologie wurden in jüngerer Zeit durch Einspeisevergütungsmodelle gesetzt. Insbesondere mit dem Deutschen Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) wurden internationale Impulse zur Belieferung deutscher PV-Anlagen gesetzt.

Der globale Photovoltaikmarkt und mit ihm die Photovoltaikindustrie wird sich in den kommenden Jahren stark positiv entwickeln. Zwischen 2006 und 2010 liegt die erwartete jährliche Wachstumsrate bei rund 50 %. Für die folgende Dekade von 2011 bis 2020 werden immer noch Wachstumsraten von rund 22 % per annum prognostiziert (Sarasin 2007).³

¹ Strom aus erneuerbaren Energiequellen

² 3,5 TerraWattStunden (TWh) – 3.500 GWh – 3.500.000 MWh – 3.500.000.000 kWh

³ Damit korrigierte das Bankhaus Sarasin die Prognose aus seiner Studie zur PV-Industrie von 2005 deutlich nach oben. Zwei Jahre davor war man nur von einem jährlichen Wachstum von 24 % p.a. bis 2010 und 18 % p.a. in der darauf folgenden Dekade ausgegangen (Sarasin 2005).

Im Folgenden befassen wir uns ausschließlich mit der Photovoltaikindustrie. Fachstudien einschlägiger Analysten – Bankhaus Sarasin, Internationale Energieagentur (IEA), Ernst & Young, PHOTON und EuPD – bildeten die Grundlage für die Bewertung der Entwicklung des Industriezweigs allgemein und in Deutschland. Ergänzt wurde die Sekundärliteraturanalyse durch die gezielte Einbeziehung aktueller Artikel aus Fachzeitschriften. Veröffentlichungen des Bundesverbandes Solarwirtschaft (BSW) konnten weitere Daten und Informationen entnommen werden. Hierzu zählte zuletzt die Kurzfassung des Branchenreports von EuPD/ifo, die im Mai 2008 als erste Studie zur Entwicklung des Industriezweigs in Deutschland für den BSW veröffentlicht wurde.

Die quantitative und qualitative Analyse der Unternehmensstruktur der Photovoltaikindustrie Ostdeutschlands beruht auf der IMU-Branchendatenbank, deren Inhalte aus einer Vollerhebung der PV-Industriellandschaft gewonnen wurden. Unternehmensrecherchen erfolgten auf der Basis von Selbstdarstellungen und Presseveröffentlichungen. Erkenntnisse über internationale Entwicklungen und Trends stützen sich auf Auswertungen halb- und nichtamtlicher Statistiken (Fach- und Forschungsverbände, Internationale Organisationen). Auf Quellen der amtlichen Statistik (Statistisches Bundesamt und Landesämter) konnte aufgrund der derzeit noch unklaren Branchenabgrenzung der Photovoltaikindustrie nicht zurückgegriffen werden.

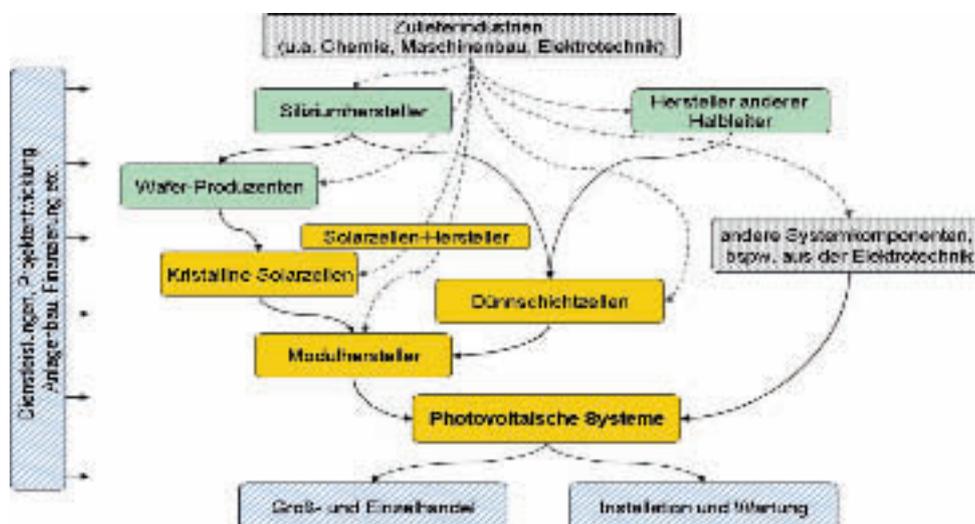
Die gewonnenen Erkenntnisse wurden in Expertengesprächen mit Unternehmensvertretern, Vertretern aus Forschung und Lehre, der Wirtschaftsförderung, Beschäftigten des Industriezweigs und Vertretern der Gewerkschaften vertieft.

1.3. Solarzellentechnologien und das Wertschöpfungssystem der Photovoltaikindustrie heute

In der Wirtschaftsstatistik ist die Photovoltaikindustrie derzeit nicht eindeutig abzugrenzen. Sie vereint unterschiedliche Teilbranchen der Elektrotechnik (insbesondere der Mikroelektronik), des Maschinenbaus, der chemischen Industrie und der Energieerzeugungsbranche. Wie in Abbildung 3 dargestellt, reicht die Wertschöpfungskette vom Hersteller chemischer Vorprodukte, über die Halbleiterhersteller wie Siliziumfabrikanten und Waferproduzenten, zu den Solarzellen- und Modulherstellern und Systemanbietern bis hin zu Dienstleistungen in Wartung und Installation und dem Groß- und Einzelhandel. Derzeit lassen sich zwei Typen von Solarzellen unterscheiden. Mit einem Weltmarktanteil von rund 90 % sind im Jahr 2007 kristalline Solarzellen noch von größerer Bedeutung als Solarzellen, die in so genannten Dünnschichtverfahren hergestellt werden.

Abbildung 3: Das Wertschöpfungssystem Photovoltaikindustrie

Quelle: eigene Darstellung IMU-Institut



Kristalline Zellen werden aus Wafern, die aus hochreinem Halbleitermaterial (monokristalline Siliziumzellen, rund 60 % aller Solarzellen) oder aus Einzelkristallen (polykristalline, rund 30 % aller Solarzellen) bestehen, hergestellt. Wafer sind aus Ingots gesägte dünne Scheiben, aus denen Zellen und Chips hergestellt werden. Als Solarzellen werden Bauelemente aus Wafern bezeichnet, die Licht in elektrische Energie umwandeln. Solarmodule fassen mehrere Solarzellen zusammen und verschalten diese zu einem stromerzeugenden Modul. Photovoltaische Systeme bestehen aus vielen Modulen und weiteren Komponenten und bezeichnen vollständige und speziell konfigurierte Anlagen unterschiedlicher Größen und Leistungsklassen zur photovoltaischen Stromgewinnung.

In der Praxis erreichen kristalline Solarzellen Wirkungsgrade von ca. 15 %. Die Wirkungsgradnachteile polykristalliner Siliziumzellen gegenüber den monokristallinen Zellen werden durch niedrigere Herstellungskosten ausgeglichen.

Bei der Dünnschichttechnologie wird eine dünne, leitende Schicht auf Glas oder metallische Trägermaterialien aufgetragen (i. d. R. aufgedampft) – das Schneiden von Siliziumblöcken entfällt damit. Als Halbleitermaterialien werden hier unter anderem amorphes Silizium (aSi), Cadmium-Tellurid (CdTe) oder Kupfer-Indium-Diselenid (CIS) eingesetzt. Mit der Dünnschichttechnologie besteht die Möglichkeit, komplett siliziumfreie Solarmodule in einem integrierten Prozess der Zellfertigung zu bauen. Analog folgt die Zusammenstellung zu PV-Systemen. Bisher werden allerdings auch in der Dünnschichttechnologie die meisten Module auf Siliziumbasis hergestellt (53 %), gefolgt von den CdTe-Modulen (40 %) und den CIS-Modulen (7 %) (Sarasin 2007). Expertenschätzungen zufolge wird sich der Anteil der siliziumfreien Solarmodule (CdTe + CIS) bis 2010 nicht nennenswert erhöhen, er steigt um einen Prozentpunkt auf 48 %. Dünnschichtzellen haben aktuell noch deutlich niedrigere Wirkungsgrade als die kristallinen Zellen (um die 10 %), basieren aber auf wesentlich vereinfachten Herstellungsverfahren. Bedingt durch die günstigeren Herstellkosten erzielen diese Technologien zwar einen bislang noch geringen, aber stetig wachsenden Marktanteil.

Da die Dünnschichttechnologie geringeren Rohstoffeinsatz als konventionelle, kristalline Solarzellen erfordert, gewinnt sie auch angesichts des in der jüngeren Vergangenheit auf dem Weltmarkt aufgetretenen Siliziumengpasses zunehmend an Bedeutung.

Immer mehr Unternehmen entscheiden sich zur Produktion im Dünnschichtverfahren. Im vergangenen Jahr stiegen weltweit 24 Produzenten in die Dünnschichttechnologie ein. Insgesamt produzieren weltweit rund 80 Unternehmen Solarzellen und -module mit dieser Technologie. Marktführer sind die amerikanischen Unternehmen First Solar und United Solar sowie die japanischen Firmen Kaneka und Mitsubishi. Aber auch bisher nur im kristallinen Segment tätige Unternehmen wie Sharp oder Q-Cells steigen jüngst vermehrt in die Dünnschichttechnologie ein. Der Ausbau der Fertigungskapazitäten lässt erwarten, dass der Marktanteil der Dünnschichttechnologie an der gesamten Photovoltaikindustrie stark zunimmt. Lag er 2005 noch bei knapp 6 %, stieg er 2006 bereits auf ca. 8 %. Es wird erwartet, dass sich der Anteil der Dünnschichtszellen insgesamt bis zum Jahr 2010 auf über 20 % erhöhen wird (Sarasin 2007). Ein weiteres Indiz für die wachsende Bedeutung der Dünnschichttechnologie ist der Aufstieg von First Solar, einem Dünnschichtproduzenten, dessen Technologie nicht siliziumbasiert ist, unter die Top Ten der PV-Hersteller in 2006.

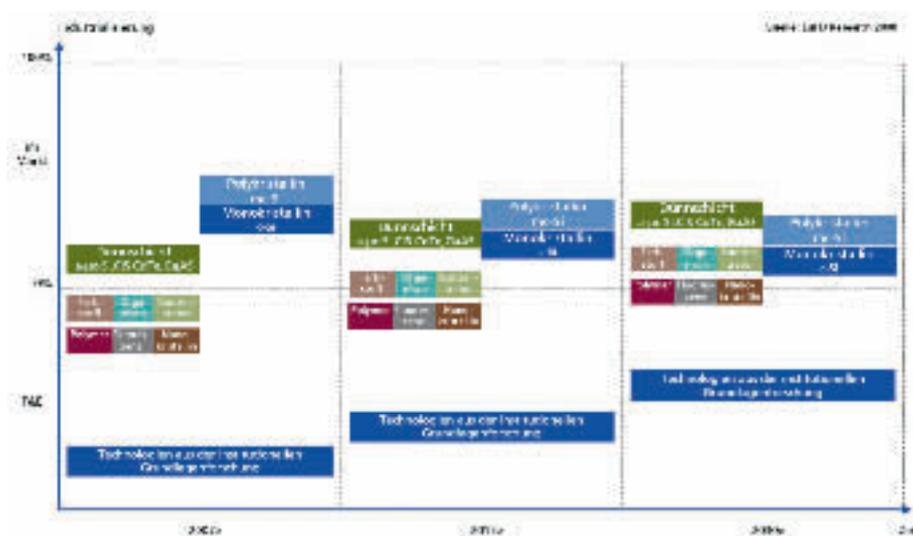
Weitere Vorteile wie die Möglichkeit, Solarmodule auf flexible Materialien aufzubringen, bessere Leistungswerte bei höheren Temperaturen und eine weniger energieintensive Herstellung lassen die Dünnschichttechnologie als zukunftssträchtiges Teilsegment der Photovoltaikindustrie erscheinen. Allerdings ist auch für die Herstellung kristalliner Solarmodule zukünftig mit immer weiter reduzierten Herstellkosten zu rechnen.

Mit neueren Generationen von Halbleitertechnologien metallurgischen Siliziums und der Verarbeitungstechnologien für „upgraded metallurgical Silicon“ wird mittelfristig eine Beschleunigung und erneute Veränderung in den Produktionsverfahren der Herstellung weitaus kostengünstiger und effizienterer Zellen verbunden sein (vgl. Rentzing 2008 a/b).

Die wichtigsten Entwicklungsziele bestehen durchgängig in der Materialeffizienz und damit der Verbesserung des Preis-Leistungs-Verhältnisses der Zellen. Wie in Abbildung 4 dargelegt, verändern sich damit industrieller Reifegrad und Status der Technologien. Perspektivisch liegt hierin eine beständige Revolvierung der Produktionsprozesse begründet, nicht zuletzt aufgrund der bereits in der Grundlagenforschung angezeigten weiteren Techniken der organischen Photovoltaik. Mit weiteren Herstellprozessen fluoreszierender Photovoltaik, Farbstoffzellen und nanokristallinen Zellen ist EuPD/ifo (2008) zufolge bereits mittelfristig zu rechnen.

Abbildung 4: Perspektiven der Photovoltaik-Technologien

Quelle: EuPD/ifo (2008), S. 21



2. Die internationale Entwicklung der Photovoltaikindustrie

Im Folgenden wird ein Überblick über die globalen Trends in der Photovoltaikindustrie gegeben, um vor diesem Hintergrund dem Wirkungszusammenhang von installierter Leistung und dem Aufbau der Photovoltaikindustrie nachzugehen.

2.1. Wertschöpfungskette Photovoltaik

2.1.1. Weltmarkt Silizium

In der Vergangenheit konzentrierten sich die Siliziumproduzenten fast ausschließlich auf die Computerchipindustrie, für die Silizium mit höheren Reinheitsgraden als für die Photovoltaikindustrie benötigt wird. Seit rund 10 Jahren gewinnt aber die Photovoltaikindustrie an Bedeutung für den Siliziummarkt. Die Nachfrage nach Silizium lag in der Vergangenheit über dem Angebot. Aufgrund des Unterangebots von Silizium stieg der Weltmarktpreis für den Rohstoff von 2005 auf 2006 um rund 20 % (IEA 2007). Der Weltmarkt des Rohstoffes Silizium wird derzeit im Wesentlichen von nur vier Unternehmen beherrscht. Tokuyama (Japan), Hemlock Semiconductor (USA), REC Solar Grade (USA) und Wacker-Chemie (Deutschland) kontrollierten rund 95 % des Weltmarkts (Ernst & Young 2006) mit rückläufiger Tendenz in 2007. Die großen Siliziumproduzenten betrieben einen weiteren Ausbau ihrer Produktionskapazitäten und neue Anbieter kommen hinzu. So halten die vier führenden Hersteller 2007 noch 70 % der

Weltmarktanteile⁴. Bis 2010 wird ein Ausbau auf annähernd 220.000 Tonnen erwartet, bereits annähernd 20 % des Angebots werden dann bereits auf metallurgisch gereinigtes Silizium entfallen (Rentzing 2008). Mit der weiteren Ausweitung des Angebots wird künftig mit stabilen oder sogar fallenden Siliziumpreisen zu rechnen sein. Der technologiebedingt rückläufige Siliziumverbrauch wird diese Tendenz stützen oder zumindest stabilisieren.

Insbesondere von den inländischen Waferproduzenten, die auf die Verarbeitung hochwertigen Siliziums angewiesen sind, wird die nach wie vor bestehende Unsicherheit mit eigenem Engagement in der Siliziumherstellung von SolarWorld und Scheuten sowie PV Crystalox kompensiert. Joint Solar Silicon Freiberg (Evonic/Degussa) startet die Produktion mit 850 Tonnen, Scheuten SolarWorld Silizium Freiberg (Tochter von Degussa und SolarWorld AG) in 2009 mit 1.000 Tonnen.

2.1.2. Weltmarkt Wafer

Auch die Struktur dieses Segments der Photovoltaikindustrie ist von wenigen, großen Unternehmen geprägt. Die 12 größten Hersteller der Welt kommen zusammen auf 90 % Marktanteil. Die größten acht Waferhersteller sind für drei Viertel der globalen Waferproduktion verantwortlich.

Tabelle 1: Weltmarktanteile der Waferproduzenten

Quelle: Ernst & Young 2006; eigene Darstellung IMU-Institut.

Hersteller	Deutsche Solar ¹⁾	M.Setek	Kyocera	REC Scan-Wafer ²⁾	BP Solar	PV Crystalox ³⁾	Shell Solar	JFE	Sanyo	Sumco	RWE	Sharp	sonstige
Land	BRD	Japan	Japan	Norwegen	UK	BRD - UK	Niederlande	Japan	Japan	Japan	BRD	Japan	
Weltmarktanteil	14%	14%	10%	10%	9%	8%	7%	4%	4%	4%	3%	3%	10%

1) Freiberg, Tochter SolarWorldAG;
 2) Joint-Ventures SOLON AG Berlin;
 3) Erfurt/Bitterfeld, Konsortialführer der Clusterinitiative Solarvalley Mitteldeutschland

2.1.3. Weltmarkt Solarzellen

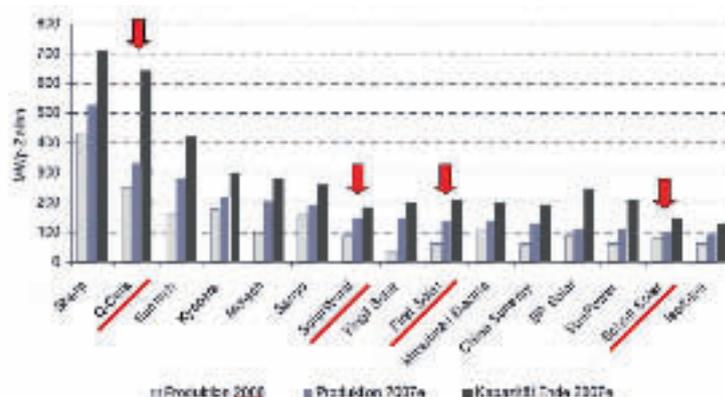
Der Solarzellen-Weltmarkt ist ebenfalls von wenigen, international agierenden Herstellerkonzernen bestimmt. Im Jahr 2006 ist Sharp mit einer Gesamtleistung von ca. 430 MWp produzierter Zellen führend. Damit kann sich das Unternehmen aus Osaka einen Marktanteil von rund 17 % (-6,6 % gegenüber dem Vorjahr) sichern. Zweitgrößtes Unternehmen der Branche ist die deutsche Q-Cells AG, die auf rund 250 MWp kommt. Drittgrößter Solarzellenproduzent der Welt war im Jahr 2006 das japanische Unternehmen Kyocera mit rund 180 MWp (Sarasin 2007; EPIA 2007). Betrachtet man die Herkunft der größten Solarzellenproduzenten, so lassen sich eindeutige regionale Schwerpunkte der Photovoltaikindustrie identifizieren. Unter den Top-15 der Solarzellenhersteller befinden sich insgesamt vier Unternehmen aus Japan und jeweils drei Unternehmen aus Deutschland und China, sowie ein weiteres Unternehmen mit Sitz in Taiwan. Die USA sind mit zwei Unternehmen ebenso stark wie der Rest der EU (ohne BRD) unter den Top-15 vertreten (Ernst & Young 2006; Sarasin 2007).

Im vergangenen Jahr produzierte Q-Cells die weltweit höchste Zahl an Zellen. Doch könnte das auch 2008 expandierende Unternehmen in diesem Jahr von dem chinesischen Hersteller Suntech abgelöst werden (ne 04/2008 S. 61).

⁴ Vgl. die Darstellung bei Rentzing (2008); IEA (2007) schätzt diese Zahl auf 60 %.

Abbildung 5: Top 15 der Solarzellenhersteller – Produktion 2006 und 2007 und Ausbaupläne

Quelle: Sarasin 2007



Die Länder mit den bedeutendsten Märkten für Solartechnik sind auch gleichzeitig die größten Photovoltaik-Produzenten. In Japan wurden im Jahr 2006 Solarzellen mit einer Gesamtleistung von 920 MWp hergestellt, dies entspricht einem Weltmarktanteil von 36 %. Trotz des Ausbaus der Produktionskapazitäten in Japan gegenüber dem Vorjahr (823 MWp) sank sein globaler Marktanteil um ein Viertel. Deutschland, zweitgrößtes Herstellerland, konnte seinen Anteil am Weltmarkt stabil bei 20 % halten. Die deutschen Hersteller steigerten ihre Produktion von 342 MWp in 2005 um die Hälfte auf 514 MWp in 2006, im Jahr 2007 stieg die Produktion deutscher Solarhersteller auf 842 MWp (+59 gegenüber 2006) an (BSW 2008). Im Jahr 2006 hat China die USA als drittgrößtes Herstellerland von Solarzellen abgelöst. Chinesische Solarfabriken stellten 2006 Solarzellen mit einer Gesamtkapazität von 380 MWp her, was gegenüber 2005 einer Produktionssteigerung von über 150 % entspricht. Analysten zufolge leiden die chinesischen Produzenten derzeit noch unter Qualitäts- sowie Erfahrungsrückständen und konkurrieren zudem bei der Rohstoffsicherung als Neulinge auf dem Markt mit den etablierten Unternehmen. Indessen entwickelt sich der chinesische Photovoltaikmarkt mit seinen führenden Unternehmen insgesamt sehr dynamisch. Mittlerweile hat sich China als weltgrößter Solarproduzent durchgesetzt und sowohl Japan als auch Deutschland hinter sich gelassen (Das Energieportal, 31.03.2008).

Die USA hingegen konnten ihr Produktionsvolumen um ein gutes Viertel ausweiten und erreichten 2006 eine Gesamtleistung von 200 MWp. Der Rest der Welt war im Jahr 2006 für jede fünfte hergestellte Solarzelle verantwortlich und konnte damit seinen Weltmarktanteil um 5 % erhöhen. An einzelnen Staaten sind darunter insbesondere Taiwan (170 MWp; plus 180 % gegenüber 2005), Spanien (75 MWp; plus 10 %) und die Philippinen (63 MWp; plus 320 %) hervorzuheben.

2.1.4. Weltmarkt Solarmodule

Der Teilmarkt der Solarmodule ist bislang international von einem deutlich niedrigeren Konzentrationsgrad als der Zellenmarkt geprägt und deutlich stärker regionalisiert. Neben den großen global agierenden Konzernen sind in diesem Segment auch viele kleine und mittelständische Unternehmen tätig. Die Modulhersteller befinden sich in einer schwachen Wettbewerbsposition gegenüber den Solarzellenfabrikanten. Die größten Herausforderungen für die kleineren Modulhersteller bestehen im Hinblick auf die derzeit noch vorherrschende Rohstoffknappheit und die marktbeherrschende Stellung einiger weniger großer Zellhersteller in den engen Zuliefererstrukturen und der Versorgung mit Rohstoffen und Solarzellen.

2.1.5. Weltmarkt photovoltaische Systeme

Auch auf dieser Wertschöpfungsstufe ist der Weltmarkt eher gering konzentriert und der Anteil mittelständischer Unternehmen relativ hoch. In diesem Teilsegment ist mit zunehmender technischer Entwicklung und Reife eine Konsolidierung des Marktes mit zunehmendem Konzentrationsgrad zu erwarten. Bislang sind als internationale

Marktführer in diesem Segment u. a. die deutschen Unternehmen SolarWorld AG, Conergy AG sowie Phönix, Sunset und Centrosolar zu nennen.

2.2. Installierte Kapazitäten

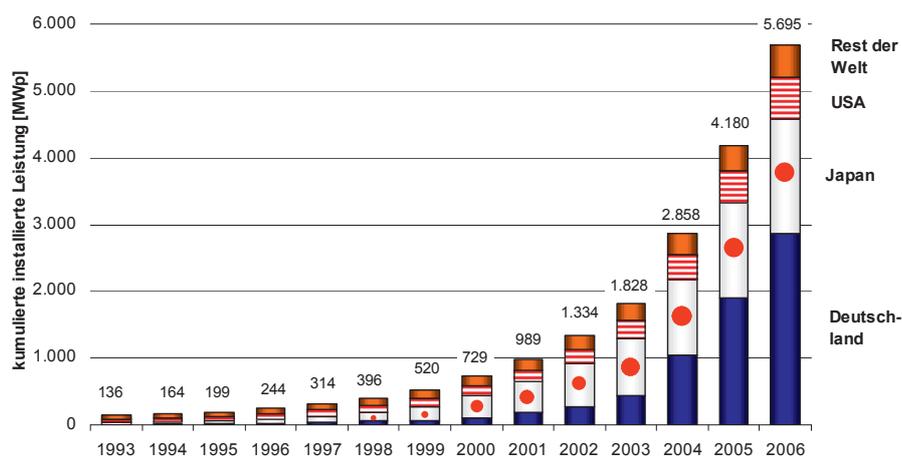
Für die Photovoltaikindustrie insgesamt ist ein enorm starkes Wachstum der Stromerzeugungskapazitäten zu verzeichnen. Dieses wurde in erheblichem Maße durch den verstärkten Fokus auf regenerative Energien im Zuge der Klimadebatte (globale Erwärmung, CO₂-Emissionen), aber auch durch die von vielen Ländern jüngst stärker berücksichtigte Strategie einer autonomen Energieversorgung angeregt. Die aktuell hohe Nachfrage auf den Solarmärkten ist wesentlich durch staatliche Förderprogramme induziert. Entsprechend wird auch die künftige Entwicklung staatlicher Förderstrategien und Anreizprogramme den Solarmarkt beeinflussen. Ein Beispiel hierfür ist Japan, vormals Weltmarktführer in der installierten Kapazität: nachdem das wichtigste Förderprogramm für Solarzellen auf Privathäusern Ende 2005 auslief, schrumpfte der Solarmarkt entgegen dem globalen Trend (+ 18 %) zwischen 2005 und 2006 um rund einen Prozentpunkt.

Insgesamt waren weltweit im Jahr 2006 rund 5,7 GW photovoltaischer Leistung installiert (vgl. Abbildung 6), die Hälfte (2,9 GW) davon in Deutschland⁵. In Japan sind rund 30 % (1,7 GW) der Solarstromkapazitäten installiert, in den USA weitere 11 % (0,6 GW). Alle anderen Staaten kommen zusammen auf eine Gesamtleistung von 0,5 GW, was einem Anteil von knapp 9 % des globalen Werts entspricht. In China liegt die kumulierte installierte Leistung Ende 2006 mit 85 MW noch relativ niedrig. Jedoch war der chinesische Markt in 2006 um 25 % bereits zum weltweit sechstgrößten Solarmarkt gewachsen. Für das Jahr 2007 liegen noch keine international vergleichbaren Daten vor. In Deutschland stieg die installierte Leistung in 2007 um 44 % auf rund 3,9 GW.

Der Zeitverlauf zeigt einen rasanten Anstieg der installierten Gesamtleistung über die vergangenen 14 Jahre. War der Zuwachs bereits zwischen 1993 und 1999 um insgesamt 280 % schon extrem ausgeprägt, explodierte er förmlich mit einem Plus von 680 % zwischen 2000 und 2006.

Abbildung 6: Entwicklung der weltweit installierten photovoltaischen Leistung

Quelle: IEA 2007; eigene Darstellung IMU-Institut

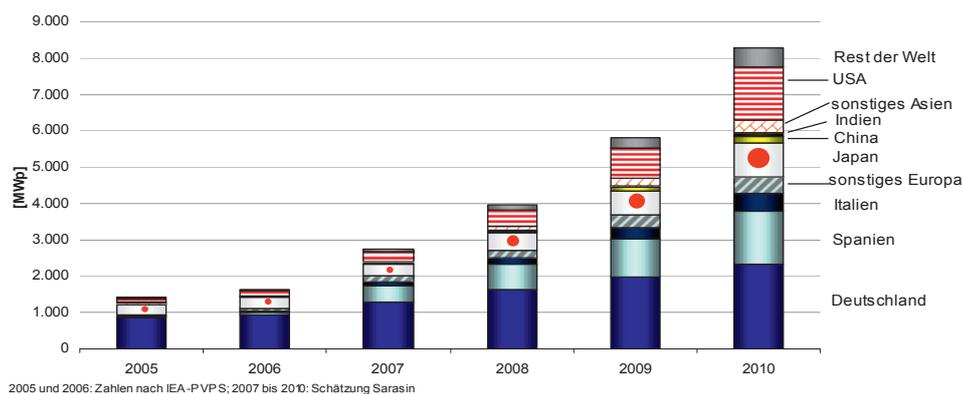


⁵ Die Angaben beziehen sich auf die Statistiken der IEA-Photovoltaic Power Systems Programme (IEA-PVPS) der Internationalen Energieagentur und ihrer Mitgliedsstaaten. Diese schließen nicht alle Länder der Welt mit ein. Entsprechend sind in anderen Quellen abweichende Zahlen zu finden. So liegt bspw. nach Angaben der EPIA (European Photovoltaic Industry Association) die in 2006 weltweit installierte Gesamtleistung bei 6,6 GW.

In Relation zur Bevölkerungszahl betrachtet, sind im Jahr 2006 in Deutschland pro Einwohner 35 Watt photovoltaische Leistung installiert, in Japan beträgt der Wert 13 Watt je Einwohner. Weitere europäische Länder (Spanien, die Niederlande, Österreich, Norwegen und die Schweiz) sowie Australien und die USA folgen mit einer durchschnittlichen Leistung von 2 bis 4 Watt pro Kopf auf den weiteren Plätzen. Der weltweit höchste Wert photovoltaischer Leistung wird in Luxemburg, einem in absoluten Zahlen marginalen Markt, mit 51 Watt je Einwohner erreicht (IEA 2007).

Abbildung 7: Jährlich neu installierte Leistung nach Ländern – aktueller Stand und Prognose

Quelle: IEA 2007; Sarasin 2007; eigene Darstellung IMU-Institut



Die herausragende Mehrheit der weltweit installierten Photovoltaikanlagen wird zur Einspeisung in die Stromnetze genutzt. Nur rund 5 % aller Solaranlagen arbeiten netzunabhängig im Inselbetrieb. Für die kommenden Jahre wird mit einem enorm hohen Anstieg der photovoltaischen Stromerzeugung gerechnet (vgl. Abbildung 7). Die global stetig steigende Nachfrage, gemessen mittels der jährlich neu installierten Leistung, eröffnet der Photovoltaikindustrie einen rasant wachsenden Absatzmarkt.

So werden voraussichtlich im Jahr 2010 Solarsysteme mit einer Leistung von 8,2 GW neu an die Stromnetze angeschlossen werden. Dieser Wert liegt um die Hälfte über der derzeit weltweit installierten photovoltaischen Gesamtleistung. Ein besonders hohes Wachstum wird einerseits für die südeuropäischen Staaten, andererseits für die Schwellenländer Indien und China erwartet⁶. Aber auch für die USA ist ein kräftiges Wachstum der Neuinstallationen prognostiziert. In Deutschland steigt die Nachfrage nach Photovoltaik-Produkten ebenfalls beachtlich, das Wachstum bleibt aber deutlich unter dem globalen Durchschnitt. Dennoch wird Deutschland in 2010 weiterhin der weltgrößte Absatzmarkt der Photovoltaikindustrie sein, sein Anteil am Weltmarkt der Neuinstallationen jedoch halbiert sich – wie in Tabelle 2 gezeigt – auf ca. 28 %.

⁶ In den Ländern Italien, Spanien, Portugal, Griechenland, Australien, Indien und Südkorea wird mit einem stark wachsenden Markt gerechnet, auch wenn die absoluten Marktanteile dieser Staaten derzeit noch gering sind.

Tabelle 2: Leistung photovoltaischer Stromerzeugung – aktueller Stand und Prognose

Quelle: IEA-PVPS 2007; Sarasin 2007; eigene Darstellung IMU-Institut

	kumulierte Leistung [MW]		neu installierte Leistung [MW]		Wachstumsrate (Neuinstallationen)		Weltmarktanteil (Neuinstallationen)	
	2006	2010	2006	2010	2005 - 2006	2006 - 2010	2006	2010
Welt	5.695 (*)		1.646	8.255	17%	402%		
Europa insgesamt	(**)		1.121	4.738	19%	323%	68%	57%
Deutschland	2.863		953	2.320	10%	143%	58%	28%
Spanien	118		61	1.465	205%	2302%	4%	18%
Italien	50		13	498	79%	3884%	1%	6%
sonstiges Europa	(**)		94	455	96%	384%	6%	6%
Asien insgesamt	(**)		336	1.535	2%	357%	20%	19%
Japan	1.709		287	943	-1%	229%	17%	11%
China	85		15	149	25%	893%	1%	2%
Indien	90		9	106	13%	1078%	1%	1%
sonstiges Asien	(**)		25	337	25%	1248%	2%	4%
USA	624		145	1.480	41%	921%	9%	18%
Rest der Welt	(**)		45	503	29%	1018%	3%	6%

(*) nur IEA-PVPS Staaten berücksichtigt

(**) aufgrund des Gebrauchs mehrerer Quellen sind die Teilsummen nicht berechenbar

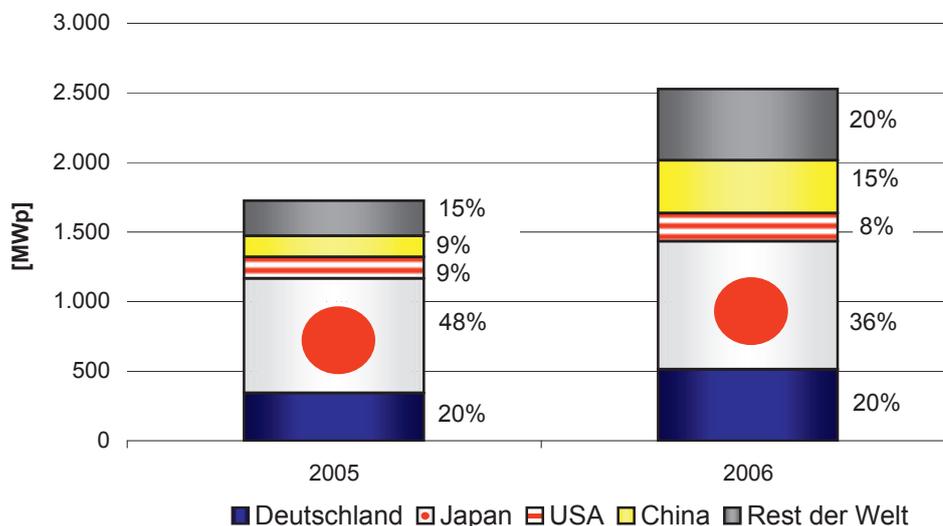
2.3. Zum Wirkungszusammenhang installierter Leistung und Photovoltaikindustrie

Die führenden Photovoltaikproduzenten sind Japan, USA, Deutschland. In vielen Schwellenländern, vor allem in China und Indien, ist derzeit ein enormer Aufbau der Produktionskapazitäten zu beobachten. Da sich in den Ländern Südostasiens noch keine oder nur sehr gering entwickelte Binnenmärkte gebildet haben und es kaum vergleichbare Anreizprogramme gibt, zielt das starke Produktionswachstum dieser Länder beinahe ausschließlich auf den Export, also auf die Märkte in Europa, den USA und Japan. Sarasin (2007) erwartet starke Bedeutungsgewinne der chinesischen Photovoltaikindustrie vor allem im Bereich der Modulfertigung, einem Segment, in dem die „typischen“ Stärken Lohnkostenvorteil und geringe Energiekosten voll zum Tragen kommen.

Weltweit wurden in 2006 Solarzellen mit einer Gesamtleistung von rund 2,5 GWp produziert. Dies entspricht einer Steigerung von rund 44 % gegenüber dem Vorjahr (1,7 GWp in 2005). Im selben Jahr wurden weltweit Solarmodule mit einer Kapazität von 2,3 GWp hergestellt, die Wachstumsrate gegenüber 2005 lag damit bei rund 50 %. Für das Jahr 2007 liegen aktuell noch keine internationalen Vergleichsdaten vor.

Abbildung 8: Produktion von Solarzellen weltweit

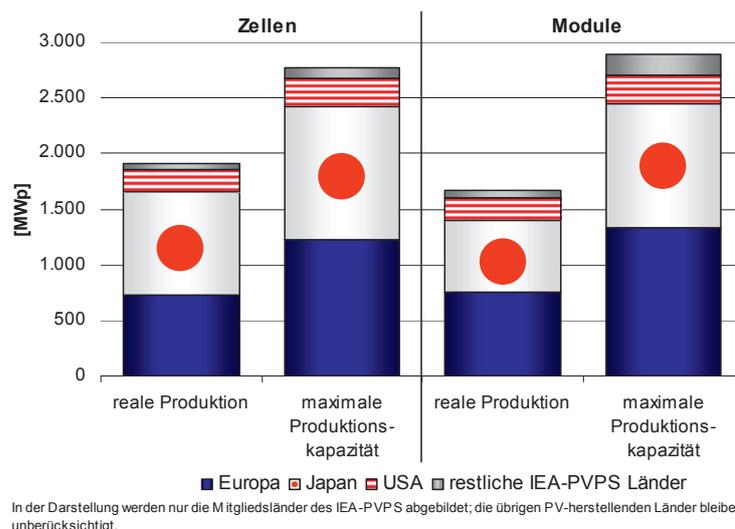
Quelle: Sarasin 2007; eigene Darstellung IMU-Institut



Der Ausbau der Produktionskapazitäten findet auf allen Wertschöpfungsstufen statt. Kooperation und Verflechtungen zwischen den Unternehmen haben stark zugenommen. Der Zuwachs der produzierten Solarzellen lässt sich weiterhin auf einen effizienteren Rohstoffeinsatz in der Herstellung und neue, Material sparendere Produktionstechnologien zurückführen. Mussten 2005 ca. 11 Tonnen Silizium je produziertem MW Leistung eingesetzt werden, waren 2006 dafür nur noch rund 10 Tonnen notwendig (Sarasin 2007).

Abbildung 9: Produktion und Herstellungskapazitäten von Solarzellen und Modulen 2006

Quelle: IEA 2007; eigene Darstellung IMU-Institut



Die maximalen Fertigungskapazitäten der IEA-PVPS Länder (vgl. Fußnote 5) – die sich aus den höchstmöglichen Produktionsleistungen der Fabriken errechnen – wurden im Jahr 2006 weder bei den Solarzellen noch bei den Solarmodulen ausgereizt. Dennoch wurden in 2006 mehr photovoltaische Erzeugnisse produziert als installiert. Die Diskrepanz zwischen Fertigung und Nutzung verdeutlicht den massiven Aufbau von Produktionskapazitäten, bringt aber auch zum Ausdruck, dass auf dem Photovoltaikmarkt eine Gewichtsverlagerung von einer beherrschenden Stellung der Produzenten hin zu einer stärkeren Position der Nachfrager stattgefunden hat. Sie verweist aber gleichzeitig auch auf die Probleme, die mit dem Aufbau industrieller Kapazitäten und den sich manchmal sprunghaft, insgesamt aber nur allmählich hochschaukelnden und nur in Teilen transparenten Märkten verbunden sind (vgl. hierzu auch Abbildung 10). Dabei führen die ständige Erhöhung der Produktion und die permanente Revolvierung der technologischen Basis zu einem konstanten Anstieg der Nennleistungen. Gleichzeitig äußert sich die sprunghafte Marktentwicklung u. a. auch in zeitweiliger Rohstoffknappheit, was wiederum zu Unterauslastungen der Fertigungsstätten führen kann. Darüber hinaus sind die Märkte vor dem Hintergrund teilweise massiver staatlicher Subventionierung als unvollständig zu betrachten. Weiterhin stellt die maximale Produktionskapazität eine rechnerische, theoretische Größe dar, die im realen Produktionsprozess kaum zu erreichen ist.

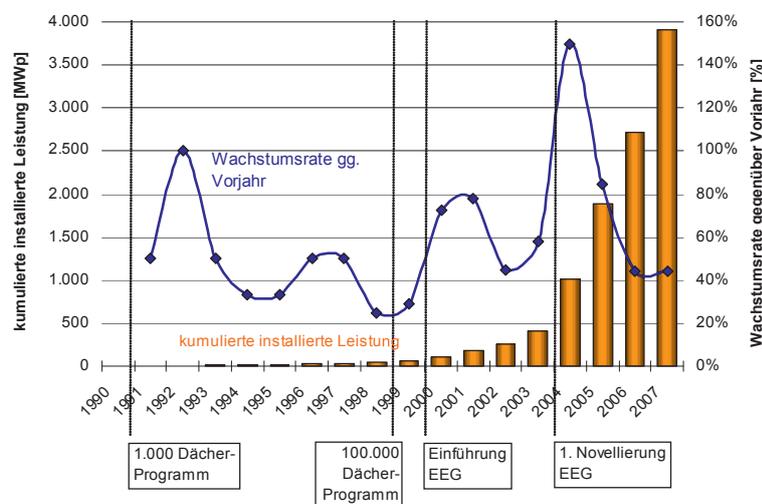
Die Unterauslastungen der Produktionskapazitäten sind nicht als strukturelle Überkapazität zu werten, vielmehr sind sie Ausdruck des rasanten Wachstums, das derzeit die Branche bestimmt. Gerade durch das weitgehende Fehlen vollständiger Märkte und der daraus resultierenden Abhängigkeit vom politischen „Good will“, birgt der aus dem Wachstumsdruck resultierende enorme Kapazitätsaufbau aber auch Risiken für die Unternehmen.

3. Ökonomische Bedeutung der Photovoltaikindustrie heute und Entwicklung in Deutschland

Der Umsatz der durch den Neubau und die Erweiterung von Solarstromanlagen in Deutschland erzielt wurde, betrug im Jahr 2006 rund 3,7 Mrd. Euro, 2007 rund 4,7 Mrd. Euro. Damit ist der Photovoltaik rund ein Drittel aller Umsätze, die durch die Errichtung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien Erlöst wurden, zuzuschreiben. Zusammen mit dem Anlagenbetrieb wurden in der deutschen Photovoltaikindustrie im Jahr 2006 weitere 1,2 Mrd. Euro, 2007 1,8 Mrd. Euro umgesetzt (BMU 2007/2008). Abbildung 10 zeigt die Dynamik dieser Entwicklung anhand der in Deutschland installierten Leistung.

Abbildung 10: Photovoltaik-Anlagen in Deutschland – Entwicklung der installierten Leistung

Quelle: BSW 2008; eigene Darstellung IMU-Institut



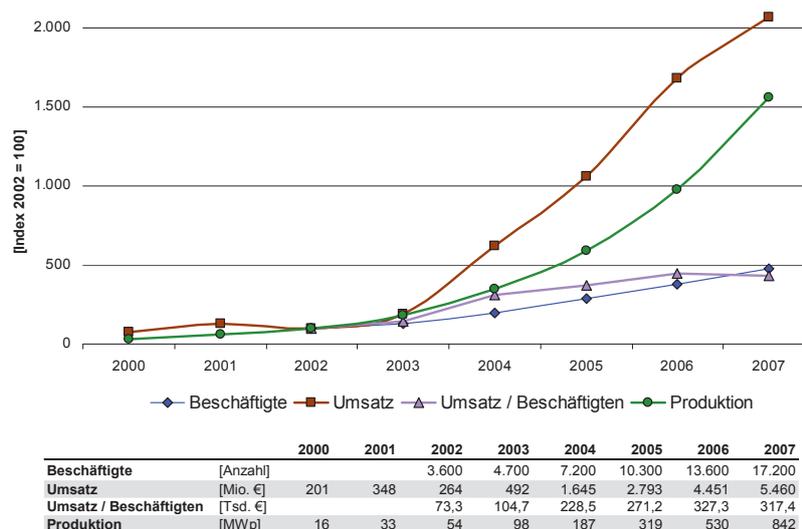
EuPD Research zufolge werden die Wohngebäude alleine in Deutschland mit 730 Terrawattstunden (TWh) Sonnenlicht bestrahlt und die übrigen Gebäude mit 383 TWh. Da nicht alle Dachflächen verfügbar sind und ein gewisses Potenzial für Solarwärme vorbehalten bleiben sollte, kommen die Analysten auf eine photovoltaisch nutzbare Solarstrahlung von rund 800 TWh jährlich, die bei 15 % Wirkungsgrad 20 % des heutigen Strombedarfs decken könnten (Janzing 2008). Doch die Flächen sind nicht der limitierende Faktor: Betrachtet man das erreichbare Potenzial, u. a. unter dem Aspekt technologischer Beherrschbarkeit der Netzeinspeisung und der Energiebereitstellungskosten wie der Experte Nitsch des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR), werden den DLR-Szenarien zufolge bis 2020 15 Gigawatt (GW) und bis 2030 21 GW erreicht. Bis 2050 erwartet Nitsch daher eine Sättigungsgrenze bei rund 30 GW, da den DLR-Annahmen zufolge dann 70 GW Windleistung im Netz sind und Photovoltaik auch 2050 immer noch die teuerste erneuerbare Stromerzeugung in Deutschland sein wird. Aus der EuPD-Befragung des Handwerks ermittelt sich allerdings ein nicht zu unterschätzendes Potenzial an Eigenversorgern (ebd. S. 59), das ebenso wie die Frage der Energie-Speicherung in die DLR-Betrachtung nicht eingegangen sein dürfte.

Seit Beginn des 21. Jahrhunderts gewinnt auch die industrielle Herstellung von PV-Anlagenkomponenten an Dynamik (vgl. auch die räumliche Darstellung von IIC 2006 und BSW 2008, im Anhang Karten A 1 bis 3). Aber erst allmählich folgt die in Deutschland hergestellte Leistung (MWp) der tatsächlich inländisch installierten Kapazität. Bei einer steigenden Exportquote von 14 % in 2004 auf 38 % in 2007 bleibt von der rechnerischen Deckung neu installierter oder erneuerter inländischer PV-Systeme maximal die Hälfte übrig – der jüngsten Photovoltaik-Marktstudie des Magazins Photon zufolge drängen insbesondere asiatische Hersteller und vor allem China auf diesen derzeit lukrativen Markt, wenngleich konstatiert wird, dass hier noch deutliche Qualitätsunterschiede zu verzeichnen

seien (Das Energieportal 31.03.2008). Umgekehrt nutzen auch international orientierte deutsche Hersteller bereits die wachsende Nachfrage auf dem chinesischen Markt⁷. Ebenso wächst das standörtliche Engagement ausländischer Hersteller in Deutschland. Abbildung 11 verdeutlicht die Entwicklung der deutschen Photovoltaikindustrie nach Umsatz, Produktion, Beschäftigten und Umsatzproduktivität.

Abbildung 11: Entwicklung der Photovoltaikindustrie in Deutschland

Quelle: BSW 2008; eigene Darstellung IMU-Institut



Mit der Entwicklung der Herstellung von Photovoltaik-Komponenten einher ging die Entwicklung spezialisierter Produktionsverfahren – zunächst weitgehend in Eigenregie der Hersteller oder in Kooperation mit Anlagenbauern. In jüngerer Zeit ist ein internationaler Trend zur Spezialisierung des Anlagenbaus auf den neuen Industriezweig zu beobachten, verbunden mit der Tendenz, schlüsselfertige und eingefahrene Produktionsstandorte internationaler und inländischer Unternehmen zu übergeben (vgl. u. a. Rentzing 2007). Immanent ist dabei die Tendenz zu immer größeren Fertigungseinheiten. Die durchschnittliche Größe der Solar-Fabriken liegt heute bei einem Produktionsvolumen von 80 bis 100 MWp. Diese Kapazitäten werden künftig erheblich ausgeweitet. Erste Planungen zur Errichtung von Gigawatt-Fabriken (zum Beispiel durch den Stuttgarter Engineering Konzern M+W Zander) laufen bereits und sollen bis 2009 Marktreife erlangen. Die Größe dieser Fertigungsstätten soll den Unternehmen zum einen die Fertigung entlang der gesamten Wertschöpfungskette vom Wafer bis zum Modul in einer Fabrik, zum anderen deutliche Kostensenkungen durch eine Optimierung des Produktionsprozesses, Recycling und Skalenerträge ermöglichen (Rentzing 2007). Allerdings ist Experten zufolge die industrielle Beherrschbarkeit von Fabriken dieses Ausmaßes nicht gesichert. Generell profitieren die Anlagenbauer von einem weltweit enormen Kapazitätsaufbau und einer beständigen Revolverung der Produktionstechniken, sind aber selbst bereits einem massiven Konzentrationsprozess ausgesetzt (Bettzieche 2008).

Auch die Photovoltaikindustrie wird von diesen Konzentrationsprozessen nicht verschont bleiben, hat sie doch bereits einige Übernahmen hinter sich (vgl. u. a. ebd.). Das Erfolgsrezept integrierter Fertigung und das sprunghaft ansteigende und hoch kapitalintensive Wachstum machen sie zu weiten Teilen vom Kapitalmarkt abhängig⁸. Die nötigen Investments werden von Jahr zu Jahr größer, 2010 werden sie Good Energies zufolge bei 100 Mrd. US-

⁷ So produziere die Nummer 7 der 10 größten und multinationalen PV-Hersteller und einschlägiger Qualitätsführer kristalliner Solarzellen SolarWorld bereits die meisten seiner Module in China (ebd. und Abbildung 7).

⁸ Generell ist Wagniskapital für die Regenerativunternehmen von großer Bedeutung. Binnen einen Jahres hatte sich dieses dem britischen Finanzdienstleister New Energy Finance zufolge um 41 % auf 117,2 Mrd. US-Dollar erhöht. Ein Viertel davon fiel auf Aktiengesellschaften (+80 %), 11 % auf Venture Capital und Private Equity-Gesellschaften (+27 %). Mit 5,9 Mrd. Euro flossen knapp 10 % in den Solarbereich, größtenteils in spanische und italienische Projekte (ne 02/2008, S.72).

Dollar, 2011 bei knapp 137 Mrd. US-Dollar liegen und zu 1 bis 2 Mrd. US-Dollar aus Risikokapital, zu 33,5 Mrd. aus dem Kapitalmarkt bzw. Private Equity und zu knapp 115 Mrd. US-Dollar aus Krediten finanziert werden (ne 03/2008, S. 94). New Energy Finance zufolge flossen alleine 2007 3 Mrd. US-Dollar Risikokapital in junge Solarunternehmen – „so viel wie in keiner anderen Sparte“ (May 2008, S. 91), weitere 5,8 Mrd. US-Dollar kamen über Börsengänge oder Kapitalerhöhungen. Das Problem wird dabei weniger in der Kapitalbeschaffung an sich als vielmehr in deren Art und Weise gesehen: Die Anleger der Venture Capital und Private Equity-Gesellschaften erwarten 2-stellige Renditen binnen weniger Jahre. Hinzukommt die mitunter auch für Analysten unverständliche zwischenzeitliche Unterbewertung der Unternehmen (May 2008).

Der Ausbau der Produktionskapazitäten auf allen Wertschöpfungsstufen und der daraus resultierende steigende Output werden künftig stärkeren Preisdruck auf dem Markt hervorrufen. Ebenso ist es möglich, dass die in ihrer Gesamttendenz rückläufigen Einspeisevergütungen den Preisdruck auf photovoltaische Erzeugnisse erhöhen oder rückläufige Zuwachsraten hinzuziehen. Man geht davon aus, dass die stetig zunehmende Produktivität in der Photovoltaikindustrie, die mit der technischen Entwicklung weiter ansteigende Energieeffizienz der Zellen und Module, deren verbesserte Wirkungsgrade und der durch den steigenden Preisdruck induzierte Zwang zur Kostenersparnis dazu führen werden, dass photovoltaisch erzeugter Strom gegenüber konventionell erzeugtem Strom oder anderen regenerativen Energieträgern – auch zu realen Erzeugungskosten – zunehmend wettbewerbsfähiger wird. Lagen im Jahr 2006 die Kosten für eine Kilowattstunde photovoltaisch erzeugten Stroms im globalen Durchschnitt bei 34 Cent, wird dieser Betrag bis zum Jahr 2010 auf 28 Cent, bis 2030 sogar auf rund 14 Cent sinken (Sarasin 2007).

4. Die Entwicklung der Photovoltaikindustrie in Ostdeutschland

In Ostdeutschland boten sich Standorte der Elektrotechnik/Elektronik, Chemie und der Werkstofftechnologien für eine Profilierung in den neuen photovoltaischen Industriezweigen und in Forschung und Entwicklung an. So engagierten sich beispielsweise bereits in den 90er Jahren Unternehmen wie Wacker Chemie und Bayer in diesem Feld und nutzten sowohl das industrielle Arbeitskräfte- als auch das Know-how- und Wissenschaftspotenzial dieser Standorte.

Seit Beginn des neuen Jahrhunderts gewinnt diese Entwicklung an Dynamik. Mit der anhaltenden (Neu-)Strukturierung bestehender Standorte und Unternehmen konnten Übernahmen Anfang des Jahrhunderts wie z. B. durch die SolarWorld AG in Freiberg oder der Börsengang 2005 von Q-Cells zur Standortsicherung und Weiterentwicklung der jungen Photovoltaikindustrie beitragen. Gründungen einzelner ostdeutscher Unternehmen und Joint Ventures wie die deutsch-britische PV Crystalox in Erfurt sowie eine allmähliche Ausdifferenzierung der FuE-Landschaft sind begleitet von einer immer noch ansteigenden Welle der Ansiedlung neuer Produktionsstandorte und Tochterunternehmen der Photovoltaikindustrie. Insbesondere Unternehmen der jüngsten Generation der zunehmend für die serielle Fertigung ausgereiften Dünnschicht-Technologien sowie Ansiedlungen ausländischer Konzerntöchter gewinnen an Bedeutung.

In den letzten Jahren entwickelte sich Ostdeutschland damit zu einem Produktionsschwerpunkt der Photovoltaikindustrie, basierend auf dem Wachstumseffekt des Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG) einerseits, andererseits aber vorrangig bedingt durch die Standortfaktoren Investitionsförderung, eine Reihe weiterer Ansiedlungshilfen, qualifiziertes Arbeitskräftepotenzial und das im innerdeutschen Vergleich niedrige Lohnniveau.

4.1. Unternehmen, Standorte und Spezialisierung im Wertschöpfungs-system Photovoltaik

Die ostdeutsche Wertschöpfungskette der Photovoltaikindustrie reicht von der Siliziumgewinnung und binnen Kürze auch der Gewinnung anderer Halbleitermaterialien über die Fertigung von Wafern, Zellen und Modulen bis hin zur Implementierung von PV-Systemen und Recycling. Rund 35 PV-Hersteller mit etwa 6.500 Beschäftigten produ-

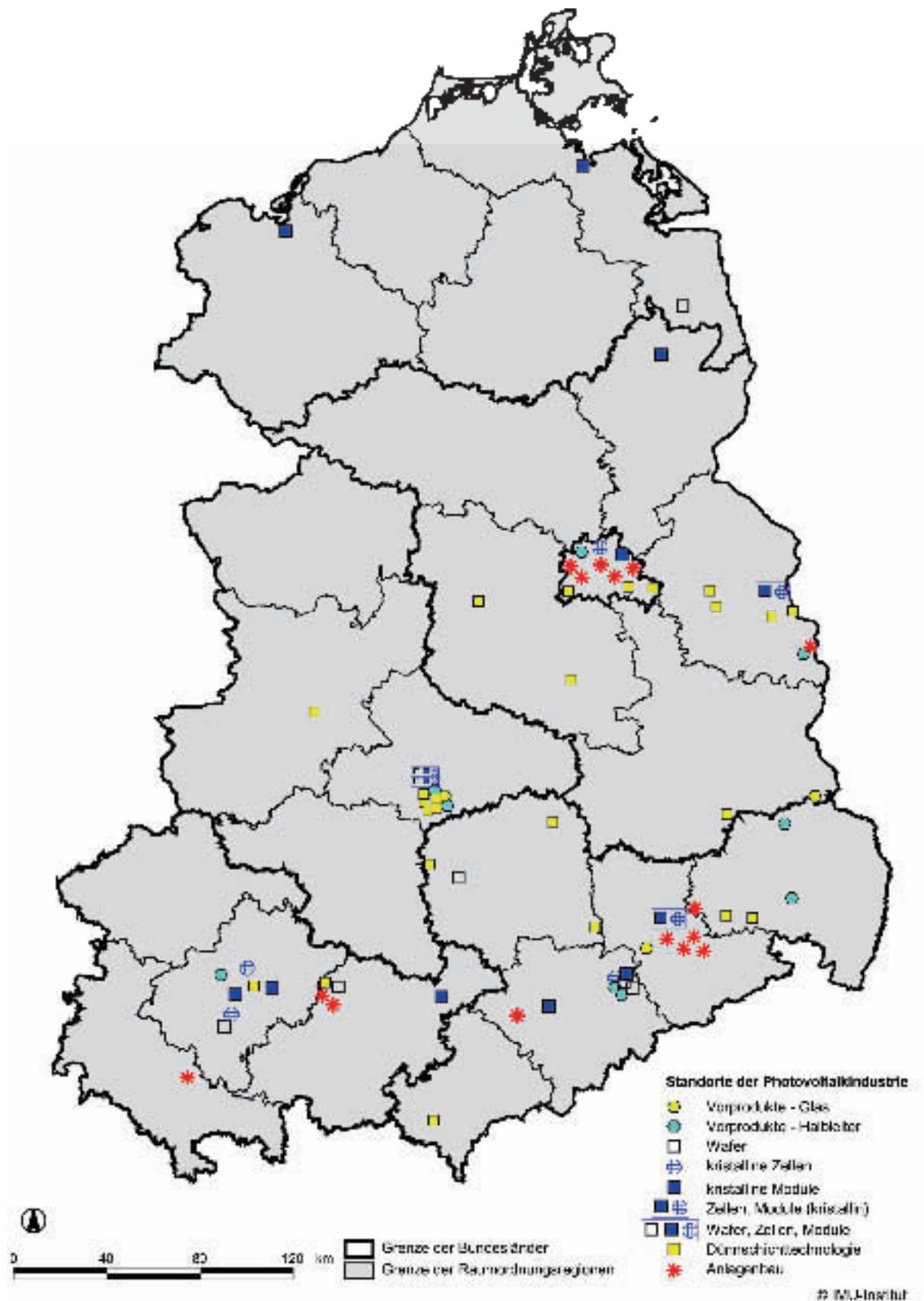
zieren in Ostdeutschland Halbleiter, Wafer, Zellen und Module (Kristallin und Dünnschicht). Fast jeder 100. Industriebeschäftigte in Ostdeutschland arbeitete im Jahr 2007 in einer PV-Fabrik (BSW 02/2008). Das Wertschöpfungssystem als Ganzes betrachtet, also einschließlich der Hersteller von Halbleiter und Glas und der Unternehmen, die auch PV-Systeme oder Komponenten herstellen, sowie der Anlagenbauer (s. Abbildung 5), sind dies schätzungsweise bereits rund 8.500 Beschäftigte. Die ostdeutsche Photovoltaikindustrie liegt im Ranking der Branchen zwar noch weit unten. Verglichen mit der ostdeutschen Elektroindustrie stellt die Photovoltaikindustrie noch unter 10 % der Beschäftigten, aber schon fast ein Drittel des dort bedeutsamen Wachstumsfelds Mikroelektronikindustrie. Seit 2005 hat sich die Zahl der Beschäftigten der Photovoltaikindustrie in Ostdeutschland annähernd verdoppelt und mit der Realisierung des geplanten Wachstumspotenzials von über 2.500 Arbeitsplätzen wird sie in den nächsten Jahren mehr als das 2,5-fache der Beschäftigten von 2005 und damit die Hälfte der Mikroelektronik erreicht haben. Mindestens auf regionaler Ebene wird dieser Industriezweig in Ostdeutschland hohe Bedeutung gewinnen (vgl. auch Holst 2007).

Wie in Karte 1 gezeigt wird, decken die ostdeutschen Produktionsstandorte bereits sämtliche Felder siliziumbasierter Wertschöpfungsketten ab. Weitere Produktionsstandorte sind in Planung. In der Wertschöpfungskette „Dünnschichtsysteme“, in der die Fertigung von Zellen und Modulen integriert ist und die erst vor kurzem zur industriellen Umsetzung gelangte, produzierten unseren Recherchen zufolge 2007 bereits 8 Unternehmen. Diese Unternehmen setzten dabei vorwiegend auf siliziumbasierte, aber teilweise auch auf andere Dünnschichttechnologien (z. B. CIS, CdTe, CiSCuT). Zu letzterer Gruppe zählt beispielsweise das ostdeutsche Unternehmen Odersun AG, aber auch die amerikanische First Solar GmbH in Frankfurt/Oder. Eine Reihe von Unternehmen wie die Q-Cells AG (Thalheim) und die Ersol AG (Erfurt) diversifizieren in die Si-basierte Dünnschichttechnologie. Weitere 17 Produktionsstandorte waren zum Jahreswechsel 2007/2008 in Planung bzw. unmittelbar im Produktionsstart⁹ – annähernd 70 % der jüngeren Unternehmensaktivitäten entfallen auf das neue Technologiefeld Dünnschicht. Der vormals dominante Aufbau von Produktionsstandorten der kristallinen Technologie hingegen bleibt derzeit auf einzelne Fälle beschränkt. Die Aktivitäten im Halbleiterbereich haben sich verdoppelt und es kommen erste Hersteller nicht siliziumbasierter Halbleiter hinzu.

⁹ Zum Vergleich IIC 2006 und BSW 2008 im Anhang, Karten A 1-3.

Karte 1: Standorte der Photovoltaikindustrie in Ostdeutschland

Quelle: Eigene Darstellung IMU-Institut



Nebeneinander herlaufend vollzieht sich ein beständiger Ausbau der Kapazitäten sowohl auf weiterentwickeltem Technologieniveau als auch in neuen photovoltaischen Technologiefeldern. In Teilen gründet sich dieser Prozess auf intensive Forschungsbemühungen der ostdeutschen Industriestandorte – in anderen handelt es sich um die Implementierung so genannter verlängerter Werkbänke, beiderseitig unterstützt durch regionalen ebenso wie externen bzw. internationalen spezialisierten Anlagenbau.

Diese Strukturverschiebungen der ostdeutschen PV-Wertschöpfungs-systeme spiegeln sich auch in der Entwicklung der Beschäftigung wider, wobei sich aber unterschiedliche Schwerpunktsetzungen ergeben:

- Der größte Zuwachs ist in der Herstellung von Dünnschichtmodulen zu erwarten – diese Beschäftigten-gruppe, auf die heute bereits mehr als 1.300 Industriebeschäftigte¹⁰ bei einer durchschnittlichen Betriebs-größe von 60 Beschäftigten entfallen, wird sich den Unternehmensplanungen zufolge mehr als ver-doppeln¹¹. Die Bandbreite der Größe der Unternehmen reicht heute von unter 20 bis zu der Betriebs-größenklasse 250 bis unter 500 Beschäftigten, wobei 30 % der Arbeitnehmer in Unternehmen über 250 Beschäftigten arbeiten. Hier ist zwar von einem Wachstum der eher kleineren Unternehmen auszugehen. Neuplanungen bzw. derzeit in Produktionsstart befindliche Unternehmen hinzugenommen, scheinen die Betriebsgrößen mit den neueren Werken aber nicht wesentlich anzusteigen. Hier wirken sowohl die strate-gische Ausrichtung der Unternehmen im Hinblick auf das Größenwachstum als auch Rationalisierungs-potenziale weiterer Generationen von Produktionsanlagen zusammen.
- Weit mehr Menschen sind in der kristallinen Wertschöpfungskette beschäftigt. Heute entfallen auf die Herstellung von Wafern mehr als 1.500 Beschäftigte, auf kristalline Zellen und auf die Fertigung von kris-tallinen Modulen jeweils mehr als 1.300 Beschäftigte. Hier gibt es Produktionseinheiten mit bis unter 1.000 Beschäftigten, ebenso aber eine Reihe von Unternehmen unter 100 Beschäftigten und ein gut entwickeltes Mittelfeld der Beschäftigtenklasse 100 bis unter 250. Die Herstellung von Wafern wird auch in Ostdeutschland weiter zunehmen, der kurzfristige Zuwachs in der Wertschöpfungsstufe Zellfertigung aber wird mit rd. 600 das 8-fache und damit mehr als 20 % des Gesamt-Zuwachses in der ostdeutschen Photovoltaikindustrie betragen; die Herstellung kristalliner Module, auf die heute 27 % der Beschäftigten entfallen, wird noch 11 % des Zuwachses von über 2.500 Beschäftigten in den nächsten Jahren ausmachen.

Zusammengenommen stellt die kristalline Wertschöpfungskette heute 67 % der Industriebeschäftigten in der ostdeutschen Photovoltaikindustrie und auch in der nächsten Zeit noch den größten Beschäftigten-anteil.

Im Gegensatz zur Dünnschichtfertigung scheint die Entwicklung hier eher durch eine Zunahme der Betriebsgrößen geprägt und verweist auf eine Verbreiterung im Einsatz gegenwärtig bereits hochgradig durch industrielle Fließfertigung gekennzeichnete Produktionssysteme. In der Produktion von Wafern hingegen sinkt die Betriebsgröße. Hier scheinen noch erhebliche Rationalisierungsreserven zu liegen.

Tabelle 3 verweist auf die Größenstruktur der Unternehmen.

¹⁰ Wobei Angaben nicht für alle erfassten Unternehmen vorliegen.

¹¹ Auch hier liegen Angaben nicht für alle erfassten Unternehmen vor.

Tabelle 3: Größenklassen der Photovoltaikindustrie in Ostdeutschland

Quelle: Eigene Darstellung IMU-Institut

Beschäftigtenklassen (Solar)	Untern.	Untern. %	% kum.	Beschäftigte	Besch. %	% kum
1 (unter 20)	8	13,6	13,6	97	1,2	1,2
2 (20 bis 49)	15	25,4	39,0	466	5,9	7,1
3 (50 bis 99)	14	23,7	62,7	962	12,2	19,4
4 (100 bis 249)	13	22,0	84,7	1.989	25,2	44,6
5 (250 bis 499)	5	8,5	93,2	1.738	22,1	66,7
6 (500 bis 999)	4	6,8	100,0	2.627	33,3	100,0
7 (ab 1000)	0					
Summe	59	100,0		7.879	100,0	
keine Angabe / im Bau	15					

- Schließlich gewinnen die Beschäftigtenzahlen in der Herstellung von Silizium und anderweitigen Halbleitermaterialien, Solarglas und zunehmend auch im Recycling an Bedeutung.

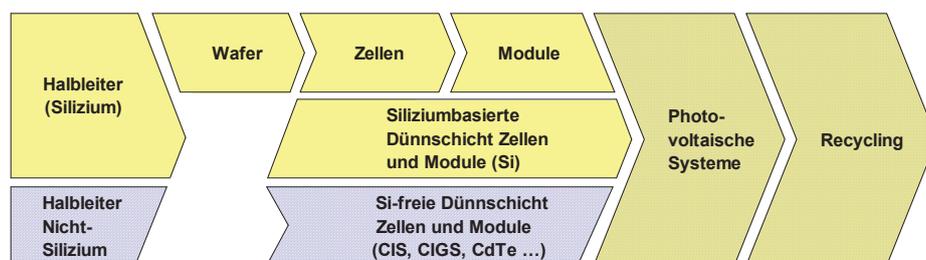
Wenngleich die kristalline Wertschöpfungskette derzeit den größten Beschäftigtenanteil stellt, lässt sich schlussfolgern, dass der Zuwachs der Dünnschichtzellenproduktion von erheblicher Bedeutung für die weitere Entwicklung der ostdeutschen Photovoltaikindustrie ist. Betrachtet man z. B. die Dünnschichtzellenfertigung und die Wertschöpfungsstufe der Fertigung von kristallinen Zellen und Modulen analog, d. h. nur Zellen und Module, so zeigt sich dieser Trend noch deutlicher: Die Herstellung von PV-Anlagen aus der Dünnschichttechnologie wird die der kristallinen Systeme in Kürze überholen. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die Entwicklung neuer Halbleiter und darauf basierender Technologien der Fertigung weitaus leistungsfähigerer Zellen aus der Dünnschichttechnologie als sie derzeit herstellbar sind.

Die Gesamtproduktionskapazität der PV-Wertschöpfungs-systeme in ihren Einzelstufen in Ostdeutschland beläuft sich 2007/2008 auf mehr als 1.800 Megawatt (MWp)¹², die mit dem Ausbau neuer Produktionsstandorte in der nächsten Zeit um weitere 2.290 MWp wachsen sollen.

Abbildung 12 gibt einen Überblick über die Wertschöpfungskette der Photovoltaikindustrie und stellt die einzelnen Wertschöpfungsstufen in den verschiedenen Technologien (kristallin und Dünnschicht) gegenüber.

Abbildung 12: Wertschöpfungsstufen Photovoltaikindustrie – kristalline und Dünnschichtverfahren

Quelle: Eigene Darstellung IMU-Institut



¹² Wobei Angaben auch hier nicht für alle erfassten Unternehmen vorliegen.

Die Abbildungen 13 und 14 verdeutlichen beispielhaft die strukturellen Differenzierungen der ostdeutschen Photovoltaikindustrie nach Unternehmen in den Wertschöpfungsketten „Kristalline PV-Systeme“ und „Dünnschichtsysteme“.

Abbildung 13: Unternehmen in der kristallinen Wertschöpfungskette (Auswahl)

Quelle: Eigene Darstellung IMU-Institut

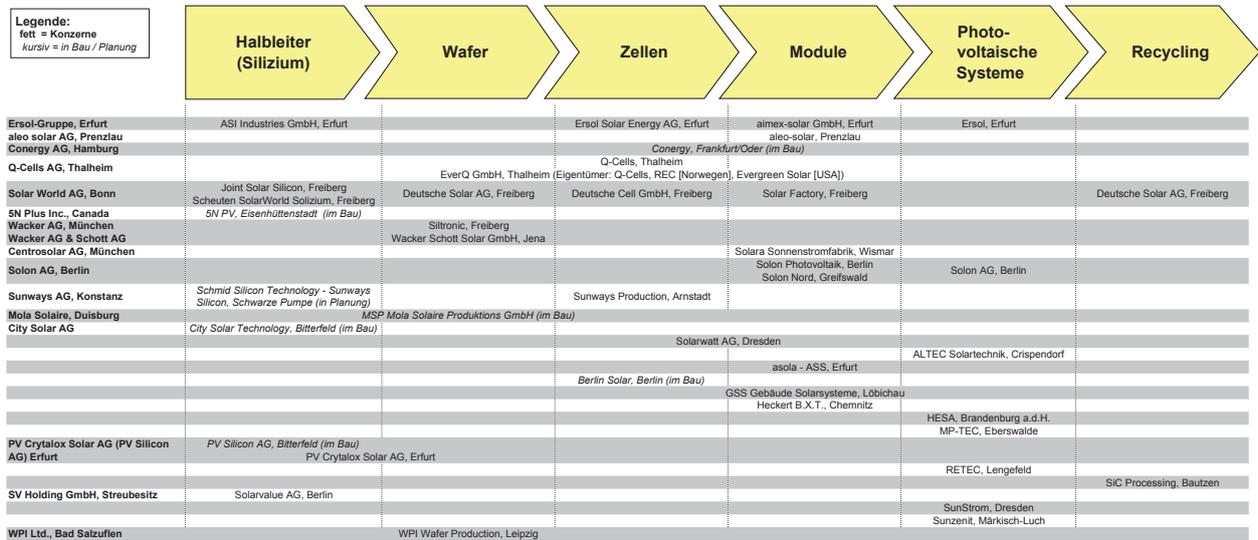


Abbildung 14: Unternehmen in der Dünnschicht-Wertschöpfungskette (Auswahl)

Quelle: Eigene Darstellung IMU-Institut



Nur wenigen Unternehmen der Wertschöpfungskette „Kristalline PV-Systeme“ ist die postulierte Wettbewerbsstrategie der Integration der Wertschöpfungskette gelungen, mit der die langfristige Sicherung insbesondere der Rohstoffversorgung verfolgt wird. Allerdings erfolgt dies in unterschiedlichen gesellschaftsrechtlichen Strukturen. Zumeist sind diese auch international aufgestellt (vgl. Abbildung 13). Dabei halten Konzerne wie das westdeutsche, international agierende Unternehmen SolarWorld AG, dessen Hauptproduktionsstandort in Deutschland neben Gelsenkirchen Freiberg (Sachsen) ist, und die ostdeutsche Ersol AG (Erfurt) einen Großteil ihrer Produktionsstufen

an den ostdeutschen Standorten. Die gesellschaftsrechtliche Struktur der Unternehmen ist in der Regel hochgradig aufgegliedert in einzelne Tochtergesellschaften. Vornehmlich in der Wertschöpfungsstufe der Halbleitergewinnung, aber auch in der Diversifizierung in die Dünnschichttechnologie findet dies Ergänzung in Joint Ventures, d. h. gemeinsamen Töchtern mit anderen in- und ausländischen Konzernen. Andere Unternehmen wie die Q-Cells AG und ihr Joint Venture, die EverQ GmbH mit REC (Norwegen) und Evergreen Solar (USA) umfassen mehrere Wertschöpfungsstufen der kristallinen Kette. Die Dünnschichtaktivitäten von Q-Cells wiederum sind in eine Tochtergesellschaft ausgegliedert. Die deutlich breiter gefächerte Herstellung von Zellen und Modulen hingegen zeigt über die größeren Konzerne hinaus eine differenziertere, in Teilen sogar von mittleren Unternehmen geprägte Struktur. Nur wenige der größeren Unternehmen sind auch im Bereich photovoltaischer Systeme in Ostdeutschland aktiv, teilweise fertigen die größeren Solarhersteller diese aber andernorts bzw. in rechtlich selbständigen Tochtergesellschaften. Die Modulhersteller kooperieren hier zumeist mit Engineering- und Systemhäusern dieser im Übrigen durch zahlreiche Handwerksbetriebe geprägten Wertschöpfungsstufe, die daher aus unserer Betrachtung ausgespart bleibt. Sie verfügen zudem über eigene Vertriebssysteme bzw. beliefern direkt den Großhandel. Bereits zwei Unternehmen haben Recycling-Systeme in Betrieb bzw. in industriellen Vorstadien.

Mit 40 % des Beschäftigtenanteils in Deutschland ist die ostdeutsche Photovoltaikindustrie eine Branche mit einer außergewöhnlichen Headquarterdichte. Über die erwähnten Joint Ventures hinaus ist die Unternehmenslandschaft durch 28 Töchter inländischer und weitere 13 Töchter ausländischer Unternehmen geprägt. Der Anteil rechtlich selbständiger KMU liegt bei rund 30 % in der kristallinen Technologie bzw. 25 % in der Dünnschichttechnologie.

Auch der Maschinen- und Anlagenbau spiegelt wesentliche Elemente der PV-Wertschöpfungs-systeme wider. Wenngleich sich unter den solartechnisch spezialisierten Maschinen- und Anlagenbauunternehmen Firmenzentralen wie z. B. von Ardenne (Dresden), Roth&Rau (Hohenstein-Ernstthal) und andere in Ostdeutschland finden, die in das Technologiespektrum des neuen Industriezweigs diversifizierten, reicht die Kooperation der regionalen Hersteller hier zumeist weit über den Standort hinaus bzw. trägt auch internationalen Charakter. Der Anteil rechtlich eigenständiger Unternehmen liegt hier bei über 50 %. Die mit dem Aufbau von Produktionskapazitäten der ostdeutschen Photovoltaikindustrie verbundene Ansiedlung von Niederlassungen westdeutscher und ausländischer Gesellschaften des Anlagenbaus stellt jeweils ein Viertel der Unternehmen.

4.2. Wirtschafts- und strukturpolitische Aspekte

Voraussetzung der dynamischen Entwicklung des neuen Industriezweigs Photovoltaik ist das Zusammenspiel von Instrumenten der Wirtschaftsförderung, der Forschungs- und Entwicklungslandschaft und anderen Faktoren, die schließlich zur Herausbildung von Clusterstrukturen beitragen.

4.2.1. Förderinstrumentarien

Mindestens 1,5 Mrd. Euro wurden unseren Recherchen zufolge in den Aufbau des neuen Industriezweigs in Ostdeutschland investiert¹³. Bei rund 230.000 Euro je Arbeitsplatz und Investitionshilfen zwischen 30 und 45 % werden somit zwischen 60.000 und 90.000 Euro öffentliche Fördermittel je Arbeitsplatz in den neuen Industriezweig investiert, zwischen 450 und 600 Mio. in der Summe. Dabei sind nicht rückzahlbare Mittel für Forschung und Entwicklung von EU, Bund und Ländern sowie Mittel der Bundesanstalt für Arbeit für Qualifizierung, Lohnkostenzuschüsse u. ä. m. noch nicht mit eingerechnet.

Die Förderung der Photovoltaikindustrie folgt dabei keinen anderen Regeln als in der Wirtschaftsförderung üblich. Für das Land Brandenburg werden im Folgenden exemplarisch die optionalen Fördermöglichkeiten aufgezeigt (vgl. auch ILB 2006 im Anhang).

¹³ Ohne FuE sowie Mittel der Bundesanstalt für Arbeit.

Tabelle 4: Förderhilfen im Land Brandenburg

Quelle: Eigene Darstellung IMU-Institut nach Angaben des Business Center Berlin-Brandenburg, der Landesagentur Struktur und Arbeit Brandenburg (LASA), der Zukunftsagentur Brandenburg (ZAB), der Bundesagentur für Arbeit und der Investitionsbank des Landes Brandenburg (ILB)

Investitionsförderung im Rahmen der GA Förderung (EU-Ziel-1-Gebiet)	Maßnahmen zur „Förderung der gewerblichen Wirtschaft“ (GA-G)
FuE-Förderung	Investitionszulage für Ostdeutschland (Bundesfinanzministerium)
	Forschung und Entwicklung - Große Richtlinie (Ministerium für Wirtschaft – MW)
	Forschung und Entwicklung in KMU (MW)
Kredit- und Bürgschaftsprogramme	Brandenburg-Kredit für den Mittelstand (Unternehmerkredit der KfW)
	ERP-Kredite für KMU in GA-Fördergebieten (KfW)
	Programm „Gründungs- und Wachstumsfinanzierung“ (GuW)
	Technologietransfer
	Landesbürgschaften (Finanzministerium Brandenburg)
Markterschließung	
Infrastrukturförderung (erfolgt über Kommune, nicht direkt für Unternehmen)	
Arbeitsmarktpolitische Hilfen (Bund, Land)	Eingliederungszuschüsse (Agentur für Arbeit)
	Einstellungszuschuss bei Neugründungen (Agentur für Arbeit)
	Ausbildung (Agentur für Arbeit)
	Weiterbildung Geringqualifizierter und beschäftigter Älterer in Unternehmen (Agentur für Arbeit)
	Ausbildungs- und Qualifizierungsmaßnahmen
	Innovationsassistent (MW)
	Personalanwerbung und -vorauswahl
	Unterstützung bei der Personalplanung (Agentur für Arbeit/ LASA/ ZAB)
	Rekrutierung/ gezielte Personalakquisition (Agentur für Arbeit)
	Training vor Einstellung (Agentur für Arbeit)
	Langfristige Personalentwicklung, Qualifizierung nach Einstellung (LASA)

Drei Felder lassen sich hier als maßgeblich genutzte Instrumente identifizieren:

Zu den bedeutendsten Förderinstrumentarien zählen die Instrumente der „Gemeinschaftsaufgabe Förderung der gewerblichen Wirtschaft“ GA-G mit einer Basisförderung von 15 % Investitionszuschuss und einer Potenzialförderung von weiteren 15 % für bestehende Unternehmen in so genannten Branchenkompetenzfeldern des Landes und die Neuansiedlung an deren Branchenschwerpunkorten – die Photovoltaikindustrie betreffend Energietechnologie bzw. Chemie. Letztere Förderung erhalten KMU bei Investitionen über 2 Mio. Euro grundsätzlich sowie 10 % KMU-Zuschlag für Unternehmen bis 250 Beschäftigten bzw. 20 % Zuschlag für Unternehmen unter 50 Beschäftigten. In der Summe addiert sich dies auf mindestens 30 % und bis zu 40 % oder 50 % Investitionszuschuss. Hinzu kommen Finanzierungshilfen des Bundes für die Anlagen.

Von erheblicher Bedeutung für die Ansiedlung sind die Maßnahmen der GA-Infrastrukturförderung durch die Kommunen im Hinblick auf die Bereitstellung erschlossener Industrieflächen einschließlich aller relevanten Medien, wie sie u. a. im Technologiepark Frankfurt/Oder verfügbar waren und sind.

Als drittes, von der neuen Photovoltaikindustrie intensiv genutztes Feld kommen die arbeitsmarktpolitischen Instrumente hinzu. So lassen sich im Aufbau von Produktionsstandorten und weiteren personellen Kapazitäten Instrumente der Personalanwerbung und -vorauswahl mit der Unterstützung der Agentur für Arbeit, der Landesagentur Struktur- und Arbeit (LASA) und der Zukunftsagentur Brandenburg (ZAB), Training vor Einstellung ebenso wie Instrumente zur langfristigen Personalentwicklung nutzen; es werden Einstellungszuschüsse, Aus- und Weiterbildungshilfen und andere Maßnahmen gewährt.

Unter den ostdeutschen arbeitsmarktpolitischen Gegebenheiten ermöglichte die spezifische Konstellation der Förderhilfen im Zusammenspiel von GA und zahlreichen anderweitigen Instrumenten der Wirtschaftsförderung, die Verfügbarmachung und rasche Entwicklung von Standorten und optimale Bedingungen im Aufbau eines industriell erfahrenen Mitarbeiterstamms, mitunter sogar im Kontext der Schrumpfung anderweitiger Industriestandorte. Gleichzeitig ist damit auch die Basis für zukünftige Personalentwicklungsmaßnahmen gelegt.

4.2.2. Forschung und Entwicklung

Seit längerem befassen sich hoch spezialisierte Forschungseinrichtungen und Institute mit den verschiedenen Aspekten der Gewinnung von Strom aus Licht. Das Spektrum der industrienahen FuE-Vorhaben überspannt das gesamte Wertschöpfungs-system und spiegelt die Kooperation nationaler und internationaler Verbände von Unternehmen und Instituten wider, in denen sich eine Reihe der ostdeutschen Unternehmen und FuE-Einrichtungen finden. Zumeist haben sie ihre Wurzel im Spektrum der Halbleitertechnologie, wie z. B. die Bergakademie/TU Freiberg in der Werkstoff- und unter anderem der Wafertechnologie im Bereich experimenteller Physik, das aus dem ihp hervorgegangene IST in Frankfurt/Oder (heute Odersun AG) mit seiner CISCuT-Technologie, einer auf Kupfer basierten Halbleitertechnologie, mit der Solarzellen aus einem Endlosmetallband hergestellt und zu Modulen weiterverarbeitet werden, oder das Hahn-Meitner-Institut in Berlin, aus dem u. a. der Dünnschichtzellen-Hersteller Sulfurcell hervorgegangen ist.

Der vom Wissenschaftsrat (1999) konstatierten Zersplitterung der FuE-Landschaft wird u. a. mit der „Clusterinitiative Solarvalley Mitteldeutschland“ begegnet, in der sich unter der Federführung des Unternehmens PV Crystalox (Erfurt) und des neu gegründeten FhG-CSP-Fraunhofer-Centrum für Silizium Photovoltaik (Halle), einem Zusammenschluss zweier Fraunhofergesellschaften, ostdeutsche FuE-Initiativen gebündelt haben und die Ausrichtung von Forschung und Lehre auf den neuen Industriezweig koordiniert werden soll.

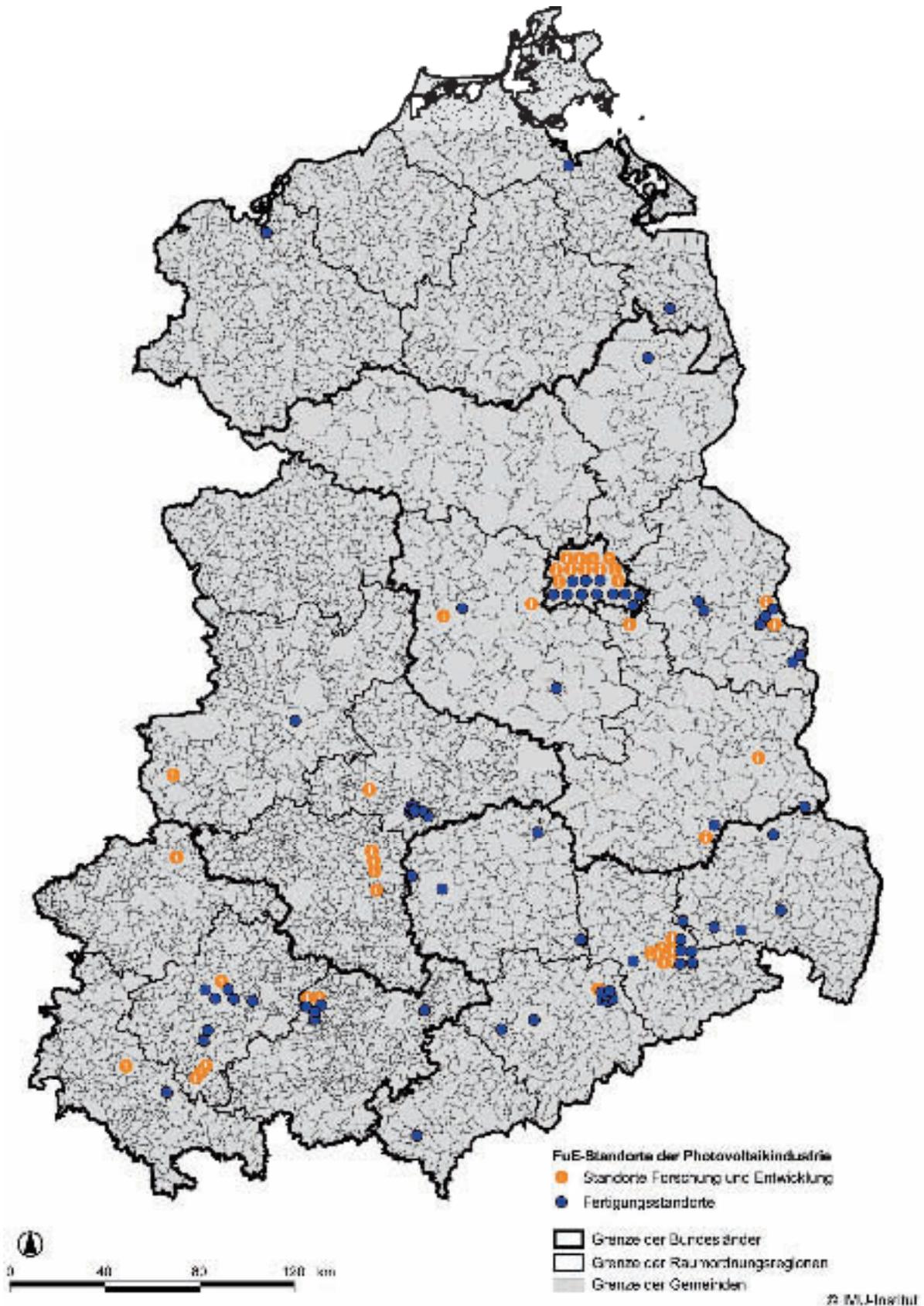
Forschungs- und Entwicklungsarbeit ist für die deutsche Photovoltaikindustrie ein entscheidender Faktor, um ihre Position als Technologieführer im internationalen Wettbewerb zu erhalten und für die Zukunft zu sichern. Auch Forschung und Entwicklung werden durch staatliche Förderprogramme unter Eigenbeteiligung der Unternehmen finanziert. Allein das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU unterstützte im Jahr 2007 140 Forschungs- und Entwicklungsprojekte der Photovoltaikindustrie mit insgesamt 32,1 Mio. Euro. Der Schwerpunkt der Projekte lag dabei auf den wafer-basierten Siliziumtechnologien (57 % des Budgets, 18,3 Mio. Euro). Projekte der Dünnschichttechnologie wurden insgesamt mit rund 10,3 Mio. Euro (32 %) gefördert – davon entfielen 1,6 Mio. Euro (5 % des Gesamt-Budgets) auf kristalline Dünnschichttechnologien, 3,5 Mio. (11 %) auf amorphe Dünnschichttechnologien und 5,2 Mio. (16 %) auf CIS-Technologien. Darüber hinaus wurden vom BMU Projekte zur Entwicklung der Systemtechnik (2,2 Mio. Euro) und zur Entwicklung alternativer PV-Technologien, z. B. organische Photovoltaik (1,3 Mio. Euro), gefördert (IEA 2008, S.64).

Neben dem BMU werden photovoltaik-affine Projekte auf Bundesebene auch durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF gefördert. In 2007 stellte das BMBF Mittel in Höhe von 12,4 Mio. Euro für fünf Netzwerkprojekte mit insgesamt 29 Teilnehmern bereit (IEA 2008, S.64).

In Ostdeutschland finden sich insgesamt 40 universitäre und außeruniversitäre FuE-Einrichtungen mit Bezug zur Photovoltaikindustrie. Deren Spektrum reicht dabei von Fachhochschulen über Universitäten bis zu Einrichtungen der Fraunhofer- und Max-Planck-Gesellschaft und privaten Forschungsinstituten. Karte 2 zeigt die räumliche Verteilung dieser FuE-Einrichtungen vor dem Hintergrund der Industriestandorte.

Karte 2: FuE-Standorte der Photovoltaikindustrie in Ostdeutschland

Quelle: Eigene Darstellung IMU-Institut



Allgemein betrachtet haben sich Forschung und Lehre jedoch erst ansatzweise auf den neuen Industriezweig orientiert – dies gilt nicht nur für Ostdeutschland (vgl. hierzu u. a. Arzt/Bensmann 2008 und ne 07/12, S. 36). Bei ständig steigendem Bedarf an FuE-Kräften kommt der neue Industriezweig nicht nur in eine Phase allgemeiner Ingenieursdefizite, vielmehr werden mehr und mehr akademische Fachkräfte gebraucht, um die vielfältigen Herausforderungen dauerhafter Innovationsfähigkeit auch meistern zu können – so auch eine Studie des Wissenschaftsladens (ne 07/12, S. 36). Häufig bleibt das Angebot der Hochschulen für die Weiterentwicklung von Maschinenbauern, Elektrotechnikern, Physikern, Chemikern sowie Bauingenieuren in PV-relevanten Spezialisierungsoptionen verborgen. Doch einige Hochschulen haben dies bereits frühzeitig erkannt und reagieren inzwischen mit einschlägigen Masterstudiengängen etc. Die Bergakademie TU Freiberg ebenso wie die Fachhochschule für Technik und Wirtschaft (FHTW) Berlin zählen hier zu den Pionieren in Ostdeutschland.

Die Unternehmen reagieren hierauf mit der Bereitstellung von betrieblichen Praktika und Aufnahme von Werkstudenten, zunehmend aber auch mit Stiftungsprofessuren. Hiervon profitiert u. a. die Martin-Luther-Universität in Halle Wittenberg (MLU), für die Q-Cells (Thalheim) mit 750.000 Euro über 5 Jahre einen Lehrstuhl Photovoltaik finanziert (ebd.). Die Firma Q-Cells lässt Studenten aus den Bereichen Chemie und Physik mit Vertiefung Photovoltaik in der Hochschule Anhalt in Köthen ab dem Wintersemester 2008/2009 in einem ersten dualen Solar-Studien-gang ausbilden – ein Ausbildungsvertrag bei Q-Cells ist Voraussetzung für die Zulassung (Arzt/Bensmann 2008, S. 36 und 46).

4.2.3. Clusterinitiativen

Unter einem Cluster¹⁴ versteht man zunächst die räumliche Konzentration ökonomischer Aktivitäten eines Wirtschaftssektors oder einer Wertschöpfungskette. Wie unsere Recherchen zeigen, sind in Ostdeutschland eindeutige Agglomerationen von Standorten der Hersteller (vgl. Karte 1 in Kapitel 5.1.) ebenso wie bereits vorhandene, aber auch sich neu spezialisierende Einrichtungen aus Wissenschaft, Forschung und Lehre (Karte 2 in Kapitel 5.2.2.) zu identifizieren. Die räumlichen Schwerpunkte finden sich in Berlin/Brandenburg – Sitz des Bundesverbands Solarwirtschaft (BSW) –, in Freiberg/Dresden bzw. auf der sächsischen Entwicklungsachse, im Bereich des Technologiestandortes Erfurt/Arnstadt/Jena/Ilmenau und in Halle/Thalheim/Bitterfeld/Wolfen.

Neben den Standortvorteilen regionaler Konzentrationen besitzen Cluster darüber hinaus spezifische Verflechtungsbeziehungen zwischen den Akteuren. Dadurch können sie ein regionales Gegengewicht zur Globalisierung bilden und die Innovationen fördern. Auch unter diesem Aspekt ist ein hohes Verflechtungsniveau des ostdeutschen Photovoltaik-Standorts, auch über die räumlichen Schwerpunkte hinweg, zu konstatieren, wenngleich nicht alle Akteure in gleicher Weise eingebunden sind.

Weitere wesentliche Ursachen für die Entstehung von Clustern sind ein spezialisiertes Arbeitskräftepotenzial, die Inanspruchnahme von Vorleistungen spezialisierter Zulieferer in einer Wertschöpfungskette und das Vorhandensein von so genannten technologischen Spill-over-, d. h. Übertragungs-Effekten. Von Bedeutung sind wechselseitige Lernprozesse in Netzwerken, basierend auf Kommunikationsprozessen zwischen Unternehmen und anderen Institutionen – auch diese Faktoren sind gegeben. Mit dem Industriezweig bildet sich eine zunehmende Spezialisierung von Fachkräften heraus, der Anlagenbau konnte erfolgreich in den neuen Industriezweig diversifizieren, es konnten Spill-over-Effekte aus Industrie und Forschung bzgl. Produkt- und Prozesskompetenzen aus der Werkstofftechnologie ebenso wie aus der Mikroelektronikindustrie und anderen genutzt werden.

Über die Entwicklungsgesellschaften der Länder und die verschiedenen Wirtschaftsfördereinrichtungen werden eine Reihe von Netzwerkiniciativen unterstützt, die eine Brücke zwischen Industrie und Forschung schlagen sollen

¹⁴ Zum Clusterbegriff vgl. u. a. Moßig (2002).

und gemeinsam mit den Partnern Konzepte für Standortentwicklung, industriennahe Forschung und Nachwuchs erarbeiten, Synergiepotenziale zu photovoltaik-affinen Wirtschaftsstandorten und Forschungsinstitutionen entwickeln helfen, Netzwerke für Systemprodukte von Zulieferern aufbauen u. a. m.

Zu den wichtigsten Initiativen zählt die in Tabelle 5 dargestellte Clusterinitiative Solarvalley Mitteldeutschland (vgl. auch Kapitel 5.2.2.)

Tabelle 5: Clusterinitiative Solarvalley Mitteldeutschland

Quelle: CSP/wurpts/PV Crystalox Pressemitteilung 14/12/2007; eigene Darstellung IMU-Institut

Federführung	Fraunhofer-Centrum für Silicium Photovoltaik Halle	FhG Institut für Werkstoffmechanik IWM und FhG-Institut für Solare Energiesysteme ISE
	PV Crystalox Solar AG Erfurt/Bitterfeld	Halbleiter-Wafer kristallin
	Wirtschaftsinitiative Mitteldeutschland	Ansiedlung, Förderinstrumente
mit	Ersol Gruppe Erfurt	Si Halbleiter, Dünnschicht-Zellen und Module
	Q-Cells Thalheim	Wafer; Zellen und Module alle Technologien
	PV-Silicon Erfurt	Wafer
	Roth&Rau Hohenstein-Ernstthal	Anlagenbau
	Solarworld Freiberg-Bonn	gesamte kristalline Wertschöpfungskette
	Sunways Arnstadt-Konstanz	Halbleiter, Zellen
	Wacker Schott Solar Jena-München/Mainz	Halbleiter, Zellen
	von Ardenne Dresden	Si Anlagenbau
	Hochschulen in Halle, Erfurt, Dresden und Freiberg	

Unter Konsortialführung von PV Crystalox und dem neu gebildeten Fraunhofer Centrum werden in dieser Initiative FuE-Aktivitäten von Industrie und Hochschulen im Bereich der Siliziumtechnologien gebündelt und die Erfordernisse in Forschung und Lehre koordiniert. Die Wirtschaftsinitiative Mitteldeutschland (Leipzig) hat bereits eine Reihe anderer Brancheninitiativen im Netzwerkmanagement begleitet. Die Clusterinitiative bewirbt sich derzeit im Spitzenclusterwettbewerb des BMBF, in dem Kooperationen aus Wissenschaft und Wirtschaft gefördert und Netzwerken Wettbewerbsvorteile eröffnet werden sollen, indem an den Stärken der regionalen Strukturen angesetzt und so die Entwicklungspotenziale voll ausgeschöpft werden.

Auch mit GA-Netzwerken der Länder wie der AG „Solarenergie“ im GA-Kooperationsnetzwerk Energiewirtschaft/Energietechnologie des Landes Brandenburg (EWET), in dem u. a. ihp (Frankfurt/Oder), PVflexSolar, aleo solar (Prenzlau) Conergy und First Solar (Frankfurt/Oder) und Q-Cells (Thalheim) Netzwerkpartner sind, stehen gemeinsame Synergien im Vordergrund.

Synergien liegen in folgenden Schwerpunkten:

- in der konsequenten Systemintegration und Kooperation in der Wertschöpfungskette
 - Halbleiter/Materialien
 - Solarglas
 - Rahmen, Tracking (Stahlbau, spezialisierte, hoch anspruchsvolle Werkstoffe)
 - Elektrik (Stecker, Schaltungen, Wechselrichter)
 - Logistik
 - PV-Systeme und Anlagenbau
- im Maschinen- und Anlagenbau
 - Engineering der Herstellungsprozesse
 - Maschinen- und Anlagenbau
- in Umstrukturierungs- und Neuprofilierungspotenzialen von Altindustrien.

EWET kooperiert zudem mit den brandenburgischen GA-Netzwerken profil.metall (Federführung), KuBra-Kunststoffnetzwerk Brandenburg und LogistikNetz Berlin-Brandenburg. In Berlin liegt der Schwerpunkt der Entwicklung in Adlershof, u. a. Standort der Leibnizforschungseinrichtung Hahn-Meitner-Institut.

Die Clusterinitiativen in Berlin und Brandenburg haben ihren Schwerpunkt vornehmlich in den nicht Silizium basierten Dünnschichttechnologien.

4.3. Arbeitspolitische Aspekte

Die Arbeitspolitik in den Unternehmen der Photovoltaikindustrie erscheint auf den ersten Blick ausgesprochen heterogen. Feststellbar sind unterschiedliche Entlohnungsmodelle und verschiedene Arbeitszeit- und Schichtplanregelungen. Dies ist durch den tariflosen Zustand des Industriezweigs begründet. Vereinzelt gibt es Betriebsräte in den Unternehmen. In der Vielfalt der Erscheinungsformen der Arbeit lassen sich jedoch einige arbeitspolitische Grundmuster identifizieren:

4.3.1. Interessenvertretung

Die Unternehmen der Photovoltaikindustrie gehören in der Regel keinem Arbeitgeberverband an. Auch der Bundesverband Solarwirtschaft (BSW) ist seinem Selbstverständnis nach kein möglicher Tarifpartner. Es existieren bis auf einzelne Ausnahmen weder Mitbestimmungsgremien auf betrieblicher Ebene noch sind diese institutionell in den Konzernstrukturen verankert. Während über Beteiligungen und personelle Verflechtungen auf der Arbeitgeberseite des zumeist in Aktiengesellschaften konstituierten neuen Industriezweigs eine in Teilen hochgradige Vernetzung vorherrschend scheint, findet dies bis auf einzelne Ausnahmen gegenwärtig noch keine Entsprechung auf Arbeitnehmerseite.

Nur in wenigen Fällen konnten in der ostdeutschen Photovoltaikindustrie bisher Betriebsratsgremien aufgebaut werden. Das Klima ist von Skepsis gegenüber Betriebsräten bis zur offenen Ablehnung gekennzeichnet. Bislang sind drei Entwicklungslinien zu erkennen: Erstens konnten dort, wo bereits betriebliche Interessenvertretungen der Vorgängerunternehmen bestanden, diese weitergeführt und ggf. darauf basierende haustarifvertragliche Regelungen vereinbart werden. Zweitens gibt es Unternehmen, die einen Betriebsrat nicht für erforderlich halten, seine Installierung jedoch tolerieren und nicht systematisch zu unterbinden versuchen. Drittens werden teilweise die Bemühungen der Beschäftigten und der Gewerkschaften zum Aufbau von betrieblichen Mitbestimmungsstrukturen systematisch unterlaufen und die Wahl von Betriebsräten durch Druck und Sozialtechniken verhindert, die man als „subtil“ charakterisieren kann.

So entsteht eine industrie- und arbeitspolitische Situation, in der zahlreiche Unternehmen der Zukunftsindustrie Photovoltaik mit einem erheblichen Anteil an öffentlicher Förderung und Finanzierung neu aufgebaut und eingefahren werden, ohne dass betriebliche oder gewerkschaftliche Interessenvertretungen gewählt und mitbestimmungsfähig werden können. Zusätzlich erschwert die Praxis der Personalbeschaffung bei neu gegründeten Unternehmen häufig die Wahl eines Betriebsrates in den ersten zwei Jahren der Arbeit einer Solarfabrik (z. B. durch Probezeiten und befristete Arbeitsverhältnisse). In einigen Unternehmen gelingt es der Geschäftsleitung während dieser Zeit, nicht gewählte Beauftragte zur Interessenvertretung einzusetzen, die die Aufgabe haben, die Unzufriedenheit von Beschäftigten zu individualisieren und zu kanalisieren. Dadurch entsteht ebenfalls ein struktureller Nachteil für den Aufbau von Interessenvertretungen im Betrieb, der die Durchsetzung prekärer Arbeitsbedingungen erleichtert und in einigen Unternehmen u. U. nicht mehr überwunden werden kann.

Branchentypisch scheint in der Photovoltaikindustrie eine Unternehmensstrategie zu sein, die das Wachstum mit Betrieben unterhalb einer Größe von 500 Beschäftigten organisiert. Der Aufbau weiterer Fertigungskapazitäten erfolgt zwar häufig (noch) an ostdeutschen Produktionsstandorten, jedoch zumeist in Form eines gesellschafts-

rechtlich eigenständigen Unternehmens. Als Hintergrund dieses Expansionsmusters kann neben unternehmensstrategischen und finanzwirtschaftlichen Erwägungen auch die Umgehung der Unternehmensmitbestimmung nach dem Drittelbeteiligungsgesetz von 2004 angesehen werden, die ab einer Beschäftigungsgröße von 500 Beschäftigten greift und die Wahl eines Drittels der Aufsichtsräte durch die Beschäftigten des Unternehmens vorsieht.

4.3.2. Arbeitsverhältnisse

Die Fachkräftegewinnung auf der Ebene der Facharbeiter („Operator“) stellt für die Photovoltaikindustrie derzeit noch kein aktuelles Problem dar. Dies hängt damit zusammen, dass aufgrund der strukturell hohen Arbeitslosigkeit an den Standorten bzw. im Umland der Industriestandorte der Photovoltaikindustrie noch ein Arbeitskräftepotenzial vorhanden und aktivierbar ist, das die Nachfrage der Unternehmen bedienen kann. Nachgefragt werden Arbeitskräfte mit Berufsausbildung, auch wenn diese in fachfremden Gewerken bzw. Disziplinen erworben wurde. Gefragt sind die so genannten „Soft skills“, die sozialen und organisatorischen Schlüsselqualifikationen einer Berufsausbildung, während die fachliche Kompetenz durch unternehmensspezifische Maßnahmen angelehrt wird. Darüber hinaus werden Anlagenfahrer und für die indirekten Bereiche Elektriker und Mechatroniker nachgefragt. Anders stellt sich die Situation bei der Deckung des Bedarfs an Ingenieuren dar. Hier schlägt die jetzt bereits nicht zu deckende Nachfrage nach Elektro- und Maschinenbauingenieuren auch auf die Photovoltaikindustrie durch. Zudem haben sich die Hochschulen erst ansatzweise auf die Ausbildung von Ingenieuren mit dem Schwerpunkt Photovoltaik eingestellt, die ersten Stiftungslehrstühle sind im Aufbau (vgl. Kapitel 4.2.2.).

Im Sommer des Jahres 2008 werden sich die Auswirkungen des demografischen Wandels auf das Lehrlingsangebot an die Betriebe bemerkbar machen. In den nächsten fünf Jahren werden deutlich weniger Schulabgänger für einen Ausbildungsbeginn zur Verfügung stehen als heute. Dennoch kann für die nächsten Jahre in der Photovoltaikindustrie kein genereller Fachkräftemangel aufgrund des demografischen Wandels vermutet werden. Wahrscheinlicher erscheint eine lokal und berufsgruppenspezifisch differenzierte Entwicklung: Jene Unternehmen, die sich in der Erstausbildung engagieren und sich in industriellen Zentren mit anderen Branchen in Konkurrenz um die Gewinnung von Auszubildenden begeben (müssen), können Probleme mit der Fachkräftegewinnung bekommen. Eine tendenziell gleiche Aussage läßt sich für die Gewinnung von hochqualifizierten Fachkräften, Technikern und Ingenieuren treffen, die zur Vorbereitung und Steuerung der Produktion benötigt werden. In diesem Wettbewerb können die Unternehmen Nachteile haben, die ausschließlich auf einen kostenorientierten Personaleinsatz setzen bzw. gesetzt haben und jene Unternehmen Vorteile realisieren, die der Zielgruppe auch einkommensbezogen interessante Angebote machen können.

Im Bereich der Werker („Operator“) scheint ein demografisch bedingter Fachkräftemangel trotz Wachstums der Photovoltaikindustrie auch in den nächsten Jahren aus verschiedenen Gründen wenig wahrscheinlich. Zum ersten gibt es im Bereich der Zielgruppe (ausgebildete, arbeitslose Facharbeiter, die als Angelernte qualifiziert und eingesetzt werden) und des großen Einzugsbereichs, in dem diese angeworben werden, ein weiterhin großes verfügbares Potenzial am Arbeitsmarkt. Zum zweiten werden mit der weiteren Standardisierung und der beständigen Revolverisierung der solartechnischen Produktionsprozesse Rationalisierungseffekte greifen, die sich dämpfend auf die Fachkräftenachfrage auswirken könnten. Drittens werden aufgrund der gemischten Altersstruktur die Ausscheidungsquoten älterer Werker vermutlich geringer sein als in anderen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes. Und viertens haben die neu aufgebauten Unternehmen der Photovoltaikindustrie die Möglichkeit, die „hausgemachten“ Ursachen des Fachkräftemangels, mit dem andere Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes in einigen Branchen und einigen Regionen zu tun haben, durch eine vorausschauende Personalpolitik zu vermeiden.

Der Beschäftigungsaufbau in der Photovoltaikindustrie führte dazu, dass viele vormals Arbeitslose im strukturschwachen Raum eine neue Arbeit fanden. Die Unternehmen stellten durchaus gemischte Belegschaften zusammen, die im Rahmen dieser Recherche keine Altersstrukturprobleme erkennen ließen. Sie nutzen jedoch den Druck

der Massenarbeitslosigkeit in der Region, um fragwürdige betriebliche Arbeitskonditionen durchzusetzen, die von den Beschäftigten häufig akzeptiert werden (müssen). In einem Betrieb wies ein Experte darauf hin, dass eine „interessante Mischung“ in der Belegschaft entstanden sei: Einerseits von jüngeren Beschäftigtengruppen, die aufgrund ihrer Erfahrung mit Arbeitslosigkeit, dem Wohnsitz bei den Eltern und ihrer körperlichen Fitness bereit sind, lange Arbeitstage für ein vergleichsweise geringes Einkommen zu arbeiten. Und andererseits ältere Beschäftigte, die Lebens- und Berufserfahrung mitbringen, z. T. aus der Langzeitarbeitslosigkeit kommen und froh darüber sind, in ihrem Alter überhaupt noch eine reguläre (sozialversicherungspflichtige) Beschäftigung zu bekommen. Eine solche Alters- und Sozialstruktur bietet weitere Ansatzpunkte für subtile unternehmerische Sozialtechniken.

In den Unternehmen lassen sich unterschiedliche Einstellungsszenarien (Formen) nachzeichnen, die jedoch einige strukturell typische Grundmuster aufweisen. Dazu gehört erstens eine Praktikums- oder Anlernphase, in der die Beschäftigten noch keinen dauerhaften Arbeitsvertrag haben oder den Regeln der Probezeit unterliegen. Sie erwerben hier – häufig gefördert durch Maßnahmen der Arbeitsagentur – die erforderlichen Fachqualifikationen, können ihre Schlüsselqualifikationen beweisen und sich für den weiteren Berufsweg empfehlen und bewähren. Zweitens wird im Falle der Bewährung häufig an Standorten, die neu aufgebaut werden, dann ein befristeter Arbeitsvertrag angeboten. Die Möglichkeiten der Befristung von Arbeitsverträgen werden soweit ausgedehnt, wie es das seit 2001 geltende Teilzeit- und Befristungsgesetz zulässt.

An traditionellen Standorten, die über einen gewachsenen Belegschaftsstamm verfügen, wird der Beschäftigungsaufbau in der „zweiten Phase“ häufig über Leiharbeitsverhältnisse realisiert. Zeitarbeitsfirmen und Personaldienstleister, die standortnah zu den Unternehmen angesiedelt sind, stellen die nachgefragten Fachkräfte zur Verfügung und nutzen die Möglichkeiten des im Jahre 2002 in Teilen zu Lasten der Arbeitnehmer deregulierten Arbeitnehmerüberlassungsgesetzes (AÜG), um die Dauer der Zeitarbeit bis an die gesetzlich festgelegte Grenze auszudehnen. Beide Wege – der Weg über die befristeten Arbeitsverhältnisse wie der Weg über die Zeitarbeit – können drittens bei Bewährung in der Produktion zur Übernahme in „feste“ Arbeitsverhältnisse führen.

Der Weg in eine unbefristete Normalbeschäftigung in der ostdeutschen Photovoltaikindustrie ist zusammengefasst häufig durch jahrelange prekäre Arbeitsbedingungen, ständigen Bewährungsdruck und meistens nur einzelvertraglich geregelte Arbeitsbedingungen gekennzeichnet. Dies sind keine Rahmenbedingungen, die Innovationsbereitschaft und Kreativität der Beschäftigten fördern, ihre Mitwirkung und Mitgestaltung stimulieren und die Einführung betrieblicher Mitbestimmung sowie die Wahl eines Betriebsrates begünstigen.

4.3.3. Entlohnung

Die Lohnhöhe in der ostdeutschen Photovoltaikindustrie ist aufgrund des weitgehenden Fehlens von tarifvertraglichen Regelungen und der nur vereinzelt anzutreffenden Betriebsratsstrukturen vor allem einzelvertraglich geregelt. Entsprechend differenziert sind Lohnformen und Lohnhöhen nicht nur zwischen den Unternehmen, sondern auch in den Unternehmen. Die Bruttomonatsverdienste der Werker („Operator“) liegen je nach betrieblichen Gegebenheiten zwischen 1.600 Euro und 2.200 Euro. In einigen Betrieben liegen die Einstiegsstundenlöhne brutto knapp über 7 Euro und die Operatorlöhne knapp über 8 Euro. Das Niveau der Entlohnung orientiert sich mitunter an den regionalen Gegebenheiten, die geprägt sind durch das Vorhandensein anderer dominanter Industriezweige wie beispielsweise der Mikroelektronik im Dresdner Raum einerseits (hier z. B. „knapp darunter“) oder räumlicher Struktur-schwäche wie in Frankfurt/Oder andererseits („über dem Durchschnittsniveau des Verarbeitenden Gewerbes“).

Mit dem Abschluss eines Arbeitsvertrages ist zugleich eine Erst-Eingruppierung verbunden, auf die die Beschäftigten nur einen vergleichsweise geringen Einfluss haben. Da die Eingruppierungskriterien häufig intransparent sind, kann es zu unterschiedlicher Eingruppierung gleicher oder ähnlicher Arbeiten kommen – eine Quelle betrieblicher Unzufriedenheit, die häufig auch daraus gespeist wird, dass jährliche Lohnerhöhungen ebenfalls individualisiert

und mitunter an Leistungskennziffern gebunden werden. Ungleicher Lohn für gleiche oder ähnliche Arbeit wird für zahlreiche Beschäftigte, die ansonsten die Vorteile einer sozialversicherungspflichtigen Beschäftigung, pünktlicher Lohnzahlung und ggf. einer jährlichen Sonderzahlung zu schätzen wissen, zum Grund von Unzufriedenheit.

In den Unternehmen sind unterschiedliche Formen von Sonderzahlungen vorzufinden. So gibt es in einigen Unternehmen ein 13. Monatsgehalt, andere eröffnen bestimmten Mitarbeitergruppen den Zugang zu Betriebsrenten. In einigen Unternehmen gibt es erfolgsabhängige Lohnbestandteile.

Getaktete Fließfertigung beruht auf Leistungsvorgaben, die den Arbeitsrhythmus bestimmen und zur Bestimmung der Lohnhöhe genutzt werden können. Dies setzt jedoch einen Betriebsrat und die Form des Leistungslohnes voraus, damit einschlägige Mitbestimmungstatbestände greifen. Da beides in der Regel in der ostdeutschen Photovoltaikindustrie nicht vorzufinden ist, sondern Zeitlohn vorherrschend ist, können Leistungsvorgaben verschärft werden, ohne die Löhne anzupassen bzw. die Leistungsbemessung zum Gegenstand betrieblicher Verhandlungen machen zu müssen.

Insgesamt ist ein Einpendeln des Lohnniveaus an der Grenze des geforderten gesetzlichen Mindestlohnes bis hin zu einem Niveau von etwa 10 % unter dem tariflichen Niveau ostdeutscher Branchentarifverträge zu beobachten. Häufig erfolgt auch ein Vergleich mit dem „ortsüblichen“ Verdienstniveau, das in den strukturschwachen ländlichen Räumen Ostdeutschlands im Verarbeitenden Gewerbe mehr als 30 % unter dem westdeutschen Niveau liegt.

4.3.4. Arbeitszeit- und Schichtplangestaltung

In vielen Unternehmen der Photovoltaikindustrie wird an 365 Tagen rund um die Uhr produziert (24x7). In Anbetracht des gegenwärtigen Booms verwundert es nicht, dass die Betriebsnutzungszeiten durch die Arbeitszeit der Beschäftigten vollständig ausgenutzt werden (sollen). Die dahinter stehenden Conti-Schichtmodelle erfordern eine Aufhebung des Verbots der Sonn- und Feiertagsarbeit, wie sie in § 9 ArbZG festgeschrieben ist. Eine Aufzählung der Ausnahmen vom Sonn- und Feiertagsverbot findet sich in § 10 ArbZG und bezieht sich z. B. auf soziale Tätigkeiten (Not- und Rettungsdienste, Krankenhäuser), auf die Landwirtschaft, auf Tätigkeiten zur Aufrechterhaltung der Infrastruktur (Rundfunk und Presse, Verkehr, Energie und Wasserversorgung, Bewachung und Reinigung), auf Sonderveranstaltungen (Messen, Kultur- und Sportveranstaltungen etc.) sowie auf Tätigkeiten, die zur Vermeidung des Verderbens von Naturerzeugnissen oder zur erheblichen Beschädigung von Produktionseinrichtungen erforderlich sind. Eine Aufhebung des Verbots der Sonntagsarbeit für die Photovoltaikindustrie kann aus dieser Liste nicht abgeleitet werden.

Um Sonntagsarbeit dennoch zu ermöglichen, ist der Rekurs auf den § 13 ArbZG erforderlich, der Bundes- und Landesbehörden sowie (im Absatz 5) den Aufsichtsbehörden die Möglichkeit eröffnet, Sonn- und Feiertagsarbeit zu bewilligen, „wenn bei längeren Betriebszeiten im Ausland die Konkurrenzfähigkeit unzumutbar beeinträchtigt ist und durch die Genehmigung von Sonn- und Feiertagsarbeit die Beschäftigung gesichert werden kann“. Eine Beeinträchtigung der Konkurrenzfähigkeit wird aus juristischer Sicht auch unterstellt, wenn die inländischen Fertigungskosten höher sind als die eines ausländischen Konkurrenten. Wenn ein Antrag gestellt und der sachliche Grund (Beeinträchtigung der Konkurrenzfähigkeit) zutreffend ist, ist die Erteilung einer Bewilligung nach § 13 (5) ArbZG nicht in das Ermessen der Aufsichtsbehörde gestellt. Diese muss vielmehr bei Vorliegen der Voraussetzungen eine Ausnahmebewilligung erteilen.

Zudem sei es aufgrund der Formulierung „Sicherung der Beschäftigung“ ersichtlich, dass vom Arbeitgeber zum Beweis der Sicherung der Beschäftigung kein „mathematischer Nachweis“ verlangt werden könne. Daher ist die Aufsichtsbehörde grundsätzlich nicht berechtigt, eine Ausnahmegenehmigung nach § 13 (5) ArbZG zu widerrufen, wenn es z. B. zu betriebsbedingten Kündigungen in dem Unternehmen kommt. Vielmehr muss sie in derartigen

Fällen prüfen, ob die Ausnahmegenehmigung aufrechterhalten werden kann oder die Voraussetzungen für einen Widerruf vorliegen.

Die Conti-Schichtmodelle sind in der Photovoltaikindustrie in vielfältiger Form anzutreffen. Zu ihnen gehören auch Modelle mit 12-stündigen Arbeitsschichten. Wenn 12-stündige Conti-Schichtmodelle realisiert werden sollen, so ist neben der Bewilligung von Sonntagsarbeit eine zweite Ausnahmegenehmigung erforderlich: Nach § 3 ArbZG beträgt die werktägliche Arbeitszeit grundsätzlich 8 Stunden und kann auf bis zu 10 Stunden ausgedehnt werden, wenn innerhalb von 24 Wochen ein Zeitausgleich erfolgt, so dass die tägliche 8-stündige Arbeitszeit rechnerisch nicht überschritten wird. Eine 12-stündige Arbeitszeit kann die Aufsichtsbehörde als Abweichung vom § 3 ArbZG nach § 15 ArbZG bewilligen, wenn sie z. B. für kontinuierliche Schichtbetriebe zur Erreichung zusätzlicher Freischichten führt. Die Unternehmen haben auf diese Ausnahmegenehmigung keinen Rechtsanspruch. Die Aufsichtsbehörde entscheidet vielmehr nach pflichtgemäßem Ermessen. Sie prüft das Vorliegen der sachlichen Gründe und ist berechtigt, Auflagen zu erteilen, um den Zweck des Arbeitszeitgesetzes durchzusetzen. Dies kann für betriebliche und gewerkschaftliche Interessenvertretungen einen Handlungsansatz bieten.

Eine ähnliche Diskussion von Ausnahmeregelungen bei der Gestaltung von Conti-Schichten müsste bei genauerer juristischer Prüfung auch um die Frage der Bewilligung 12-stündiger Nachtschichtarbeit geführt werden.

Conti-Schichtmodelle, die 12-stündige Schichten einschließen, können im Rahmen von Ausnahmeregelungen legal sein. Arbeitswissenschaft und Arbeitsmedizin bestätigen jedoch durch ihre Forschungsergebnisse, dass solche Modelle aus der Sicht des Arbeits- und Gesundheitsschutzes fragwürdig sind, die Gesundheit der Beschäftigten gefährden und die Unfallgefahr steigern können. Dies nehmen die Schichtarbeiter auch in der Eigenbeobachtung wahr: Insbesondere ältere Beschäftigte haben Probleme, in 12-stündigen Conti-Schichten, ggf. sogar bei 60-stündiger Wochenarbeitszeit, einen persönlichen Lebensrhythmus zu finden; die Lebensrealitäten von Familie und Beruf sind nicht mehr in Übereinstimmung zu bringen. Auch wenn die Ausgleichszeiträume den gesetzlichen Anforderungen entsprechen, reicht die Erholung häufig nicht aus, um sich zu regenerieren. Dauerhafte Erschöpfung und Konzentrationsprobleme bei der Arbeit sind die Folgen.

Aufgrund der räumlichen Lage und der Personalbeschaffungsstrategie der Unternehmen kommen viele Beschäftigte der ostdeutschen Photovoltaikindustrie aus dem ländlichen Raum und bewältigen als Pendler Wege zwischen 50 km und 90 km je Arbeitsweg, häufig per PKW. So ist es durchaus keine Ausnahme, wenn zu einer 12-stündigen Schicht noch bis zu 3 Stunden Wegezeit hinzukommen – eine Rahmenbedingung, die die Belastung der Schichtarbeiter insgesamt weiter verschärft und zudem das Risiko von Wegeunfällen erheblich erhöht.

4.3.5. Arbeitsbedingungen

In der Fertigung sind in der Regel Arbeitssysteme vorzufinden, die durch getaktete Fließfertigung gekennzeichnet sind. Die Arbeit wird mit Hilfe verschiedener Maschinen verrichtet – das Spektrum reicht von konventionellen Handmaschinen über CNC-gesteuerte Bearbeitungszentren bis zu vollautomatischen Anlagen. Die Taktung der Fertigung wird vorgegeben, ohne dass die Beschäftigten bisher darauf Einfluss nehmen könnten. Gemäß der konkreten Gestaltung der Arbeitsplätze und der maschinellen Ausstattung gibt es an verschiedenen Arbeitsstellen körperliche Beanspruchungen, die sich häufig als erhebliche Belastungen auswirken. Dazu gehören z. B. das Heben und Tragen schwerer Lasten und Montagetätigkeit in dauerhafter Zwangshaltung.

Verbunden damit ist häufig Monotonie aufgrund fehlender Abwechslung im Arbeitsablauf. Es gibt in vielen Unternehmen einen ständigen Arbeitsdruck zur Erreichung von vorgegebenen Stückzahlen. Der Durchsatz hoher Stückzahlen unter monotoner Arbeitsorganisation verlangt hohe Konzentration. Durch die Verkürzung von Taktzeiten werden die Anforderungen an die Konzentration weiter erhöht, die Angst vor Fehlern und fehlerbedingten Sanktio-

nen wächst dadurch. Zusammen mit den körperlichen Belastungen und unter den Bedingungen der verbreiteten Schichtregimes führt dies vielfach zu arbeitsbedingtem Stress bei den Beschäftigten. Mehrere Gesprächspartner schätzten im Rahmen der Experteninterviews ein, dass diese Art von Arbeit in der Produktion kaum jemand bis zur Erreichung des gesetzlichen Rentenalters verrichten kann.

4.3.6 Arbeitspolitische Schlussfolgerungen

Die Arbeitsbedingungen in der ostdeutschen Photovoltaikindustrie verstoßen nach den Rechercheergebnissen im Rahmen dieser Studie im Prinzip nicht gegen das geltende Arbeitsrecht. Sie nutzen jedoch jene Ausnahmeregelungen, die der Gesetzgeber im Zuge der Novellierung verschiedener Gesetze in den letzten Jahren zum Vorteil der Arbeitgeber eingeführt hat. Die Landesbehörden sind gehalten, diese Ausnahmeregelungen zur Sicherung der internationalen Konkurrenzfähigkeit der Unternehmen zu erteilen. Sie unterstützen oder tolerieren in einem ganzen Industriezweig die Etablierung eines arbeitspolitischen Niveaus, das deutlich unter den Standards z. B. der Metall- und Elektroindustrie liegt.

Darüber hinaus gibt es einen erheblichen Unterschied zwischen gesetzlich definierten Mindeststandards und einem auskömmlichen Einkommen, menschengerechter Arbeits- und Arbeitszeitgestaltung und einem präventiv orientierten Gesundheitsschutz, kurz: guter Arbeit. Diese kann als Zukunftsprojekt verstanden werden, das auf sichere Arbeitsplätze, qualitativ anspruchsvolle Arbeit, hohe Qualifikation der Beschäftigten, ein sozialverträgliches Maß an Sicherheit und Gesundheit in der Arbeit und die Vereinbarkeit von Familie und Beruf setzt. Somit bestünde Anschlussfähigkeit an andere Branchenstrategien wie beteiligungsorientierter Innovationspolitik („besser statt billiger“), nachhaltiger Unternehmensentwicklung und mitarbeiterorientierter Unternehmens- und Führungskultur. Gute Arbeit wird in der neuen Zukunftsindustrie Photovoltaik nicht allein auf der Basis der gesetzlichen Regelungen durchzusetzen sein, sondern vor allem über den Ausbau betrieblicher und gewerkschaftlicher Interessenvertretungsstrukturen und deren Verzahnung mit anderen Akteursebenen wie der Arbeitsforschung und tripartistischen bzw. paritätischen Institutionen (ILO, Berufsgenossenschaften etc.).

Aus arbeitsorientierter Sicht besteht an der Photovoltaikindustrie in Ostdeutschland ein dreifaches öffentliches Interesse im Kontext nachhaltiger Entwicklung:

- an der Entwicklung einer Zukunftsindustrie des sozialökologischen Umbaus,
- aufgrund des hohen Anteils an öffentlicher Förderung, die industriepolitisch gewollt und ein Erfolg staatlicher Ansiedlungspolitik ist, an der Sicherung der industriellen Standorte, und
- an der Etablierung arbeitspolitischer Standards, die sich nicht durch mitbestimmungs- und gewerkschaftsfreie Zonen, Unterlaufung der Mitbestimmung und der extensiven Nutzung gesetzlicher Ausnahmeregelungen definieren, sondern die auf einer Kultur der Mitbestimmung, handlungsfähiger betrieblicher Interessenvertretungen und tariflicher Gestaltung der Arbeitsbedingungen basieren.

Damit sind große arbeitspolitische Herausforderungen verbunden, von denen drei Handlungsfelder hervorgehoben und als prioritär bewertet werden sollen: Erstens der Aufbau und die Stabilisierung betrieblicher Interessenvertretungen, zweitens die Durchsetzung eines am tariflichen Niveau der Metall- und Elektroindustrie orientierten Einkommens deutlich oberhalb des durch den gesetzlichen Mindestlohn beschriebenen Werts und drittens die Einführung von Arbeitszeit- und Schichtplanregelungen, die sich an den gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen orientieren, die Vereinbarkeit der Anforderungen von Beruf und Familie ermöglichen und den Beschäftigten die Chance eröffnen, in Arbeit gesund das Renteneintrittsalter zu erreichen.

Gewerkschaftliche Handlungsmöglichkeiten können darin bestehen,

- die Interessenvertretungen in der Photovoltaikindustrie durch die Einrichtung eines Branchenausschusses zu unterstützen,
- Gewerkschaftsmitglieder und Interessenvertreter der Photovoltaikindustrie in lokale/regionale Betriebsräte-Netzwerke einzubinden,
- den Kontakt zu und die Kooperation mit anderen Akteursebenen (Landespolitik, Arbeitsforschung, Berufsgenossenschaften etc.) zu initiieren und zu unterstützen.

5. Schlussfolgerungen für arbeitsorientierte Strategien der industrie- und strukturpolitischen Entwicklung der Photovoltaikindustrie

Für die Photovoltaikindustrie wird in den nächsten Jahren eine Konsolidierung des Marktes erwartet. Dabei werden sich die Unternehmen durchsetzen, die sich den Herausforderungen der Branche am effizientesten anpassen können. Als wesentliche Faktoren zur Sicherung von Wettbewerbsfähigkeit werden derzeit folgende Strategien betrachtet:

- die Rohstoffsicherung – durch langfristige Lieferverträge, Beteiligungen an oder Kooperationen mit Siliziumherstellern, Weiterentwicklung von Produktionstechnologien mit geringerem Ressourceneinsatz (z. B. Dünnschicht);
- die Realisierung von Kostenvorteilen durch Economies of scale – Größenvorteile bergen ein deutliches Einsparpotenzial bei den Produktionskosten, wie am anhaltenden Trend zu großen Produktionsanlagen sichtbar wird, verbunden mit einer Entkoppelung von Größenwachstum der Produktionsanlagen und weiterem Beschäftigungsaufbau in diesen Einheiten;
- die Entwicklung neuer, materialsparender und energieeffizienter Produktionstechniken und Erschließung weiterer, neuer Einsatzgebiete für die Photovoltaik;
- die Diversifizierung der Unternehmen über mehrere Wertschöpfungsstufen um flexibel auf Weltmarktschwankungen einzelner Wertschöpfungsstufen reagieren zu können, Innovationen voran zu treiben und Anschlussfähigkeit an die Weiterentwicklung des Industriezweigs herstellen zu können – in diesem Bereich können auch strategische Partnerschaften und Kooperationen zwischen den PV-Unternehmen von zentraler Bedeutung sein.

Risiken stellen in diesem Zusammenhang die Probleme der Finanzierung schnellen Wachstums im Einzelnen dar, die zu erheblichen Teilen über internationale Kapitalmärkte mit entsprechenden Beteiligungen, Private Equity, aber auch Risikokapital und zum größten Teil über Kredite erfolgt. Auch setzen die gegenwärtig praktizierten staatlichen Anreizprogramme für die Stromproduzenten wie mit den Degressionsstufen im Deutschen EEG, insbesondere die Zellen- und Modulhersteller der direkten Konkurrenz auf dem Weltmarkt aus, ohne dass gleichzeitig mit der Bindung maßgeblicher Stromerzeuger für die inländische Technologie ein durchgängiger Leadmarkteffekt, wie er durch das ZEW definiert wurde, entsteht (vgl. Beise u. a. 2002). Nicht zuletzt lassen der Anteil „verlängerter Werkbänke“ und die gegenwärtige Strategie des weiteren Standortausbaus in Ostdeutschland vermuten, dass sich Tendenzen zu Strategien der „eine Produktionslinie = eine Fabrik“ herausbilden. Zudem wird mit einer zunehmenden Standardisierung von Fertigungsprozessen auch eine mindestens seit 2007/2008 erkennbare räumliche Diversifizierung der Produktionsstandorte verbunden sein.

Von entscheidendem Einfluss auf die Entwicklung der Photovoltaikindustrie wird neben den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen (z. B. der Entwicklung der Märkte, der Rohstoffpreise und dem Markteintritt neuer Akteure) daher auch das politische Umfeld, die Förderung regenerativer Energien in Form von Einspeisevergütungen etc.

sowie die weitere Unterstützung von FuE-Vorhaben und Clusterinitiativen des Industriezweigs bleiben. Dies ist von erstrangiger industrie- und strukturpolitischer Relevanz.

Auf Ebene der Unternehmen wird sich der globale Wettbewerb innerhalb der Photovoltaikindustrie weiter verschärfen. Bestehende PV-Hersteller werden wachsen und auch in andere Teilsegmente des Photovoltaikmarkts expandieren, wie es bereits auch die gegenwärtige Entwicklung der ostdeutschen PV-Standorte zeigt. Der Konkurrenzdruck zwischen den PV-Herstellern wird, wie der derzeitige Aufbau von Kapazitäten andeutet, trotz des rasant wachsenden Marktes zunehmen. Zudem ist mit einer Konsolidierung des Marktes zu rechnen. Auch ist anzunehmen, dass sich finanzstarke branchenfremde Konzerne auf dem Solarmarkt ausdehnen werden. Die eher am Ende der Wertschöpfungskette zu verortenden Modulhersteller haben aufgrund ihrer kleinteilig geprägten Strukturen und der großen externen Abhängigkeit von wenigen Zulieferern mit den größten Herausforderungen im globalen Wettbewerb zu kämpfen.

Verschärft wird der zunehmende Konkurrenzkampf durch die Engpässe in der Rohstoffversorgung. Die Verfügbarkeit von Silizium bleibt einer der Schlüsselfaktoren für die künftige Entwicklung eines großen Teils der Photovoltaikindustrie. Die ostdeutsche Photovoltaikindustrie ist dem in weiten Teilen durch Joint Ventures oder eigenständiges Engagement begegnet, teilweise sind langfristige vertragliche Bindungen vorhanden. Auch werden sich die Einsparpotenziale der Dünnschichttechnologie bemerkbar machen. Teilweise sind die Unternehmen technologiebedingt unabhängig von dieser Frage.

Produktionsseitig wird die Entwicklung künftig zunehmend von Kostenaspekten bestimmt werden. Technisch ausgereifte Produkte und standardisierte Produktionsverfahren ermöglichen die Massenfertigung in immer größeren Produktionseinheiten. Die Realisierung von Economies of scale ist in den Unternehmensstrategien von wachsender Bedeutung. Neben Investitionen in Produkt- und Prozessinnovationen werden daher auch Rationalisierungsinvestitionen immer bedeutender. Da es sich bei der Photovoltaikindustrie um einen Industriezweig mit sachkapital- und wissensintensiver Produktion handelt, sind Standortfaktoren wie eine gut ausgebaute Infrastruktur, die Verfügbarkeit von qualifizierten Arbeitskräften, komplexes technisches Know-how, die Verfügbarkeit hochmoderner Maschinen und Produktionsanlagen sowie das Innovationspotenzial und die Nähe zu FuE-Einrichtungen in den derzeitigen Entwicklungsstufen der Unternehmen – noch – von großer Bedeutung.

Die starke Ausweitung der Produktionskapazitäten in Europa, Japan und den USA folgte bislang eher der Orientierung an Marktregionen als sie eine quantitativ bedeutende Produktionsverlagerung in Niedriglohnländer als wahrscheinlich erkennen ließ. Wenngleich der Lohnkostenanteil in Anbetracht der technologie- und materialintensiven Herstellungsprozesse vergleichsweise gering ist, werden arbeitsintensivere Fertigungsprozesse inzwischen aber eher in diesen Ländern aufgebaut. So weitet etwa das deutsche Unternehmen Solarworld seine Aktivitäten auf deutsche Standorte und damit insbesondere auch in Freiberg (Sachsen) aus, lässt aber gleichzeitig bereits einen Großteil seiner Module in China fertigen (Das Energieportal, 31. März 2007). Insofern besteht auch in der Photovoltaikindustrie eine globalisierte Konkurrenz um die Produktionsstätten einerseits und ein weltweiter Wettbewerb der Produkte andererseits.

Die arbeitspolitische Landschaft der Photovoltaikindustrie ist im Hinblick auf Entlohnung, Arbeitszeitregelungen und Arbeitsbedingungen noch außerordentlich heterogen. Insbesondere konnten bislang kaum gewählte und mitbestimmungsrechtliche Interessenvertretungen der Beschäftigten aufgebaut werden. Unter der vorherrschenden Tendenz zu Minimalstandards könnte dies aber neben gesundheitlichen Folgen ein Hemmnis für die nachhaltige weitere Entwicklung von Anpassungsfähigkeit, Qualitätsproduktion und dauerhafter Innovationsfähigkeit des Industriezweigs sein.

6. Glossar

Aufdachmontage	Bei dieser Montageart werden Profile oberhalb der Dacheindeckung montiert, um darauf die Solarmodule befestigen.
amorph	Amorphes Silicium (aSi) ist eine nicht-kristalline Form des Siliziums (unregelmäßig angeordnete Atome). aSi kommt als Halbleitermaterial in der → <i>Dünnschichttechnologie</i> zum Einsatz und weist ein hohes Absorptionsvermögen auf.
CdTe	Cadmium-Tellurid. Halbleitermaterial, das in der siliziumfreien → <i>Dünnschichttechnologie</i> zur Anwendung kommt. CdTe-Zellen sind weniger temperaturempfindlich und weisen eine hohe Empfindlichkeit gegenüber diffuser Solarstrahlung auf.
CIS	Copper-Indium-Diselenide = Kupfer-Indium-Diselenid. Siliziumfreier Halbleiter, der in der → <i>Dünnschichttechnologie</i> verarbeitet wird. CIS-Zellen verfügen über eine hohe Absorptionsfähigkeit und können damit ein vergleichsweise breites Lichtspektrum zur Stromgewinnung nutzen.
CISCuT	CIS on Cupric Tape → <i>CIS</i> Zellen auf einem flexiblen Endlosband aus Kupfer.
CO ₂	Abkürzung für Kohlendioxid. Schadstoffe, die bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehen. Mit einer Solarstromanlage wird schon innerhalb weniger Jahre mehr CO ₂ eingespart als für die Produktion von Solarmodulen benötigt wird.
Dünnschicht	Technologie zur Herstellung von Solarzellen (→ <i>Zelle</i>). Eine dünne, leitende Schicht aus Halbleitermaterial wird auf ein Trägermaterial (Glas, Metall-, Plastikfolie) aufgedampft. Mit der Dünnschichttechnologie kann im Unterschied zur → <i>mono-/polykristallinen</i> Technologie siliziumfrei produziert werden.
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz: Regelt die Einspeisevergütung regenerativer Energiequellen, z. B. Windkraft, Biomasse, Wasserkraft und auch Photovoltaik.
Einspeisevergütung	Der örtliche Stromversorger ist verpflichtet, regenerativ erzeugten Strom abzunehmen und nach dem aktuellen Satz zu vergüten. Für in 2007 aufdachmontierte Solarstromanlagen bis 30 kWp Leistung beträgt die Einspeisevergütung 49,1 cent/kWh für 20 Jahre.
Energiedach	Besondere Montageart, bei der rahmenlose Module in ein Profilsystem eingelegt werden. Die so entstandene Fläche ersetzt die Standard-Dacheindeckung. Besonders geeignet ist das System für Neubauten oder Dachsanierungen.
Flachdachmontage	Montageart für Solarstrommodule, bei der die Module mittels Winkel- oder Teleskopkonstruktionen auf Flachdächern installiert werden.
Globalstrahlung	Strahlungsenergie der Sonne, die pro Zeiteinheit auf eine bestimmte Fläche auf der Erdoberfläche fällt und theoretisch für die Umwandlung in Strom zur Verfügung steht. Die Globalstrahlung setzt sich aus diffuser und direkter Einstrahlung zusammen. Abhängig von geographischer Lage und Sonnenscheindauer liegt die durchschnittlich Energiemenge pro Jahr in Deutschland bei 1.000 kWh/m ² , in Äquatornähe bei 2.300 kWh/m ² .
GW	Gigawatt. 1 GW = 1.000 MW
IEA	International Energy Agency. Selbständige Einrichtung der OECD, die sich mit der Energieversorgung befasst.
IEA-PVPS	IEA Photovoltaic Power Systems Programme Programm der → <i>IEA</i> . Mitgliedsländer des IEA-PVPS sind: Australien, Österreich, Kanada, Dänemark, Frankreich, Deutschland, Israel, Italien, Japan, Korea, Malaysia, Mexiko, die Niederlande, Norwegen, Portugal, Spanien, Schweden, die Schweiz, die Türkei, Großbritannien und die USA.
Halbleiter	Festkörper, der elektrischen Strom sowohl leiten als auch nicht leiten kann. Durch Anregung, Energiezufuhr bspw. durch Licht oder Wärmeschwingungen, fließt Strom durch den Halbleiter. Die Leitfähigkeit ist dabei von Material (bspw. → <i>CdTe, CIS, aSi</i>) und Temperatur abhängig.

Ingot	→ <i>mono-</i> oder → <i>polykristalliner</i> Siliziumblock aus dem der → <i>Wafer</i> gesägt wird.
Inselanlage	Die erzeugte Energie wird in Batterien zwischengespeichert und danach verbraucht. Diese Anlagen sind nicht an ein Stromnetz angeschlossen. Gegenteil zur → <i>netzgekoppelten</i> Anlage.
kWh	Kilowattstunde. Maßeinheit der elektrischen Energie. Eine kWh entspricht 1000 Watt über den Zeitraum von einer Stunde.
kWp	kW = Kilowatt, das p bedeutet „peak“ als Spitzenleistung. Das „p“ zeigt aber nicht die Spitzenleistung sondern die Nennleistungen nach Standard-Testbedingungen (STC).
Modul	Bezeichnung für eine elektrisch anschlussfähige Einheit aus mehreren Solarzellen → <i>Zelle</i> , mit Witterungsschutz (Glas), Einbettung und Rahmung. Bilden Grundeinheiten photovoltaischer → <i>Systeme</i> .
monokristallin	Silizium, das als Einkristall gezogen wurde. Die Kristallstruktur im Inneren ist absolut homogen, was durch die gleichmäßige Außenfärbung erkennbar wird.
MW	Abkürzung für MegaWatt. Mit diesem Wert wird die Leistung von Solaranlagen gemessen. 1 MW=1.000.000 Watt.
MWp	Megawatt peak, → <i>kWp</i>
nachgeführte Anlage	→ <i>Tracker</i>
Neigungswinkel	Winkel zwischen der Solarzelle und dem Horizont. Der optimale Neigungswinkel variiert mit dem Sonnenstand (abhängig von geographischer Breite und Jahreszeit). Er beträgt in Deutschland um die 45°.
Netzkopplung	Photovoltaikanlage ist über einen → <i>Wechselrichter</i> an das Stromversorgungsnetz angeschlossen. Der eingespeiste Strom wird gemäß der → <i>Einspeisevergütung</i> verkauft.
Photovoltaik	Ein physikalischer Effekt lässt eine Spannung in einer aus zwei elektrischen Polen bestehenden Halbleiterplatte entstehen, angeschlossen an einen Verbraucher fließt ein Strom. Photo (griech.) = photos: das Licht; Volt = Einheit für die elektrische Spannung (Spannung durch Licht). Abk. = PV.
polykristallin	Kristallstruktur von Silizium, in der mehrere Kristalle im Guss erstarren. Erkennbar sind polykristalline Zellen durch die sichtbaren Korngrenzen, es entsteht ein „Metal-Flake-Effekt“.
Silizium	Halbleiter-Element. Der Rohstoff Siliziumoxid (Sand) kann zu monokristallinem, polykristallinem oder amorphem Silizium verarbeitet werden, das Grundlage für die Herstellung von Solarzellen ist. Silizium ist das zweithäufigste Element der Erdkruste.
STC	Standard Test Conditions. Die Standard-Testbedingungen sind die Bedingungen, bei der die Strom- und Spannungskennwerte eines → <i>Moduls/einer</i> → <i>Zelle</i> gemessen und auf dem Modul-Datenblatt angegeben werden. STC = 1000W/m ² , 25 °C Zelltemperatur, Sonnenspektrum AM = 1,5.
System	Photovoltaisches System. Besteht aus vielen → <i>Modulen</i> und weiteren Komponenten und bezeichnen vollständige und speziell konfigurierte Anlagen unterschiedlicher Größen und Leistungsklassen zur photovoltaischen Stromgewinnung.
Tracker	Montagesystem für Solarmodule, das mechanisch das montierte Modulfeld der Sonne nachführt, um Mehrertrag zu erwirtschaften. Passt den → <i>Neigungswinkel</i> der Solaranlage dem Sonnenstand an. Einachsige Systeme drehen von Ost nach West, zweiachsige Systeme berücksichtigen auch den Sonnenhöhenwinkel (Elevation).
TW	Terrawatt. 1 TW = 1.000 GW = 1.000.000 MW = 1.000.000.000 kW
Wafer	Aus → <i>Ingot</i> gesägte Siliziumscheibe. Rohling für die Erstellung einer Solarzelle → <i>Zelle</i> .
Wechselrichter	Komplexes, elektronisches Bauteil, welches Gleich- in Wechselstrom umformt, wird in der Solarstromtechnik zur Netzeinspeisung benötigt.

Wertschöpfungskette	Die solare Wertschöpfungskette bezeichnet die Stufen vom Sand/Rohsilizium bis zum photovoltaischen System. Teilweise ist auch das Recycling mit einbezogen (Abk.: WSK).
Wirkungsgrad	Der Wirkungsgrad eines Moduls/einer Zelle ist definiert als Verhältnis zwischen der abgegebenen elektrischen Leistung und der eingestrahlten Leistung. Er entspricht dem Anteil der → <i>Globalstrahlung</i> , der photovoltaisch in Strom umgewandelt werden kann. Der Wirkungsgrad sagt aber nichts aus über die Erträge eines Moduls/einer Zelle. Die Wirkungsgrade erhöhen sich durch technologische Weiterentwicklung ständig und liegen aktuell zwischen ca. 10 % (→ <i>Dünnschicht</i>) und ca. 15 % (→ <i>mono-/polykristallin</i>).
Wirtschaftlichkeit	Die Wirtschaftlichkeit einer Solarstromanlage berechnet sich aus den Kosten der Anlage und den Einspeisevergütungen. Bei einer Dachneigung von 30°; und Südausrichtung hat sich die Anlage durchschnittlich in 12–14 Jahren bezahlt gemacht (Amortisationszeit).
Zelle	Eine Solarzelle ist das Grundelement für die Erstellung von Solarmodulen → <i>Modul</i> . Zellen werden aus → <i>Wafern</i> hergestellt und sind die elektronischen Bauteile, die absorbiertes Licht in elektrische Energie (Strom) umwandeln.

Quelle: Zusammengestellt nach SolarWorld (www.solarworld.de); Photon (www.photon.de-Solarlexikon); Weiterführung IMU-Institut

7. Literatur

Arzt, Ingo; Bensmann, Martin (2008): Dr. Renewable. In: neue energie 05/2008. S. 33–46

Beise, Marian; Cleff, Thomas; Heneric, Oliver und Rammer, Christian (2002): Lead Markt Deutschland. Zur Position Deutschlands als führender Absatzmarkt für Innovationen. Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH ZEW. Mannheim.

Bettzieche, Jochen (2008): Höhenflug beendet. In: neue energie 04/2008. S. 58–65

BMU (2007): Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung, Berlin.

BSW Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (2008): Statistische Zahlen der deutschen Photovoltaikbranche. April 2008

DWV Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellenverband e.V. (o.J.): Woher kommt die Energie für die Wasserstoffherzeugung – Status und Alternativen, Berlin.

Ernst & Young (2006): Photovoltaik in Deutschland. Marktstudie 2005 – Entwicklung und Trends. München.

EuPD Research, ifo-Institut (2008): Standortgutachten Photovoltaik in Deutschland, Kurzfassung, i.A. Bundesverband für Solarwirtschaft e.V. Bonn/München.

Fishedick, Manfred; Langniß, Ole; Nitsch, Joachim (2000): Nach dem Ausstieg. Zukunftskurs Erneuerbare Energien. Stuttgart.

Holst, Gregor (2007): Neuausrichtung der Brandenburger Wirtschaftsförderung und deren Potenzial für die Raumordnungsregion Oderland-Spree. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Humboldt-Universität zu Berlin

IEA International Energy Agency (2007): Trends in photovoltaic Applications. Survey Report of selected IEA countries between 1992 and 2006. Fribourg/CH.

IEA International Energy Agency (2008): Photovoltaic Power Systems Programme Annual Report 2007. Fribourg/CH.

Janzing, Bernward (2008): Schlummernde Potenziale. In: neue energie 02/2008. S. 58–59

Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (LBST), Alternative World Energy Outlook 2005

May, Hanne (2008): Das richtige Geld finden. In: neue energie 03/2008. S. 90–95

Moßig, Ivo (2002): Konzeptioneller Überblick zur Erklärung der Existenz geographischer Cluster. Jahrbuch für Regionalwissenschaft 22

neue energie 12/2007: Zwei Professuren gegen Lehrstuhl-mangel. S. 36

neue energie 02/2008: Erneuerbare 2007 auf Rekordkurs. S. 9

neue energie 02/2008: Plus 41 Prozent bei weltweiten Investitionen. S. 72

neue energie 03/2008: Kapitalbedarf: 100 Milliarden Dollar im Jahr 2010. S. 94

neue energie 04/2008: Klassenbester: Q-Cells. S. 61

Rentzing, Sascha (2007): Für die GIGA-Nachfrage gerüstet. In: neue energie 11/2007. S. 41–44

Rentzing, Sascha (2008a): Ausbau mit Fragezeichen. In: neue energie 05/2008. S. 55–61

Rentzing, Sascha (2008b): Wir brauchen schmutziges Silizium. Interview in: neue energie 05/2008, S. 62–63

Sarasin (2005): Solarenergie 2005. Im Spannungsfeld zwischen Rohstoffengpass und Nachfrageboom. Basel.

Sarasin (2007): Solarenergie 2007. Der Höhenflug der Photovoltaikindustrie hält an. Basel.

Scheer, Hermann (1999): Solare Weltwirtschaft. Strategie für die ökologische Moderne. 2. Auflage. München.

WBGU – Wirtschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen (2007): Sicherheitsrisiko Klimawandel. Heidelberg.

Wissenschaftsrat (1999): Stellungnahme zur Energieforschung. Geschäftsstelle. Köln.

Internetquellen

Das Energieportal www.das-energieportal.de

Der Solarserver www.solarserver.de

ForschungsVerbund Sonnenenergie www.fv-sonnenenergie.de

8. Verzeichnis der Abbildungen, Karten und Tabellen

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Sonnenpotenzial und Weltenergieverbrauch	3
Abbildung 2:	Ein mögliches Energiewendeszenario	3
Abbildung 3:	Das Wertschöpfungssystem Photovoltaikindustrie	5
Abbildung 4:	Perspektiven der Photovoltaik-Technologien	7
Abbildung 5:	Top 15 der Solarzellenhersteller – Produktion 2006 und 2007 und Ausbaupläne	9
Abbildung 6:	Entwicklung der weltweit installierten photovoltaischen Leistung	10
Abbildung 7:	Jährlich neu installierte Leistung nach Ländern – aktueller Stand und Prognose	11
Abbildung 8:	Produktion von Solarzellen weltweit	12
Abbildung 9:	Produktion und Herstellungskapazitäten von Solarzellen und Modulen 2006	13
Abbildung 10:	Photovoltaik-Anlagen in Deutschland – Entwicklung der installierten Leistung	14
Abbildung 11:	Entwicklung der Photovoltaikindustrie in Deutschland	15
Abbildung 12:	Wertschöpfungsstufen Photovoltaikindustrie – kristalline und Dünnschichtverfahren	20
Abbildung 13:	Unternehmen in der kristallinen Wertschöpfungskette (Auswahl)	21
Abbildung 14:	Unternehmen in der Dünnschicht-Wertschöpfungskette (Auswahl)	21

Kartenverzeichnis

Karte 1:	Standorte der Photovoltaikindustrie in Ostdeutschland	18
Karte 2:	FuE-Standorte der Photovoltaikindustrie in Ostdeutschland	25
Karte A3:	Standorte der Photovoltaikindustrie in Deutschland 2006	41
Karte A4:	Standorte der Photovoltaikindustrie in Deutschland 2008	41
Karte A5:	Standorte von Maschinen- und Anlagenbauern für die Photovoltaikindustrie in Deutschland ...	42

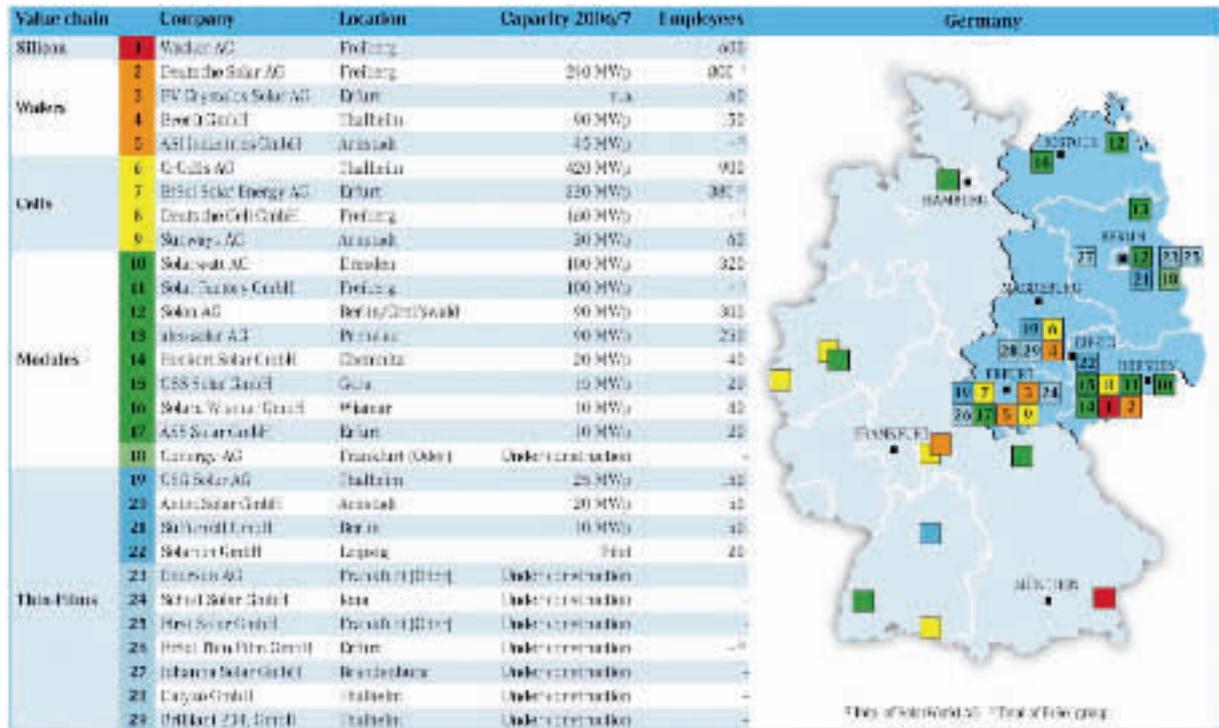
Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Weltmarktanteile der Waferproduzenten	8
Tabelle 2:	Leistung photovoltaischer Stromerzeugung – aktueller Stand und Prognose	12
Tabelle 3:	Größenklassen der Photovoltaikindustrie in Ostdeutschland	20
Tabelle 4:	Förderhilfen im Land Brandenburg	23
Tabelle 5:	Clusterinitiative Solarvalley Mitteldeutschland	27
Tabelle A6:	Ostdeutsche Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen mit Schwerpunkt im Bereich Solarindustrie	43
Tabelle A7:	Übersicht über Förderprogramme und -konditionen im Land Brandenburg	44

9. Anhang

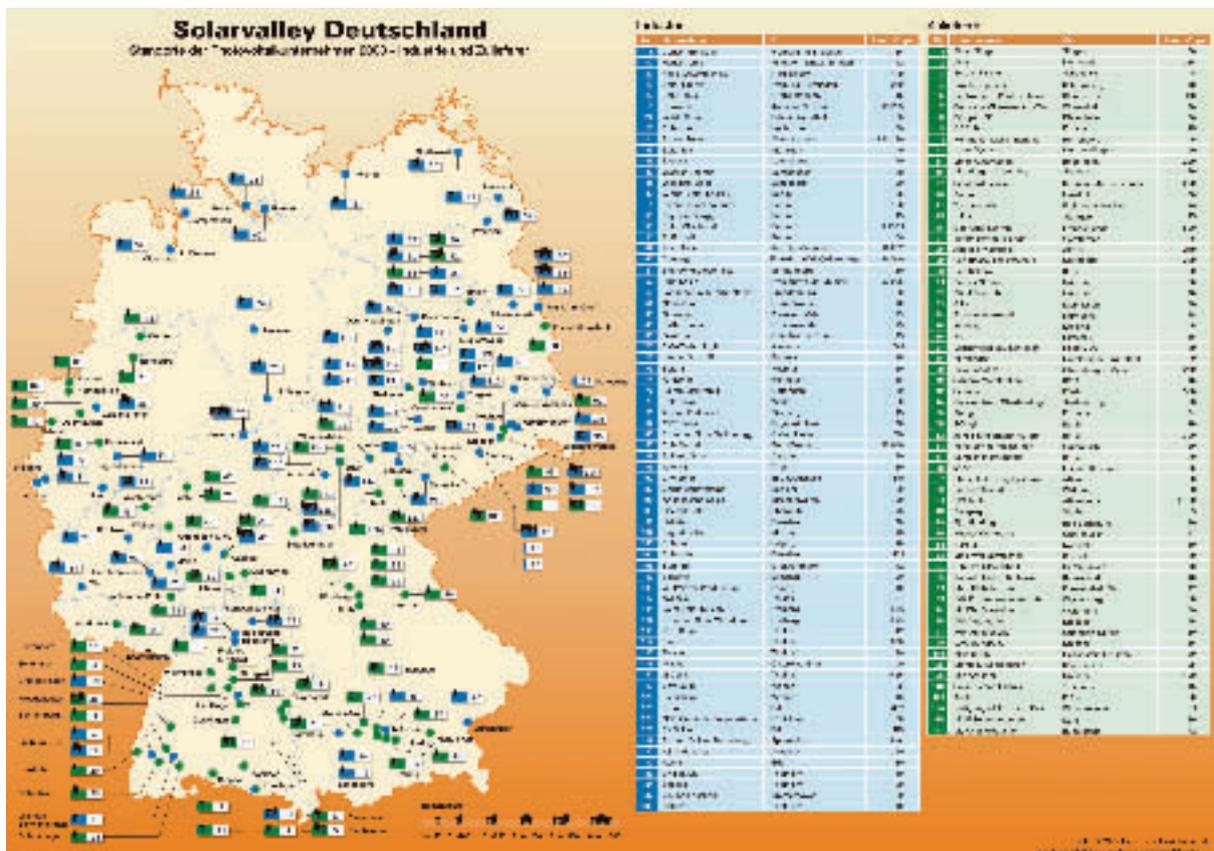
Karte A3: Standorte der Photovoltaikindustrie in Deutschland 2006

Quelle: IIC 2006



Karte A4: Standorte der Photovoltaikindustrie in Deutschland 2008

Quelle: BSW 2008



Karte A5: Standorte von Maschinen- und Anlagenbauern für die Photovoltaikindustrie in Deutschland

Quelle: BSW 2007



Tabelle A6: Ostdeutsche Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen mit Schwerpunkt im Bereich Solarindustrie

Quelle: Eigene Recherchen IMU-Institut

Nr. FuE Einrichtung	Ort	Bundesland	Fachbereiche	konkrete Tätigkeiten / Projekte
1 Ferdinand-Braun-Institut für Hochfrequenztechnik	Berlin	Berlin	Mikrowellentechnik und Optoelektronik, Kompetenzzentrum für Verbindungshalbleiter	Mikrowellenkomponenten und -systeme, GaN-Elektronik, Diodenlaser, GaN-Optoelektronik
2 FHTW Berlin – Fachhochschule für Technik und Wirtschaft	Berlin	Berlin	Elektrotechnik; Mikrosystemtechnik; Maschinenbau; Wirtschaftsingenieurwesen; Verfahrenstechnik	Kompetenzzentrum Mensch / Maschine / Kommunikation, Fachbereich Ingenieurwissenschaften Regenerative Energiesysteme Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Forschungszentrum Jülich, FHI für Bauphysik, FHI für Solare Energiesysteme, GFZ Potsdam, Hahn-Meitner-Institut, Institut für Solarenergieforschung Hameln, weitere (Liste auf Internetseite)
3 ForschungsVerbund Sonnenenergie	Berlin	Berlin	Kooperation außeruniversitärer Forschungsinstitute repräsentiert ungefähr 80% der Forschungskapazität für erneuerbare Energie in Deutschland	
4 Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK	Berlin	Berlin	virtuelle Produktentwicklung, Produktions- und Automatisierungstechnik, Unternehmensmanagement, Gestaltung industrieller Fabrikbetriebe Sicherheits-, Verkehrs- und Medizintechnik	Steuerungs-, Konstruktions-, Planungs-, Prozesstechnik, QM, Projektgruppe Verkehrstechnik
5 Fraunhofer Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM)	Berlin	Berlin	Aufbau- und Verbindungstechnik von mikroelektronischen und mikrosystemtechnischen Bauteilen	Arbeitsgebiete: - Mechanische und thermische Zuverlässigkeit in der Mikroelektronik - Multiplex-Module - Chipverbindungstechniken
6 Fritz-Haber-Institut FHI (Max-Planck-Gesellschaft)	Berlin	Berlin	Anorganische Chemie, Chemische Physik, Molekülphysik, Physikalische Chemie, Theorie	Festkörpereigenschaften, physikal.chem.Prozesse
7 Hahn-Meitner-Institut Berlin GmbH	Berlin	Berlin	Festkörper- und Materialforschung, ein Themenschwerpunkt ist die Solarenergieforschung	Erforschung neuer Materialien und komplexer Materialsysteme, Forschungsreaktor, Beschleunigeranlage und Experimentierplätze zur Synchrotronstrahlung; Arbeitsgemeinschaft Solare Materialien
8 Institut für Kristallzüchtung im Forschungsverbund Berlin e.V.	Berlin	Berlin	Entwicklung neuer Produktionsmethoden für die Kristallzüchtung; Züchtung, Bearbeitung und Charakterisierung von kristallinen Festkörpern;	Kompetenzfelder: Volumenkristalle, Kristalline Schichten und Nanostrukturen, Technologieentwicklung
9 Photovoltaik-Institut Berlin AG (PI-Berlin)	Berlin	Berlin	Research, Testing and Consulting im Bereich PV-Modultechnologie	PV-Modul-Festlabor: Temperaturwechselprüfungen, Feuchte-Frost-Prüfungen und Feuchte-Wärme-Prüfungen, Belastungstests, elektrische Tests, UV- und Degradationstests
10 TFH Berlin	Berlin	Berlin	Wirtschafts- und Gesellschaftswissenschaften, Mathematik, Physik, Chemie, Bauingenieur-, Geoingenieurwesen, Architektur, Gebäudetechnik, Life Sciences, Informatik, Medien, Elektrotechnik, Feinwerktechnik,	Laboratorien für (u.a.): Fertigungs- & CAM-Technik, Gerätechnik, Werkstofftechnik, Mechatronik, Verfahrenstechnik, Produktionstechnik, Prozesssimulation, Stoffanalytik, Reaktionstechnik
11 TU Berlin - An-Institut - Institut für Elektrische Energietechnik	Berlin	Berlin	Elektrische Energietechnik	Fachbereich Maschinenbau-Erneuerbare Energien Forschungsbereich Erneuerbare Energien, Masterstudiengang Global Production Engineering for Solar Technology
12 BTU Cottbus - Institut für Energietechnik	Cottbus	Brandenburg	Lehrstuhl Energiewirtschaft (Prof. Fichtner)	u.a. Verbundprojekt: SolarFocus (gefördert vom BMU 2007-2010)
13 Fachhochschule Brandenburg	Brandenburg a.d.H.	Brandenburg	Informatik & Medien, Technik, Wirtschaft	Automatisierungstechnik, Konstruktion & Fertigung, Antriebstechnik & Hydraulik Engineering in Photonics, Mechatronics, BWL
14 Fachhochschule Lausitz	Senftenberg	Brandenburg	Chemieingenieurwesen, Elektrotechnik, Maschinenbau und Verfahrenstechnik, Systems Engineering, Versorgungstechnik	Fachbereich Informatik-Elektrotechnik-Maschinenbau in Senftenberg ist solaraffin
15 IHP GmbH - Institut für innovative Mikroelektronik	Frankfurt (Oder)	Brandenburg	drahtlose Kommunikationstechnologie, Mikroelektronik	Kommunikationstechnik, Materialbezogene Grundlagenforschung für die Mikro- und Nanoelektronik, Prozesstechnologie, Schaltkreisdesign etc.
16 IST Institut für Solartechnologie gGmbH	Frankfurt (Oder)	Brandenburg	Solartechnologie	Entwicklung von flexiblen Bandsolarmodulen auf der Basis der CIS/CuT-Technologie für die Photovoltaik.
17 Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung	Potsdam-Golm	Brandenburg	Forschung zu Biomaterialien, Grenzflächen, Kolloidchemie, Bio-Systeme,	Rationelle Energienutzung und regenerative Energiesysteme Kolloid- und Grenzflächenforschung befasst sich mit Strukturen im Nano- und Mikrometerbereich
18 TFH Wildau	Wildau	Brandenburg	Ingenieurwesen (Maschinenbau, Physikalische Technik, Verfahrenstechnik), Telematik, Logistik, Technology of New Materials, Photonics	Materialtechnik, Verkehrslogistik, Automatisierungstechnik, Fertigungstechnik Fachbereich Ingenieurwissenschaften/Wirtschaftsingenieurwesen
19 Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V.	Dresden	Sachsen	gemeinnütziger Branchenverein der vakuum- und plasmagestützten Mitglieder der EFDS - Unternehmen, Forschungsinstitute und Privatpersonen	branchenübergreifende Kommunikationsplattform, Beratungsangebot, Industrielle Gemeinschaftsforschung Koordination des Nanotechnologie-Kompetenzzentrum "Ultradünne funktionale Schichten"
20 Fraunhofer Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik Dresden FEP	Dresden	Sachsen	Beschichtungs- und Plasmatechnologie	Elektronenstrahltechnologie, Puls-Magnetronspütern und plasmaaktivierte Hochratebedampfung, Beschichtung von Platten, Bändern und Bauteilen aus unterschiedlichen Materialien mit verschiedenen Schichten oder Schichtsystemen Keramische Technologie, Strukturkeramik, Funktionskeramik, und Hartmetalle/Cermets, Werkstoff- und Prozesscharakterisierung, Umweltverfahrenstechnik
21 Fraunhofer Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS	Dresden	Sachsen	Werkstoff-, Verfahrens- und Bauteilentwicklungen auf dem Gebiet anorganisch nicht metallischer Hochleistungswerkstoffe	physikalische und werkstofftechnische Grundlagen, Oberflächen- / Schichttechnik
22 Fraunhofer Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS	Dresden	Sachsen	Lasertechnik, Oberflächentechnik	Auswahl: Sensornetze, optischen Qualitätskontrolle von Si-Solarzellen, aktiver Ultraschall
23 Fraunhofer Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP - Dresden	Dresden	Sachsen	Kernkompetenz: ZFP für Mikro- und Nano-Strukturen; Sensorsysteme und LOD; Systeme für Zustandsüberwachung	Forschung und Entwicklung sowie die Produktion und der Vertrieb bezogen auf organische photovoltaische Materialien und Bauelemente, insbesondere in Form organischer Solarzellen
24 heliatek GmbH	Dresden	Sachsen	organische Photovoltaik	Elektrische und mechanische Charakterisierung von Silizium, Entwicklung von Halbleitermaterialien für Solarzellenanwendungen, Verbundprojekt: SolarFocus (gefördert vom BMU 2007-2010)
25 TU Bergakademie Freiberg - Institut für experimentelle Physik	Freiberg	Sachsen	Forschungsschwerpunkt: u.a. Photovoltaik	
26 TU Dresden - Institut für Angewandte Photophysik	Dresden	Sachsen	Optoelektronik (Prof. Dr. Karl Leo), Photophysik/Nano-Optik (Prof. Dr. Lukas Eng), Halbleiterspektroskopie (Prof. Dr. Manfred Helm)	u.a.: organische Solarzellen
27 Forschungs- und Beratungszentrum für Maschinen- und Energiesysteme e.V. (FBZ) an FH-Merseburg	Merseburg	Sachsen-Anhalt	Regenerative Energien und Energiemanagement, Hubkolbenmaschinen, Landwirtschaftliche Energietransformation, Mechatronik, Agrartechnik, Nachwachsende Rohstoffe, Ökologische Stoffverwertung	Leistungsvermessung, Entwicklung von Solarpumpen, Planung von Solaranlagen, Planung und Beratung zum Wärmepumpeneinsatz, Test von Wärmerückgewinnungsanlagen, Weiterbildung zur SHK-Fachkraft "Solarthermie", Auftragsforschung
28 Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP	Halle / Saale	Sachsen-Anhalt	Forschung und Entwicklung an neuen Silizium-Materialien, befindet sich seit Anfang 2008 im Aufbau	Kristallisationsverfahren für Solarsilizium
29 Institut für Energie- und Umwelttechnik Köthen e. V. - An-Institut der HS Anhalt	Köthen	Sachsen-Anhalt	Kompetenzfelder u.a.: Photovoltaik, Solarthermie, Lehr- und Ausbildungszentrum Regenerative Energietechnik, Umweltanalytik, Umweltbiotechnologie	u.a.: Vergleichende Leistungsmessungen, Untersuchungen zur Wasserelektrolyse, Wasserstoffspeicherung und Brennstoffzellentechnik, Projektierung von pv-Anlagen
30 Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg - Institut für Physik	Halle	Sachsen-Anhalt	Festkörperphysik, Polymerforschung	nanostrukturierten Materialien, oxidischen Grenzflächen und Polymere, Biophysik, Photovoltaik (in Kooperation mit Q-Cells), Medizinische Physik
31 Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik Halle	Halle	Sachsen-Anhalt	Materialforschung in den Bereichen Sensorik, Opto- und Mikroelektronik	FuE zu magnetischen, elektronischen, optischen und mechanischen Mikrostrukturen von Festkörpern; dünne Schichten und Oberflächen, nanokristalline Materialien
32 REGIONA Regionales Innovationszentrum für nachhaltiges Wirtschaften	Wernigerode	Sachsen-Anhalt	regionales Innovationszentrum für nachhaltiges Wirtschaften - als Projekt an der Hochschule Harz im FB Automatisierung und Informatik	Energieberatung für Wohngebäude und Unternehmen Ökobilanzierung und nachhaltige Entwicklung Auslegung von PV-Anlagen
33 CIS Institut für Mikrosensoren gGmbH	Erfurt	Thüringen	optische, kapazitive, piezoresistive Sensoren und Sensorsysteme	F&E-Dienstleistungspartner, Entwicklung von Mikrosensorklösungen Mikrosystementwicklung, -kalibrierung, -design, Wafer-, Chip- und Prozesstechnologie, Aufbau- und Verbindungstechnik, Festkörperanalytik und Partikelmessung, Mess- und Prüftechnik
34 Fachhochschule Nordhausen	Nordhausen	Thüringen	Ingenieurwissenschaften, Technische Informatik, Regenerative Energietechnik	Diplomstudiengang Regenerative Energietechnik
35 Fachhochschule Schmalkalden	Schmalkalden	Thüringen	Elektrotechnik, Maschinenbau, Informationstechnik, Solar: Fachbereich Systeme	Antriebs-, Steuer- & Regelungstechnik, Prozessautomatisierung, Leistungselektronik, Technische Mechanik, Fertigungstechnik, Werkzeugmaschinen, Getriebetechnik/ Konstruktion u.a. Highlight-Projekt "Solar"
36 Friedrich Schiller Universität Jena - Institut für Festkörperphysik	Jena	Thüringen	Physik	Festkörperphysik: Festkörperspektroskopie, Ionenstrahlphysik, Photovoltaik, Labor-Astrophysik, Physik dünner Schichten, Tieftemperaturphysik
37 Institut für Mikroelektronik und Mechatronik-Systeme IMMS (An-Institut Ilmenau der TU Ilmenau)	Ilmenau	Thüringen	gemeinnützige Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft - Mechatronik und Mikroelektronik	Präzisionsantriebe, Schaltungstechnik, komplexe mechatronische Systeme, Mechatronik, Mikroelektronik, Systemtechnik, Digitale Signalverarbeitung
38 IPHT (ehem.) Institut für Physikalische Hochtechnologie	Jena	Thüringen	Forschungsfelder Photonische Instrumentierung und Optische Fasern & Faseranwendungen	Magnetik, Materialcharakterisierung, Messtechnik, Mikrosysteme, Lasertechnik, Optik
39 TU Ilmenau - Institut für Physik	Ilmenau	Thüringen	Fachbereich Physik, Fachbereich Energietechnik	Institut für Experimentalphysik: entwickelt Solarzellen auf Polymerbasis (Prof. Gobsch)
40 TU Ilmenau - Zentrum für Mikro- und Nanotechnologien (ZMN)	Ilmenau	Thüringen	Technologie-Plattform im Bereich der Mikro- und Nanosysteme, Dienstleistungen gegenüber Dritten	verschiedene Reinräume, Bearbeitung von pyro- und piezoelektrische Halbleiter für die Sensorik, Polymere für Solarzellen und Transistoren, Keramiken für die Hybrid-Technik und die gesamte Silizium-Technologie

Tabelle A7: Übersicht über Förderprogramme und -konditionen im Land Brandenburg

Quelle: ILB 2006

Programm	Förderart	Förderanteil (max.) Beträge in EUR	Zins/ Auszahlung (% in Jahren p.a./%)	Max. Laufzeit (% in Jahren)	Tilgungs- freie Jahre	Bagatell- grenze in EUR
Beratung	Zuschuss	bis zu 50%, max. 50.000				2.500
GA-Gewerbe (GA-G)	Zuschuss	Ab 17,5% - 50%				15.000
ILB- Wachstums- programm: Kooperations- darlehen für den Mittelstand	Darlehen	Finanzierungsanteil ILB: max. 50% mind. 500.000 max. 5 Mio	Markttüblich (Zinssatz der Hausbank) / 100% abzgl. Berarb.gebühr	i.d.R. bis zu 10		Mindest-betrag ILB-Anteil 500.000
Impuls	Zuschuss	50%, 150.000 pro Netzwerk, dav. Netzwerk- manager max. 35%				25.000
Markterschließung	Zuschuss	Bis zu 50%, max. 50.000 (für Messen max. 15.000)				2.500
Innovationsassistent für KMU	Zuschuss	1. J. Bis zu 50 %, 50%, max. 20.000 € 2. J. 40%, max. 10.000 €				2.500
Forschung und Entwicklung von KMU	Zuschuss	Forschung bis zu 75% Entwicklung bis zu 50% max. 200.000				
Forschung und Entwicklung Große Richtlinie	Zuschuss	Industrielle Forschung bis zu 65% Vorwettbewerbliche Entwicklung bis zu 40%; max. 2.500.000	Markttüblich (Zinssatz der Hausbank)/ 100 % abzgl. Bearb.-geb.	i.d.R. bis zu 10		Mindestbe- trag ILB-Anteil 500.000
Innovationsfonds	Darlehen Beteiligung	40%; max. 255.000	Auf Anfrage 100	10	2	5.000
Technologietransfer	Zuschuss	75%, max. 100.000; für Technologie- zentren 150.000				2.500

