



**ColorSol -
Nachhaltige
Produktinnovationen
durch Farbstoffsolarzellen**

Erfolgsfaktoren von Produkt- innovationen in der Solarwirtschaft

Internationale Fallstudien zu Innovationssystemen am Beispiel von Farbstoffsolarzellen

Severin Beucker
Klaus Fichter
Claus Lang-Koetz
Andreas Hinsch

© 2008 ColorSol-Konsortium

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Ausgangssituation.....	3
1.2	Vorgehensweise und Hypothesen.....	4
2	Innovationssysteme und Innovationsprozesse: Ein konzeptioneller Rahmen	6
2.1	Der Innovationsprozess	6
2.2	Innovationssystem als interaktives Mehrebenenmodell:	11
2.3	Elemente des Innovationssystems.....	14
2.4	Herleitung einer Untersuchungsstruktur für die Fallstudien.....	17
3	Die Farbstoffsolarzellentechnologie und ihre Innovationssysteme	19
3.1	Technologie der Farbstoffsolarzelle	19
3.2	Auswahl der Fallstudien und der analysierten Innovationssysteme	20
4	Das Farbstoffsolarzellen-Innovationssystem in Japan	21
4.1	Umfeld und Rahmenbedingungen der Photovoltaik in Japan	21
4.1.1	Politische Zielsetzungen und Förderung regenerativer Energien	21
4.1.2	Einführungsprogramme und Förderung von Photovoltaik	23
4.1.3	Japanischer PV-Markt.....	27
4.2	Entstehung und Innovationsprozess Farbstoffsolarzelle	30
4.3	Innovationsakteure und –netzwerke.....	32
4.3.1	Unternehmen	32

4.3.2	Universitäten und weitere Forschungseinrichtungen.....	39
4.3.3	Verbände und Organisationen	41
4.3.4	Politik und Staat.....	43
4.4	Anwendungs- und Marktperspektiven	45
4.5	Stärken und Schwächen im Vergleich zu anderen FSZ- Innovationssystemen	47
4.6	Fazit	51
5	Das Farbstoffsolarzellen-Innovationssystem der australischen Firma Dyesol	55
5.1	Umfeld und Rahmenbedingungen der Photovoltaik in Australien	55
5.2	Entstehung und Innovationsprozess Farbstoffsolarzelle	58
5.3	Das Innovationsnetzwerk von Dyesol	59
5.4	Anwendungs- und Marktperspektiven, Stärken und Schwächen.....	63
5.5	Fazit	64
6	Schlussfolgerungen.....	67
7	Quellen.....	72

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Ein wichtiges Ziel des Forschungsprojektes ColorSol ist die Erfassung von Erfolgsfaktoren von Produktinnovationen in der Solarwirtschaft, um daraus Erkenntnisse für die erfolgreiche Entwicklung und Kommerzialisierung der Farbstoffsolarzellentechnologie abzuleiten.

Während die Solarwirtschaft mit ihren unterschiedlichen technischen Ansätzen, Märkten sowie (umwelt-)politischen Rahmenbedingungen bereits in einem eigenen Bericht analysiert wurde (siehe Beucker, Fichter 2007), so stehen im vorliegenden Fall innovationstheoretische Fragestellungen bei der Entwicklung von Farbstoffsolarzellen im Mittelpunkt. Dabei ist insbesondere von Interesse, welche Rolle F&E-Verbände, die Zusammenarbeit mit trendführenden Kunden sowie die regionale und thematische Fokussierung in der Solarwirtschaft spielen, und welche Rückschlüsse daraus über die Leistungsfähigkeit des Innovationsprozesses und die Erfolgsfaktoren von Produktinnovationen gezogen werden können.

Die Solarwirtschaft bietet hierfür ein besonders geeignetes Analysefeld, da es sich im Vergleich mit traditionellen Industrien um eine junge Branche mit spezifischen Markt- rahmenbedingungen handelt. Zudem ist bisher wenig über die betrieblichen und zwischenbetrieblichen Innovationsprozesse sowie die Wirkungsmechanismen und Einflussfaktoren ihres Innovationssystems bekannt. Dies gilt auch für die wechselseitigen Wirkungen und Beeinflussungen privatwirtschaftlicher, politischer und staatlicher Initiativen zur Förderung und Unterstützung innovativer Technologien aus der Solarwirtschaft, die einen maßgeblichen Einfluss auf deren marktlichen Erfolg haben können.

Vor diesem Hintergrund wird im Projekt ColorSol am Beispiel der Farbstoffsolarzellentechnologie eine Untersuchung von zwei Innovationssystemen der Solarwirtschaft in Japan und Australien im Rahmen von Fallanalysen durchgeführt, da diese Regionen derzeit, neben den eigenen Arbeiten in ColorSol, die Spitzenstellung in der Forschung auf dem Gebiet der Farbstoffsolarzellen einnehmen, jedoch grundsätzlich unterschiedliche Kommerzialisierungsstrategien verfolgen. Aus dem Vergleich der Erfolgsfaktoren dieser unterschiedlichen Vorgehensweisen sollen schließlich Gestaltungsempfehlungen für den projekteigenen Innovationsprozess sowie Hinweise zur Überwindung von Innovationsbarrieren abgeleitet werden.

1.2 Vorgehensweise und Hypothesen

Das vorliegende Dokument untersucht die zwei genannten Innovationssysteme der Solarwirtschaft. Für die Fallanalysen werden qualitative, leitfadengestützte Interviews mit Vertretern der betreffenden Unternehmen sowie relevanten Akteuren des jeweiligen Innovationssystems geführt (z. B. Kooperationspartnern, Zulieferern, Vertretern von politischen und staatlichen Institutionen). Darüber hinaus werden Literatur und Informationen aus der Presse und dem Internet ausgewertet.

Für die Analyse der zwei Innovationssysteme wurden die folgenden Hypothesen entwickelt, die im Rahmen der Fallanalysen überprüft werden sollen:

Akteure

A1: In jedem Innovationsprozess lassen sich Schlüsselakteure (z. B. Einzelpersonen, Gruppen oder auch Netzwerke) identifizieren, die maßgeblich an der Entstehung und der erfolgreichen Durchsetzung einer Innovation beteiligt sind.

A2: Neben den notwendigen Ressourcen und fachlichen Kompetenzen ist insbesondere die Rolle und Funktion des unternehmerischen Akteurs (Entrepreneur) und seine Interaktion mit den anderen Akteuren während des Innovationsprozesses von entscheidender Bedeutung für den Erfolg.

Innovationsnetzwerk

I1: Der Erfolg einer Innovation hängt von der Zusammensetzung und der Form und Intensität der Interaktion der jeweiligen Akteure in einem Netzwerk (Innovation Community) ab.

I2: Die frühzeitige Einbindung von trendführenden Nutzern ergänzt das Innovationsnetzwerk um wichtige Akteure, die durch das Einbringen ihre Anforderungen die Absatzchancen eines zukünftigen Produktes verbessern.

Umfeld und Rahmenbedingungen

U1: Der Markterfolg von neu entwickelten Produkten hängt in der Solarwirtschaft noch stark von staatlichen gesetzten Rahmenbedingungen (z. B. Einspeisevergütung, Emissionshandel, Förderprogramme) ab. Es besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen langfristig ausgerichteten Rahmenbedingungen, der strategischen Produktplanung und dem Erfolg von Produktinnovationen in der Solarwirtschaft.

U2: Ein wesentlicher Erfolgsfaktor für Produktinnovationen der Solarwirtschaft liegt in der spezifischen Kenntnis unterschiedlicher nationaler Märkte und ihrer Rahmenbedin-

gungen sowie der Adaption des Produktes der Vermarktungsstrategie an diese Rahmenbedingungen.

2 Innovationssysteme und Innovationsprozesse: Ein konzeptioneller Rahmen

Als theoretische Grundlage für die empirische Untersuchung ausgewählter Innovationssysteme der Solarwirtschaft wurde das nachstehende Beschreibungs- und Erklärungsmodell entwickelt. Zwei Überlegungen sind für dessen Architektur maßgeblich: Erstens ist die Perspektive und Erkenntnis der jüngeren Forschung eingearbeitet, dass Innovationen in ein Innovationssystem eingebettet sind. Das von Steger angebotene Modell für Nachhaltigkeitsinnovationen im Energiebereich unterscheidet dabei zwischen (1) den Innovationsdeterminanten, (2) dem Innovationsprozess und (3) den Innovationswirkungen.¹ Aus Sicht einer interaktionsorientierten Innovationsforschung (Fichter, Antes 2007) kann abgeleitet werden, dass die beteiligten Akteure in ihrer Interaktion untereinander und mit den organisationalen und institutionellen Kontexten maßgebliche Elemente eines Innovationssystems sind. In unserem Modell werden diese Elemente nun zusammengeführt, wobei wir, um die wechselseitige Beziehung mit den Akteuren explizit zu machen, den Begriff „Determinanten“ durch „Einflussfaktoren“ der Innovation ersetzen. Außerdem wird das Spezifikum „nachhaltiger“ Innovationen durch ein zusätzliches Systemelement, den Nachhaltigkeitsanforderungen, abgebildet. Zweitens gehen wir davon aus, dass sich in räumlich-vertikaler Perspektive verschiedene Innovationsebenen identifizieren lassen. Konkret unterscheiden wir drei Ebenen von Innovationssystemen. Über einzelne Systemelemente sind diese Ebenen verknüpft.

2.1 Der Innovationsprozess

Für die Betrachtung von Innovationssystemen ist zunächst eine konzeptionelle und begriffliche Klärung des Prozessbegriffs von Innovationen notwendig, da es sich im Fall der Farbstoffsolarzellentechnologie um komplexe organisations- und grenzüberschreitende Prozesse handelt.

In der Forschung hat ein starker Wandel von einem weitestgehend linearen Prozessansatz hin zu einem dynamischen Verständnis von Innovationsprozessen stattgefunden. Mit steigender Dynamik und Komplexität rückt die zeitliche Dimension sowie die Beschreibung und Erklärung von Prozessverläufen und Prozessereignissen von Innovationen in den Mittelpunkt des wissenschaftlichen Interesses. Mit dem Wandel vor-

¹ vgl. Steger u.a. 2003, 23.

herrschender Unternehmensstrategien seit den 50er Jahren² verschiebt sich auch die Wahrnehmung und Modellierung des Innovationsprozesses in der Wissenschaft. Rothwell unterscheidet fünf Generationen von Innovationsprozessmodellen.³ Diese reichen von einfachen linearen Modellen des Technology Push (1950er bis Mitte 60er Jahre) und des Market Pull (Ende der 60er Jahre), über „gekoppelte Modelle“ (70er Jahre), parallele Modelle (80er Jahre) bis hin zur fünften Modell-Generation, die insbesondere die intra- und interorganisationale Systemintegration (funktionsübergreifende Entwicklungsteams, Pionierkundenintegration, Technologie-Netzwerke etc.) und die vertikalen und horizontalen Innovationsnetzwerke konzeptualisiert. Die fünfte Modell-Generation beschäftigt sich außerdem umfangreich mit flexiblen und flacheren Organisationsstrukturen, der Unterstützung von Produkt-Champions und Projektleitern sowie der informationstechnischen Unterstützung unternehmensinterner und unternehmensexterner F&E-Prozesse (CAD, Virtual und Rapid Prototyping, Produktdatenmanagement, Internet- und Intranetanwendungen etc.).

Tabelle 1: Rothwells Klassifikation von Innovationsprozessmodellen (Quelle: Zusammenstellung auf Basis von Rothwell 1994, 40 ff)

Generation	Zentrale Merkmale
1. Technology Push (50er/60er Jahre)	Einfache lineare Modelle, wissenschaftliche Erfindungen als Ausgangspunkt
2. Market Pull (Ende 60er Jahre)	Einfache lineare Modelle, Kundenbedarfe und Marktnachfrage als Ausgangspunkt
3. Gekoppelte Modelle (70er Jahre)	Lineare Abfolge funktional abgrenzbarer Innovationsphasen, die allerdings voneinander abhängig sind, in Wechselbeziehung stehen und „Feedback loops“ berücksichtigen.
4. Parallelmodelle (80er Jahre)	Innovationsschritte vollziehen sich z. T. parallel. Hohe Überlappung verschiedener Innovationsaufgaben und -funktionen. Integration innerhalb des Unternehmens, „upstream“ mit Schlüssellieferanten und „downstream“ mit anspruchsvollen und aktiven Kunden, Betonung von Vernetzung und Allianzen
5. Systemintegration und Networking (90er Jahre plus)	Intra- und interorganisationale Systemintegration, extensives Networking, flexible und flache Organisationsstrukturen, kundenindividuelle Antworten, Innovation als Daueraufgabe, Beschleunigung von Innovationsprozessen, Zeitwettbewerb, IT- Unterstützung des Innovationsprozesses

Der fünften Generation von Prozessmodellen kann ein von van de Ven et al. (1999) auf Basis empirischer Längsschnittanalysen entwickeltes Modell zugeordnet werden. Die-

² Vgl. ebd. 39.

³ Ebd. 40 ff.

se darf als eines der bislang differenziertesten Konzeptionen von Innovationsprozessen gelten und soll im Weiteren kurz skizziert werden.

Als Ergebnis langjähriger empirischer Studien über die Entwicklungsverläufe von Innovationen stellen Van de Ven et al. eine erweiterte und im Vergleich zu anderen Modellen weniger deterministische Sicht des Innovationsprozesses vor. Das aus dem Minnesota Innovation Research Program (MIRP) hervorgegangene Innovationsprozessmodell trägt der gestiegenen Dynamik und Komplexität von Innovationsprozessen Rechnung und entspricht damit relevanten Prozessmerkmalen wie Dynamik, Komplexität und Nichtlinearität (Brüche, Rückkoppelungen etc.). Wichtige Erkenntnisse aus deren empirischen Längsschnittstudien sind (Van de Ven/Polley/Garud/Venkataraman 1999, 21-66):

Reifephase: Der Innovationsprozess beginnt zumeist mit einer "Reifungsphase", die mehrere Jahre dauern kann und die z. T. durch zufällige Ereignisse die "Bühne" für einen Innovationsprozess schafft. Entgegen der üblichen Perzeption des Innovationsprozesses, der mit der Ideengewinnung bzw. der Initiierung beginnt, erweitert sich damit die Analyse um den vorgängigen Reifungsprozess.

Schocks: Innovationsbemühungen werden in der Regel durch "Schocks" ausgelöst (Umsatzprobleme, öffentliche Kritik, persönliche Schlüsselerlebnisse usw.)⁴. Diese „Schocks“ werden von relevanten Innovationsakteuren als Divergenzen zwischen Ist und Soll wahrgenommen und können sich sowohl auf strategische Referenzpunkte beziehen, die bereits im Blickfeld des Unternehmens waren, als auch auf solche, die bislang „blinde Flecken“ darstellten⁵.

Pläne: Das Ende der Initiierungsphase und der Beginn der Entwicklungsphase sind durch die Aufstellung von Projektplänen und Projektbudgets gekennzeichnet. Da die Initiatoren in der Regel nicht über die erforderlichen finanziellen und personellen Ressourcen zur Durchführung zumeist mehrjähriger Entwicklungsprojekte verfügen, sind diese auf „resource suppliers“ (Top-Management oder externe Kapitalgeber) angewiesen.

Proliferation: Nach der Initiierung eines Innovationsprojektes entwickelt sich eine zumeist einfache Ausgangsidee schnell in ein komplexes Gebilde paralleler und unterschiedlich verknüpfter Teilprozesse, die keiner linearen Logik von Phasen und Unter-

⁴ Vgl. Fichter/Arnold 2003, 30 ff.

⁵ Die Charakterisierung des Auslöseimpulses als „Schock“ ist kompatibel mit den Erkenntnissen der Divergenzforschung, nach der überraschende Veränderungen eine wesentlich höhere Chance haben, eine Innovationsinitiative auszulösen, als schleichender Wandel; vgl. Hauschildt 2004, 293.

phasen folgen. Ausgangsideen entwickeln sich zu Bündeln von Innovationsideen oder zerteilen sich in divergierende Pfade von Aktivitäten unterschiedlicher Abteilungen oder Gruppen im Unternehmen. Der Entwicklungsprozess stellt sich somit als „Feuerwerkmodell“ dar (vgl. **Abbildung 1**).

Rückschläge: Innovationsprozesse sind durch vielfältige Rückschläge gekennzeichnet. Diese haben vielfältige Rückwirkungen auf parallele oder nachfolgende Teilprozesse. Viele Rückschläge führen nicht zu Veränderungen, da Lernbarrieren dies verhindern. Im Mehrebenenmodell können solche Rückschläge z. B. ausgelöst werden durch veränderte Wahrnehmungen und Erwartungen bezüglich der Innovationswirkungen.

Kriterienwechsel: Die anfänglichen Grundannahmen und Erfolgskriterien können sich im Verlauf des Innovationsprozesses verändern – auch dies kann im Mehrebenenmodell durch veränderte Wahrnehmungen und Erwartungen bezüglich der Innovationswirkungen ausgelöst werden - und unterscheiden sich zwischen den Entrepreneuren und denjenigen, die die Ressourcen kontrollieren („resource controllers“).⁶

„Fließende“ Teilnahme von Mitarbeitern: Mitarbeiter sind oftmals nur mit einem Teil ihrer Arbeitszeit in ein Innovationsprojekt involviert und müssen parallel dazu noch operative Routineaufgaben erledigen. Vielen fehlt es dabei an Erfahrungen mit Innovationsprojekten. Außerdem wechseln die Teammitglieder im Verlauf des Entwicklungsprozesses in erheblichem Umfang, so dass das gängige Bild, wonach ein Unternehmer oder Projektverantwortlicher mit einem festen Team full-time das gesamte Innovationsprojekt durchführt, nicht der Realität entspricht. Der Teilnehmerkreis ist wesentlich „fließender“ oder „flüchtiger“ als allgemein angenommen.

Heterogene Führungsrollen / Promotoren: Die Führungsrollen in Innovationsprozessen wechseln in Abhängigkeit von den Erfolgsbedingungen und den organisationalen Settings. Top-Management und Investoren können dabei sowohl als Sponsor, Mentor oder Kritiker als auch als institutionelle Führer in Erscheinung treten. Eine erfolgreiche Prozessgestaltung setzt ein differenziertes Verständnis und eine situativ angemessene Rollenverteilung voraus.

Komplexe Akteursnetze: Im Zuge der Entwicklung und Realisierung von Innovationen entstehen komplexe Netzwerke von Austauschbeziehungen. Bilaterale Beziehungen sind dabei deutlich komplexer, interdependenter und dynamischer, als es die Literatur zu Geschäftstransaktionen (Verhandlung, Vereinbarung, Ausführung) suggeriert.

⁶ Vgl. Van de Ven et al. 1999, 40-44; vgl. auch die Growian-Fallstudie von Hauschild/Pulczynski 1995.

Infrastrukturen: Branchennetzwerke und Verbände spielen eine wesentliche Rolle dabei, die für ein neues Technologiefeld oder einen neuen Markt notwendigen rechtlichen Rahmenbedingungen, technischen Normen, Markteinführungsprogramme etc. zustande zu bringen. Diese Branchennetzwerke sind dabei durch das Paradox von Kooperation und Wettbewerb gekennzeichnet („co-opetition“).⁷

Adoption: Die hohe Bedeutung von Akteursinteraktionen zeigt sich auch bei der Realisierung von Innovationen. Hier werden die entwickelten Lösungen von den Adoptoren „nochmals erfunden“ bzw. auf ihre individuellen oder regionalen Bedürfnisse angepasst („reinvention“).

Beendigung: Innovationen enden, wenn sie implementiert bzw. institutionalisiert sind, oder wenn sie scheitern, weil die erforderlichen Ressourcen fehlen. Bei der Erklärung von Erfolg oder Misserfolg nehmen Innovatoren und Ressourcen-Controller (Top-Management, Investoren) je nach Rolle und Ausgang des Innovationsprozesses unterschiedliche Zuschreibungen vor. Dafür wurden im Rahmen der Attributionsforschung mittlerweile geeignete Zuschreibungskonzepte vorgelegt.⁸

Das Modell von Van de Ven et al. kann als „Feuerwerksmodell“ charakterisiert werden, da sich die Prozessverläufe, die sich „wild“ aufteilen und neu verbinden, dem Bild eines Feuerwerks gleichen. Das Modell fasst wesentliche Merkmale des Innovationsprozesses zusammen und kann damit als konzeptionelle Grundlage für die Beschreibung und Erklärung von komplexen Innovationen herangezogen werden.

⁷ Vgl. Miklis 2004.

⁸ Vgl. Van de Ven et al. 1999: 58-62.

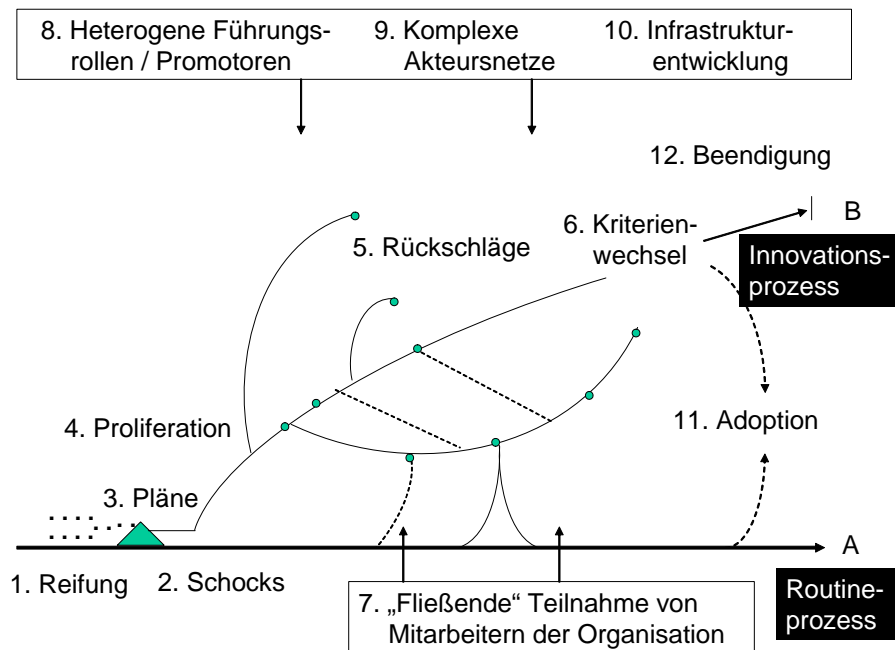


Abbildung 1: Schlüsselkomponenten des Innovationsprozesses: Das Feuerwerksmodell (Quelle: Van de Ven et al. 1999, 25, Übersetzung und Ergänzung von den Verfassern)

2.2 Innovationssystem als interaktives Mehrebenenmodell:

Innovationen sind das Ergebnis sozialer Systeme (und umgekehrt). Zunächst und insbesondere auf nationaler Ebene wurde hiervon ausgehend die Idee und Konzeption des Innovationssystems entwickelt.⁹ Der Kerngedanke besteht darin, dass die technologische Leistungsfähigkeit („Innovationskapazität“) eines Landes oder einer Region durch bestimmte Elemente dieses Systems und deren Zusammenspiel maßgeblich beeinflusst wird. Der folgende Kasten gibt eine Übersicht über einschlägige Definitionen.

⁹ Die Grundkonzeption wird bis auf List und seiner Untersuchung des nationalen Systems der politischen Ökonomie (1841) zurückgeführt. Die neuere Forschung setzt Ende der 80er Jahre mit den Arbeiten von Freeman (1987), Lundvall (1988) und Cooke 1998 ein.

Tabelle 2: Einschlägige Definitionen des Konstrukts Innovationssystem

„The network of institutions in the public and private sectors whose activities and interactions initiate, import, modify and diffuse new technologies may be described as national systems of innovation.“ (Freeman 1987: 1)

„The market and non-market institutions in a country that influence the direction and speed of innovation and technology diffusion can be said to constitute a national innovation system. Innovation systems also exist at other levels, e.g. there are world-wide, regional or local networks of firms and clusters of industries.“ (OECD 1999: 23)

„Mit dem Begriff nationales Innovationssystem wird somit versucht, die Gesamtheit der innovationsdeterminierenden Akteure und institutionellen Rahmenbedingungen in einem Land zu erfassen.“ (Burr 2004: 16)

„Die Gesamtheit dieser interdependenten institutionellen und organisatorischen Elemente wird als Innovationssystem bezeichnet.“ (Philipsenburg 2005: 46)

Das Hauptaugenmerk der Forschung liegt – seit ihrem Ursprung – auf nationalen Innovationssystemen. Die OECD-Definition weist darauf hin, dass auch weitere Ebenen untersucht werden. Neben Innovationssystemen auf supra-/internationaler und sektoraler Ebene haben in jüngerer Zeit insbesondere regionale/lokale Innovationssysteme verstärkt Forschungsinteresse auf sich gezogen.¹⁰ Nur randständig und von wenigen Autoren wird das Konstrukt auf die betriebliche Ebene übertragen.¹¹ Zu beobachten ist weiterhin, dass die Autoren in der Regel eine bestimmte Innovationssystemebene ausschließlich betrachten, das heißt Beziehungen zu anderen Innovationssystemebenen ausblenden. Dies geschieht auch dann, wenn weitere Ebenen identifiziert werden. Selten nur werden systemebenenübergreifende Innovationswirkungen thematisiert. Ein bemerkenswertes Beispiel liefern hier die beiden einzigen Innovationsmanagement-Lehrbücher, die bislang das Konstrukt des Innovationssystems überhaupt aufgreifen. Burr (2004) stellt im einleitenden Kapitel das Konzept nationaler Innovationssysteme vor, ohne dass dies allerdings in den weiteren Ausführungen auf die betriebliche Ebene heruntergebrochen wird. Genau umgekehrt geht Hauschildt (2004) vor, indem er ausführlich ein Innovationssystem der Unternehmung entwirft, auf die Darstellung von regionalen, sektoralen oder nationalen Innovationssystemen und ihrer Interaktionen mit dem betrieblichen Innovationssystem dagegen verzichtet.

Die vorliegende Untersuchung weist bezüglich des Innovationssystems die folgenden bestimmenden Merkmale auf:

¹⁰ Vgl. Gerstlberger 2004, 2006.

¹¹ Eine Ausnahme bildet Hauschildt, der die dritte Auflage seines Lehrbuchs „Innovationsmanagement“ gegenüber der zweiten Auflage just um ein ausführliches (drittes) Kapitel „Das Innovationssystem der Unternehmung“ erweitert und als wesentliche Elemente, neben den Menschen die Innovationskultur, die Spezialisierung und die Koordination der Innovationstätigkeit identifiziert; vgl. Hauschildt 2004: 93-154; zuvor Kühner 1990 und Weissenberger-Eibl 2003.

1. In Anlehnung an erste betriebswirtschaftliche Arbeiten (Kühnen 1990, Greiling 1998, Hausschild 2004) wird davon ausgegangen, dass sich das Konstrukt des Innovationssystems auch auf Unternehmensebene abbilden lässt und fruchtbare Einsichten für das Innovationsmanagement erwarten lässt.
2. Wir gehen von einem Mehrebenenmodell aus, dessen Ebenen sich gegenseitig beeinflussen. Innovationssysteme können also grundsätzlich auf verschiedenen Ebenen identifiziert werden. Zwischen diesen Ebenen können weiterhin Interaktionen beobachtet werden. Das Modell erlaubt demnach, das Wechselspiel zwischen Systemelementen verschiedener Ebenen zu beschreiben und zu analysieren, etwa die Beziehungen von Schlüsselakteuren auf verschiedenen Ebenen (vgl. dazu auch den Punkt *Komplexe Akteursnetze* im vorangegangenen Kapitel).
3. Das Untersuchungsmodell besteht aus drei Ebenen von Innovationssystemen (vgl. Abbildung 2). Auf der Makroebene werden die räumlichen und branchenbezogenen Einflüsse auf die Innovationsaktivitäten der Solarwirtschaft erhoben. Dazu zählen der Einfluss von Politik und gesellschaftlichen Gruppen sowie die Zusammenarbeit auf Branchenebene national und länderübergreifend. Die Mesoebene bildet Innovationskooperationen in Netzwerken und entlang von Wertschöpfungsketten ab. Auf der Mikroebene schließlich wird der einzelne Innovationsakteur betrachtet. Wir erwarten daher, dass regionale Innovationssysteme (auch: regionale Cluster, organisationale Felder¹²) nicht oder nur von untergeordneter Bedeutung sind und heben sie in den drei anderen Ebenen auf.

¹² Als organisationales Feld definieren DiMaggio/Powell: „By organizational field we mean those organizations that, in the aggregate, constitute a recognized area of institutional life: key suppliers, resource and product consumers, regulatory agencies, and other organizations that produce similar services or products.“ (1991/1983: 64f.).

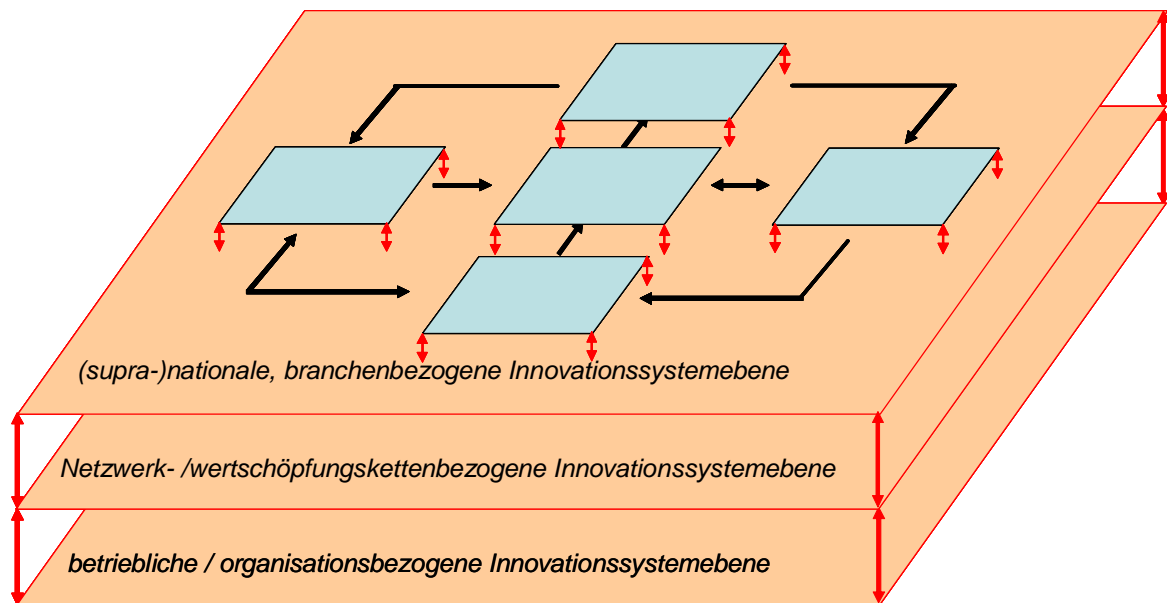


Abbildung 2: Mehrebenenmodell der Innovationsinteraktionen (Quelle: Eigene Darstellung)

2.3 Elemente des Innovationssystems

In nahezu allen Konzeptionen von Innovationsprozessen und Innovationssystemen werden die Akteure und ihre Interaktionen als zentrales Element des Innovationssystems gesehen.¹³ Auch auf Basis des oben skizzierten interaktiven Innovationsverständnisses kommt den *Akteuren* des Innovationsprozesses eine zentrale Rolle bei der Erklärung der Durchsetzungsfähigkeit von Neuerungen zu. Vor diesem Hintergrund wird in der vorliegenden Untersuchung der Bedeutung von Schlüsselakteuren, Netzwerken und deren Interaktionen entlang des Innovationsprozesses (siehe

Abbildung 3) besondere Aufmerksamkeit geschenkt und diese als eigenständige Untersuchungskategorie betrachtet.

Als weiteres zentrales Element werden die auf den Innovationsprozess wirkenden Einflussfaktoren analysiert. Diese sind in Anlehnung an das Multiimpulsmodell (Fichter et al. 2007) in

Abbildung 3 dargestellt und bestehen aus den folgenden externen Einflussfaktoren:

¹³ Als Ausnahme vgl. Kühner (1990: 40), der betriebliche Innovationssysteme primär über ihre primäre Organisationsstruktur und sekundär über ihre Projektstruktur definiert.

- *Technology Push*: Zu den zentralen Treibern im Innovationsgeschehen zählen Basisinnovationen (Pleschak/Sabisch 1996, 4). Durch die Anwendung von Schrittmacher- und Schlüsseltechnologien, wie z. B. der Entwicklung von Farbstoffen, Substraten oder Beschichtungstechnologien ergeben sich neue Wirkprinzipien und Anwendungsmöglichkeiten von Photovoltaik. Diese lösen im Innovationswettbewerb einen technologischen Veränderungsschub aus.
- Unter dem Begriff des *Market Pull* können alle Nachfrageveränderungen zusammengefasst werden, die ein Unternehmen zu Innovationsbemühungen veranlassen. Dazu zählen z. B. der Rückgang der Nachfrage für ein bestimmtes Produkt, ein sich verschärfender Kostenwettbewerb (z. B. aufgrund steigender Preise für Silizium) mit sinkenden Gewinnmargen als auch die Veränderung umwelt- und gesundheitsbezogener Kundenanforderungen.
- Unter *regulativem Druck* werden hier alle staatlichen und suprastaatlichen Regulationen gefasst, die einen Veränderungsdruck auf die Akteure einer Wertschöpfungskette ausüben. Der Druck kann dabei sowohl durch die politische Debatte, die Ankündigung von Regelungen¹⁴ als auch durch das tatsächliche Verabschieden und In-Kraft-Treten entsprechender Gesetze, Verordnungen oder Richtlinien ausgelöst werden.
- Unter dem Begriff *regulativer Zug* werden zwei Arten staatlicher Anreize für Neuerungen zusammengefasst. Zum einen werden solche gesetzlichen Regelungen dazu gezählt, die keinen direkten, sondern eher einen indirekten Veränderungsanreiz schaffen. So können gesetzliche Regelungen zum anlagen- oder arbeitsplatzbezogenen Umwelt- und Gesundheitsschutz indirekt Gefahrstoffsubstitutionen auslösen. Zum anderen fungieren alle staatlichen Förder¹⁵- und Forschungsprogramme, die einen Anreiz für die Marktakteure zur Entwicklung oder Einführung neuer umweltschonender Technologien oder Produktnutzungen schaffen, als regulativer Zug.
- Auch der *zivilgesellschaftliche Push* kann in bestimmten Branchen und Situationen eine bedeutende Rolle bei der Initiierung und Durchsetzung von Nachhaltigkeitsinnovationen spielen. Umwelt-, Menschenrechts- oder Verbraucherschutzorganisationen, aber auch wissenschaftliche Einrichtungen können im Zusammenspiel mit den Medien durch eine öffentliche Skandalisierung von Stoffen, Verfahren oder

¹⁴ Auf die zentrale Bedeutung vor-regulativer Signale weisen insbesondere Ahrens et al. (2003, 6) hin. Klemmer/Lehr/Löbke (1999, 81) unterstreichen, dass das Ordnungsrecht seine wesentliche Wirkung über Ankündigungseffekte entfaltet.

¹⁵ Ein Beispiel hierfür ist das Erneuerbare-Energien-Gesetz, welches die Abnahme und Vergütung von Strom aus regenerativen Energiequellen regelt und die Marktdurchdringung entsprechender Technologien fördern soll.

Produkten enormen Einfluss auf das Innovationsgeschehen nehmen. „Es lohnt sich also, sich dieser Akteursgruppe und ihren Einflussmöglichkeiten genauer zu widmen.“¹⁶

- Unter dem Begriff des *Vision Pull* werden hier unternehmensübergreifende Visionen, Leitbilder, Szenarien, Strategien oder Handlungsgrundsätze zusammengefasst, die die Akteure in der Wertschöpfungskette zu Innovationsinitiativen stimulieren oder die Ausrichtung des Innovationsgeschehens maßgeblich beeinflussen. Dabei kann es sich um nationale Zielsetzungen und Nachhaltigkeitsleitbilder¹⁷ oder um branchenbezogene oder branchenübergreifende Codes of Conduct¹⁸ und Roadmapping-Initiativen¹⁹ handeln.

Bei dem skizzierten Modell unternehmensexterner Einflussfaktoren wird der Multi-Impuls-Hypothese gefolgt. Diese besagt, dass Innovationen nicht einzelnen, sondern immer mehreren Einflussfaktoren unterliegen (siehe hierzu auch Fichter et al. 2007).

Das in

Abbildung 3 dargestellte Innovationssystem Farbstoffsolarzelle besteht somit aus dem einem organisationsübergreifenden Akteurssystem, dargestellt durch den grauen Kasten, und den externen Einflussfaktoren. Beide sind Gegenstand der folgenden Analyse.

¹⁶ Ahrens et al. 2002, 14.

¹⁷ Ein Beispiel ist die nationale Chemiestrategie in Schweden oder den Niederlanden. Vgl. Ahrens et al. 2003, 4.

¹⁸ Codes of Conduct“ sind freiwillige Selbstverpflichtungen, mit denen sich Unternehmen einem bestimmten System von Verhaltenskodizes unterwerfen. Dazu zählt z. B. der von der UNO initiierte „Global Compact“ (www.unglobalcompact.org, Referenz vom 22.02.04).

¹⁹ Vgl. Behrendt 2002.

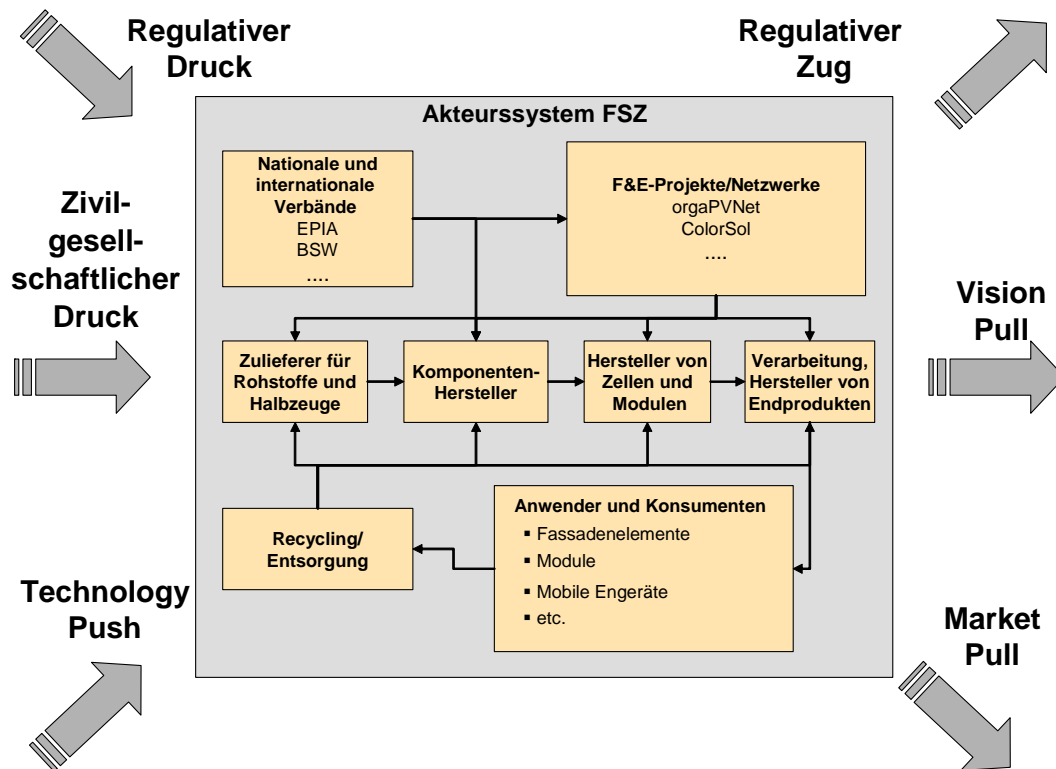


Abbildung 3: Elemente eines Innovationssystems Farbstoffsolarzelle (Quelle: Eigene Darstellung)

2.4 Herleitung einer Untersuchungsstruktur für die Fallstudien

Im Zentrum der vorliegenden Analyse stehen das Innovationssystem der Farbstoffsolarzelle und die auf es wirkenden Einflussfaktoren. In die Analyse einbezogen werden die wichtigen Akteurssysteme in Japan und Australien, die zu den am stärksten konkurrierenden Innovationssystemen auf diesem Gebiet zählen. Nicht Bestandteil der Analyse ist dagegen das europäische Innovationssystem mit den Akteuren aus der Schweiz, Großbritannien, den Niederlanden und Deutschland, da über das ColorSol-Konsortium vielfältige Verknüpfungen und Einbettungen bestehen und damit gute Kenntnisse über das System vorliegen.

Zur besseren Verständlichkeit wird die Historie, d.h. die Entwicklungsgeschichte der Farbstoffsolarzelle sowie die Ursprünge der Technologie der Analyse des Akteurssystems vorangestellt. Dabei werden sowohl gemeinsame Grundlagen der Technologieentwicklung zusammengefasst, als auch spezifische Umfeldbedingungen beschrieben,

die sich in Form der bereits beschriebenen Einflussfaktoren hemmend oder fördernd auf das jeweilige Innovationssystem auswirken. Ebenfalls in die Analyse eingehen werden die Stärken und Schwächen des spezifischen Innovationssystems.

Zusammenfassend werden die Zukunftsperspektiven des jeweiligen Innovationssystems in Bezug auf die Technologie und die daraus resultierenden Märkte beschrieben und Schlussfolgerungen für die Arbeiten und das Akteurssystem im Projekt ColorSol zusammengefasst.

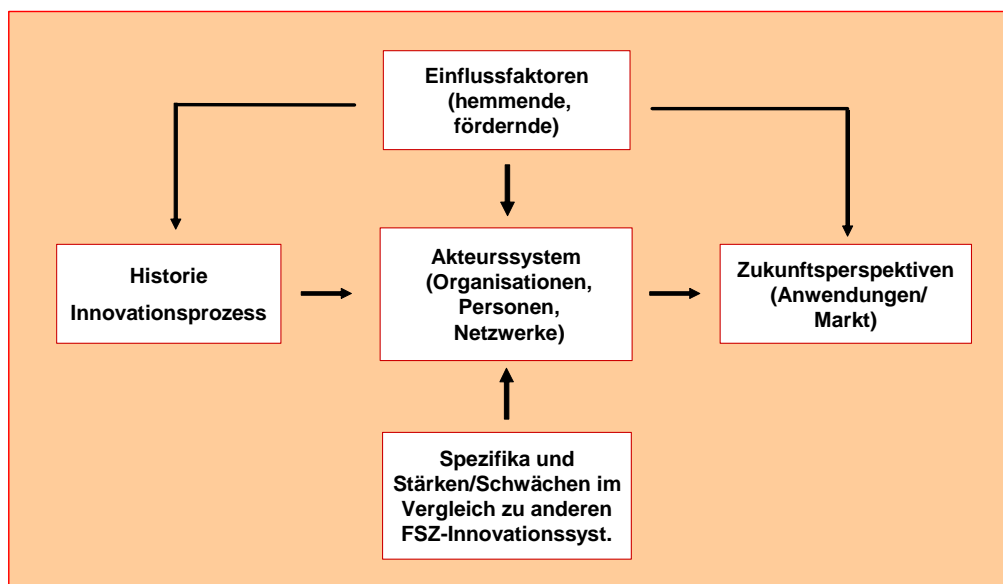


Abbildung 4: Untersuchungsstruktur der Analyse von FSZ-Innovationssystemen (Quelle: Eigene Darstellung)

3 Die Farbstoffsolarzellentechnologie und ihre Innovationssysteme

3.1 Technologie der Farbstoffsolarzelle

In der Farbstoffsolarzelle wird Sonnenlicht mittels eines metallorganischen Farbstoffs auf Rutheniumbasis in elektrischen Strom umgewandelt. Der organische Farbstoff ist dabei in nanokristalline Elektroden aus Titandioxid eingebettet.

Das Funktionsprinzip der Farbstoffsolarzelle beruht auf einer elektrochemischen Reaktion. Durch das einfallende Licht werden Elektronen im Farbstoff angeregt, es entstehen so genannte Elektronenlöcher. Über Titandioxid wandern Elektronen zur leitenden, auf das Glas aufgebrachten leitfähigen TCO-Schicht der Arbeitselektrode (Kathode), von der sie abgegriffen werden. Dabei wird der Elektrolyt oxidiert und gibt Elektronen ab. Über den externen Verbraucher werden die Elektronen nun von der Arbeitselektrode zur Gegenelektrode (Anode) geleitet. Dort wird der oxidierte Elektrolyt wieder reduziert, der Stromkreis schließt sich.

Die Farbstoffsolarzelle wird den elektrochemischen Dünnschichtzellen zugeordnet. Entdeckt und patentiert wurde die Farbstoffsolarzelle Ende der 1980er bis Anfang der 1990er Jahre durch Prof. Michael Grätzel. Er ist Leiter des "Laboratory of Photonics and Interfaces" an der Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Prof. Grätzel bzw. die EPFL halten bis heute die Rechte an diesen Patenten.

Für Farbstoffsolarzellen konnten im Labor unter Standardtestbedingungen solare Wirkungsgrade bis elf Prozent erreicht werden, in Modulen werden derzeit vier bis fünf Prozent Wirkungsgrad erreicht. Farbstoffsolarzellen weisen gegenüber siliziumbasierter Photovoltaik folgende Vorteile auf:

- Zur Herstellung werden kostengünstige Materialien sowie einfache Herstellungsverfahren aus der Siebdrucktechnik genutzt.
- Es sind größere Freiheitsgrade in Bezug auf Design möglich: Die Farbgebung ist variierbar (dunkelrot, bernsteinfarben, grün, schwarz), die Transparenz ist durch das Aufdrucken von Streuschichten einstellbar.
- Farbstoffsolarzellen sind empfindlicher für diffuse Einstrahlung und weniger empfindlich gegenüber erhöhten Umgebungstemperaturen.

3.2 Auswahl der Fallstudien und der analysierten Innovationssysteme

Wie bereits in Kap. 1.2 und 2.4 erläutert, werden in den folgenden Kapiteln zwei Innovationssysteme im Bereich der Farbstoffsolarzellentechnologie in Japan und Australien analysiert. Die Gründe für die Auswahl dieser beiden Innovationssysteme sind:

- Japan und Australien zählen seit vielen Jahren zu den wichtigsten außereuropäischen Ländern mit aktiver Forschung und Entwicklung im Bereich der Farbstoffsolarzelle und damit zu den stärksten Konkurrenten für die europäischen Akteure. Dies belegen Auswertungen der Forschungsaktivitäten, von Finanznachrichten sowie persönlicher Interviews mit Akteuren aus dem Forschungsgebiet.
- Die beiden Innovationssysteme Japan und Australien sind hinsichtlich der vorliegenden Rahmenbedingungen, der involvierten Akteure sowie auch der verfolgten Kommerzialisierungsstrategie sehr unterschiedlich und zeigen somit ein breites Spektrum möglicher Innovations- und Kommerzialisierungsstrategien auf, deren Auswertung für das Vorhaben ColorSol von Interesse ist.
- Über das Projekt ColorSol und seine Akteure bestanden bereits Kontakte zu Akteuren der beiden Innovationssysteme, was den Zugang zu Informationen und die Gewinnung von Experten für Interviews erleichterte.

Auf eine detaillierte Analyse des europäischen Innovationssystems zur Farbstoffsolarzelle mit den Akteuren aus der Schweiz, Großbritannien, den Niederlanden und Deutschland wurde zunächst verzichtet, da über das ColorSol-Konsortium vielfältige Verknüpfungen und Einbettungen in dieses System bestehen und damit gute Kenntnisse vorliegen.

4 Das Farbstoffsolarzellen-Innovationssystem in Japan

Japan gehört seit den 1970er Jahren zu einem der wichtigsten Länder für die Entwicklung von Photovoltaik. Aufgrund der großen Abhängigkeit des Landes von fossilen Rohstoffen gehört das Land auch zu den Pionieren einer kontinuierlichen und langfristigen staatlichen Förderung der Forschung und der industriellen Produktion von Photovoltaik.

Die Farbstoffsolarzellentechnologie wird in Japan, obwohl nicht dort erfunden, seit vielen Jahren kontinuierlich weiterentwickelt. Das daraus entstandene Innovationssystem weist deutliche und interessante Unterschiede im Vergleich zu anderen auf und wird in den folgenden Abschnitten erläutert.

4.1 Umfeld und Rahmenbedingungen der Photovoltaik in Japan

4.1.1 Politische Zielsetzungen und Förderung regenerativer Energien

Japan verfügt über eine jahrzehntelange Tradition der Förderung regenerativer Energien, die seit den 1970er Jahren, motiviert durch steigende Energiekosten und umweltpolitische Zielsetzungen, kontinuierlich weiterentwickelt und ausgebaut wurde. Zu den zentralen Zielen der Förderung gehören die Verringerung der Abhängigkeit von Ölimporten sowie die Einhaltung der im Kioto-Protokoll vereinbarten Zusagen zur Reduktion der Treibhausgase um 6 % in den Jahren 2008 – 2012 bezogen auf das Basisjahr 1990. Detaillierte Reduktionsziele und notwendige Beiträge einzelner Verursachergruppen sind durch die japanische Regierung im so genannten „Kyoto Protocol Target Achievement Plan“ im Jahr 2005 zusammengefasst worden (PMJ 2005).

Die Reduktionsziele sollen unter anderem durch eine Kombination freiwilliger industrieller Maßnahmen, Verordnungen und Marktanzreizprogramme erreicht werden. Ziel der japanischen Regierung ist es, bis zum Jahr 2010 4,8 GW_P photovoltaischer Leistung zu installieren. Bis zum Jahr 2030 soll in Japan ein Zehntel des Energiebedarfs aus erneuerbaren Energien gedeckt werden. Die Hälfte davon soll durch Photovoltaik bereitgestellt werden (Auer 2005: 7)²⁰.

²⁰ Kimura und Suzuki (2006: 13) weisen darauf hin, dass speziell die Förderung der Photovoltaik und der damit verbundenen Gesetzesänderungen zur Einspeisung des erzeugten Stroms, in den 1980er Jahren gegen erhebliche Widerstände der Energieerzeuger durchgesetzt werden mussten. Von Seiten der Energieversorger wurden dabei insbesondere Argumente der unzureichenden Zuverlässigkeit der Energie und der zu hohen Kosten angeführt.

Die folgenden Gesetze und Zielsetzungen wurden durch die japanische Regierung zur Förderung der erneuerbaren Energien und der Photovoltaik verabschiedet (siehe Jäger-Waldau 2006: 21f):

- „*Alternative Energy Law*“: Das alternative Energien Gesetz wurde in einer ersten Fassung bereits 1980 verabschiedet und regelt die Einführung alternativer Energieträger sowie die Umsetzung verschiedener Programme zu deren Förderung durch die „New Energy and Industrial Technology Development Organization“ (NEDO).
- „*Basic Guidelines for New Energy Introduction*“: Die grundlegenden Richtlinien zur Einführung erneuerbarer Energien wurden 1994 durch die japanische Regierung verabschiedet. Diese bringen die langfristigen Ziele zum Ausdruck, im eigenen Land einen subventionsfreien Markt für erneuerbare Energien zu schaffen und auf dem internationalen Markt zu einem führenden Anbieter für Technologien aus dem Feld der erneuerbaren Energien zu werden. Diese langfristige Ausrichtung der japanischen Förderpolitik machte in der Vergangenheit einen wesentlichen Unterschied zu europäischen oder nordamerikanischen Ansätzen aus, die in der Mehrzahl auf kürzere Zeiträume angelegt sind (vgl. hierzu insbesondere Kimura, Suzuki 2006: 20).
- „*Long-term Energy Supply/Demand Outlook*“: Dieses durch das „Advisory Committee for Natural Resources and Energy“ des Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) im Jahr 1998 erstmals erstellte Gutachten, dient der Planung der Energieversorgung, der Verbesserung von Effizienzmaßnahmen sowie der Einhaltung der Emissionsminderungsmaßnahmen (siehe auch Kap. 4.3.4). Das Gutachten wurde zuletzt im Jahr 2004 überarbeitet.
- „*Alternative Energy Act*“: Das Alternative-Energien-Gesetz von 1980 regelt die Anhebung einer Elektrizitätssteuer, aus der die Forschung für alternative Energiequellen finanziert wird. Mit diesem Gesetz wurde zudem die „New Energy Development Organization“ (NEDO) als die zentrale verantwortliche Institution für die Entwicklung neuer Energien gebildet.
- „*New Energy Law*“: Das Neue-Energien-Gesetz von 1997 regelt Anteile und Förderquoten verschiedener erneuerbarer Energien. Es legt zudem Maßnahmen des Einsatzes erneuerbarer Energien für verschiedene öffentliche Versorgungseinrichtungen und Sektoren fest.
- „*Renewable Standard Portfolio*“: Der japanische Handel mit erneuerbaren Energien beruht auf dem 2003 in Kraft getretenen Gesetz „Special Measures Law Concerning the Use of New Energy by Electric Utilities“. Das Gesetz schreibt den japani-

schen Energieversorgern vor, einen definierten Anteil ihres Energieangebotes aus erneuerbaren Energien zur Verfügung zu stellen. Den Energieversorgern ist dabei frei gestellt, ob sie diesen Anteil durch eigene Erzeugung oder durch den Zukauf von Zertifikaten autorisierter Energieerzeuger erreichen. Das Gesetz schreibt zudem den Energieerzeugern für einen Zeitraum von acht Jahren vor, jährliche Ziele für den Anteil erneuerbarer Energien an ihrer Gesamtenergieproduktion vorzulegen. Die einzelnen Ziele werden zu einem nationalen Plan zusammengefasst und daraus in der Folge entsprechende Zielvorgaben für die Energieerzeuger und einzelne Energiearten abgeleitet. Speziell für die Photovoltaik werden dabei hohe Ziele gesetzt, um das Wachstum des PV-Marktes zu steigern. Durch das Gesetz soll der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung von derzeit ca. 0,2 % (Jahr 2006) auf 3,2 % im Jahr 2010 gesteigert werden.

- *Forschungs- und Technologiepolitik:* Die japanische Regierung hat im Jahr 2006 den dritten Forschungs- und Technologieplan verabschiedet, der für die Jahre 2006 – 2010 gilt. In ihm werden Zielsetzungen für ein Forschungsbudget von ca. € 180 Mio. vorgegeben. Unter den zahlreichen Zielsetzungen sind auch 14 Maßnahmen für den Energiebereich genannt. Unter diesen wird speziell die Förderung innovativer und kosteneffizienter Photovoltaiktechnologien genannt.

4.1.2 Einführungsprogramme und Förderung von Photovoltaik

Wie im vorangegangenen Abschnitt bereits deutlich wurde, genießt die Förderung der Photovoltaik in Japan einen hohen Stellenwert. Sie wird zum einen als eine Schlüsseltechnologie zur Erreichung klimapolitischer Ziele und zum anderen als wichtige Exporttechnologie gesehen (Jäger-Waldau 2006: 28).

Begonnen wurde mit den ersten systematischen Förderaktivitäten zur Photovoltaik mit dem „Sunshine-Project“ ab 1974 in Reaktion auf die weltweite Erdölkrise.

Innerhalb des Sunshine-Programms war die Photovoltaik neben der thermischen Solarenergie, der Kohleverflüssigung, der Geothermie u.a. nur eine von mehreren alternativen neuen Energiequellen. Die großtechnische Energieerzeugung aus solarthermischen Anlagen stellte sich kurze Zeit nach Start des Programms als ungeeignet heraus, da mit den Versuchsanlagen unter den klimatischen Bedingungen Japans nicht die erhofften Energiemengen erzeugt werden konnten (Kimura, Suzuki 2006: 5). Relativ rasch wurden die Forschungsaktivitäten daher auf die Photovoltaik fokussiert und führten in der Folge zu den bislang längsten und systematischsten Förder- und Implementierungsaktivitäten dieser Art.

Motiviert durch eine Reihe technischer Erfolge, wurde 1993 das „New Sunshine Project“ verabschiedet. Es hatte eine umfassende und langfristige Forschung und Entwicklung von PV-Technologien zum Ziel und endete im Jahr 2000. Parallel wurde 1994 das „Residential PV System Dissemination Program“ begonnen, welches auf die Förderung privater PV-Anlagen abzielte. Aufgrund des durchschlagenden Erfolgs wurden die ursprünglich zur Verfügung gestellten 3,3 Mrd. Yen²¹ um ein Vielfaches aufgestockt und erreichten mit einer jährlichen Summe von bis 23 Mrd. Yen im Jahr 2004 ihren Höhepunkt (Kimura, Suzuki 2006: 16). Diese Entwicklung hat zur Folge, dass heute 94 % der installierten Photovoltaikanlagen private, dachgestützte Anlagen sind (Kimura, Suzuki 2006: 4).

Abgelöst wurde das „New Sunshine Project“ durch das Programm „5-Year Plan for Photovoltaic Power Generation Technology Research and Development“ (2001 - 2005), welches neue technologische Schwerpunktsetzungen im Bereich der Silizium- und Dünnschichttechnologien vornahm.

Neben den genannten Programmen existierten eine Vielzahl von Unterprogrammen, die neben F+E-Arbeiten auch Demonstrations- und Implementierungsprojekte förderten. Während mit den Demonstrationsvorhaben in erster Linie Feldtests sowie Netzanbindungen erprobt werden sollten, dienten die Implementierungsprogramme einer stärkeren Verbreitung der PV-Technologie und der Schaffung kritischer Stückzahlen.

Mit dem Auslaufen der meisten Forschungs- und Förderprogramme im Jahr 2005 erfolgte eine Evaluierung und Neuorientierung der japanischen Förderpolitik. Die japanische Regierung rechnete für das Jahr 2006, ohne staatliche Förderung, bei einem Marktpreis von 20.000,- Yen/KW_p und bestehendem Net-Metering²², mit einem stabilen selbsttragenden Marktwachstum (Fukuda 2007).

Im Jahr 2006 wurde durch die japanische Regierung die „New National Energy Strategy“ verabschiedet. In dieser werden förder- und industriepolitische Ziele formuliert, die darauf abzielen, den japanischen PV-Markt und seine starke Position zu stützen. Die zukünftige Förderung soll daher die Forschung nach neuen kosteneffizienten und leistungsfähigen PV-Technologien ebenso umfassen, wie die Entwicklung von Pilotfertigungen sowie die Sicherung der Wertschöpfungskette von der Rohstoffherzeugung bis

²¹ 1 EUR (Euro) entspricht ca. 130 JPY (Japanischen Yen)

²² Unter Net-Metering versteht man die Verrechnung des in das öffentliche Netz eingespeisten Stroms (in diesem Fall aus PV) mit der Stromrechnung des Einspeisers. Im konkreten Fall läuft dabei der Stromzähler rückwärts und vermindert damit die verbrauchte Strommenge um den aus der PV-Anlage eingespeisten Anteil. Das Net-Metering wurde in Japan als freiwillige Maßnahme der meisten großen Energieversorger eingeführt (Kimura, Suzuki 2006: 18). In anderen Ländern besitzt das Net-Metering oft eine Kappungsgrenze, d.h. es gilt eine Höchstspeisemenge pro Jahr, ab der der eingespeiste Strom nicht mehr verrechnet wird.

zur Erschließung internationaler Märkte (Sakata et al. 2005). Trotz leichter Umverteilungen der Fördermittel zwischen einzelnen Förderorganisationen und Ministerien ist der Gesamtetat für Forschung und Entwicklung im Jahr 2006 gestiegen (Fukuda 2007).

Neben der staatlichen Forschungs- und Implementierungsförderung existiert in Japan eine Vielzahl kleiner regionaler bzw. lokaler Förderprogramme auf Ebene der Präfekturen und Städte, die zusätzliche Mittel bereitstellen, und so insbesondere die Installation privater PV-Anlagen mit bis zu 40 % der Kosten fördern. Diese zusätzliche Förderung hat insbesondere die Anzahl der dachgestützten, privaten PV-Installationen in den letzten Jahren stark ansteigen lassen (Jäger-Waldau 2004: 15).

Photovoltaik Roadmap und langfristige Förderziele

Zur Strukturierung der langfristigen Forschungs- und Kommerzialisierungsziele und in Folge der Evaluation des „New Sunshine Project“, wurden durch das Ministry of Economy, Trade and Industry (METI), die New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) (siehe Kap. 4.3.4) sowie Forschungsorganisationen, Unternehmen und Verbände²³ die Roadmap „PV Roadmap Toward 2030“ für Forschung und Marktentwicklung verschiedener PV-Technologien erstellt (siehe NEDO 2004).

Die Roadmap wurde im Rahmen von sechs Workshops entworfen und entwickelt Szenarien für die Zukunft des japanischen und des weltweiten PV-Marktes. Sie gibt darauf aufbauend spezifische Entwicklungsziele für Wirkungsgrade und Marktpreise einzelner PV-Technologien vor (siehe Abbildung 5).

²³ Zu den Institutionen, die an der Erarbeitung der Roadmap beteiligt waren zählen: Japan Photovoltaic Energy Association (JPEA), Photovoltaic Power Generation Technology Research Association (PVTEC), Sharp Corp., Kaeka Corp., Sekiso Chemical Co. Ltd., Kajima Corp., Nikkei Science, Tokyo Institute of Technology, Toyota Technological Institute Advanced Institute for Science and Technology und New Energy Foundation.

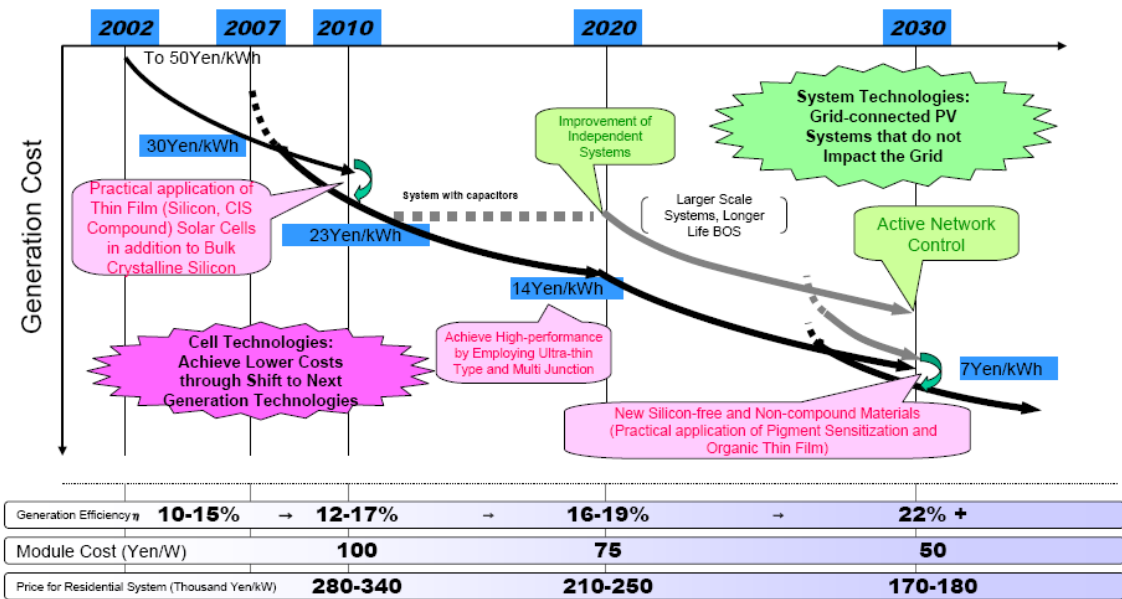


Abbildung 5: Szenario zur Verbesserung der ökonomischen Konkurrenzfähigkeit von PV-Technologien (Quelle: Fukuda 2007: 6)

Die PV Roadmap 2030 ist für die strategische Ausrichtung der japanischen Photovoltaikforschung von großer Bedeutung und dient der Neuorientierung der Forschung in den nächsten Jahren. Diese Neuorientierung in der Photovoltaikförderung beschreibt die NEDO wie folgt (Fukuda 2007): Während der Schwerpunkt der Forschungsförderung in den zurückliegenden Jahren vor allem auf der Förderung einzelner viel versprechender technologischer Ansätze lag, soll in der Zukunft insbesondere eine marktgetriebene Forschung und Entwicklung in Kooperation mit Forschung und Industrie verstärkt werden. Diese soll insbesondere durch:

- eine thematische Fokussierung auf mittel- und langfristig relevante Technologiefelder sowie
- die Verbesserung der PV-Infrastruktur und deren Einbindung in das Energienetz geschehen.

In der Roadmap werden explizit auch spezifische Entwicklungsziele für neue PV-Technologien und Farbstoffsolarzellen genannt. Als Entwicklungsziel für das Jahr 2030 wird dort z. B. ein Modulwirkungsgrad von 15 % angegeben (siehe Sakata et al. 2005).

In Orientierung an den Entwicklungszielen der Roadmap, sind durch die japanische Regierung eine Reihe neuer Forschungsprogramme für die Photovoltaik aufgelegt worden. Für die weitere Entwicklung von Farbstoffsolarzellen ist dabei insbesondere das Programm „R&D for Next Generation PV Systems“ von Bedeutung, das auf eine Laufzeit von vier Jahren (2006 – 2010) angelegt ist. Dieses Programm hat zum Ziel,

die Entwicklung der nächsten Generation von Solarzellen zu fördern und hierbei insbesondere Verbesserungen im Wirkungsgrad sowie eine Reduktion der Produktionskosten zu erreichen. Der Forschungsbereich 3 dieses neuen Programms widmet sich explizit den Farbstoffsolarzellen und formuliert die zwei folgenden zentralen Entwicklungsziele (Fukuda 2007):

- Steigerung des Wirkungsgrades auf bis zu 15 % in Testzellen durch die Entwicklung neuer Farbstoffe und Tandemzellen sowie neue Zellkonzepte,
- Verbesserung der Langzeitstabilität der Farbstoffsolarzelle durch stabile Verkapselung, die Entwicklung nichtflüchtiger Elektrolyte sowie die Erreichung eines stabilen Modulwirkungsgrades von 8 %.

Für die Weiterentwicklung von Farbstoffsolarzellenmodulen werden vor allem die folgenden Entwicklungsziele genannt: Optimierung größerer Modulstrukturen, Entwicklung neuer Versiegelungsmöglichkeiten, Isolatoren, nicht brennbarer Materialien und Elektroden, Korrosionsschutztechnologien, Methode zur Elektrolytbefüllung und Ansätze zur Reduktion der Materialkosten.

Im Rahmen des Forschungsbereichs 3 haben nach Aussagen von Interviewpartnern inzwischen 9 Forschungskonsortien mit Entwicklungsarbeiten begonnen (siehe dazu auch Kap. 4.3.1).

4.1.3 Japanischer PV-Markt

Die Kontinuität und Langfristigkeit der japanischen PV-Förderprogramme macht einen wesentlichen Unterschied zu europäischen oder nordamerikanischen Förderansätzen aus, die bisher in der Mehrheit auf kürzere Zeiträume angelegt waren (Kimura, Suzuki 2006: 19). Aus dem vorangegangenen Kapitel wurde bereits deutlich, dass sich die japanische Regierung zum Ziel gesetzt hat, durch Ihre Förderpolitik langfristig einen stabilen und wachsenden Markt und eine leistungsfähige Exportindustrie zu erzeugen. Durch diese Politik sollten in der Vergangenheit insbesondere auch japanische Industrieunternehmen zu langfristig wirksamen Investitionen motiviert werden (Jäger-Waldau 2004: 12).

Diese spezifische Förderpolitik hat sich auf die Investitionen und die Struktur der japanischen Photovoltaikbranche ausgewirkt. In den zurückliegenden Jahren haben insbesondere große Unternehmen aus der Elektronikindustrie, dem Maschinenbau und der Grundstoffindustrie in die Technologie investiert und sind so zu international bedeutenden PV-Produzenten und Marktakteuren herangewachsen. Bereits in den 1980er Jahren überstiegen die Eigeninvestitionen japanischer PV-Unternehmen, die im Rahmen

des staatlichen Sunshine-Projektes zur Verfügung gestellten Mittel, was Kimura und Suzuki (2006: 8) im Wesentlichen auf die stabilen Förderbedingungen und die verbindlichen Zielsetzungen der japanischen Regierung zur Schaffung von Märkten zurückführen.

Neben dem heimischen Markt hat in den letzten Jahren vor allem der Export in europäische Länder (Deutschland) stark zugenommen. Japan ist so zum größten Exporteur für Photovoltaik geworden (siehe **Abbildung 6**).

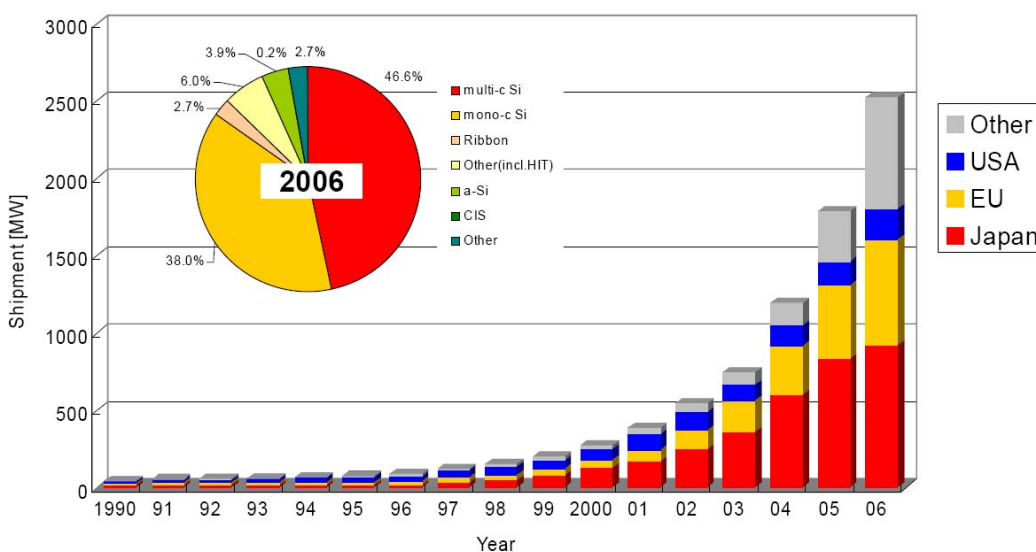


Abbildung 6: Marktanteile der japanischen Photovoltaikindustrie (Quelle: Fukuda 2007: 3)

Nach einer starken Wachstumsphase seit Ende der 1990er Jahre hat sich der japanische Markt konsolidiert. Zu den großen Produzenten und Akteuren zählen heute die Unternehmen Sharp Corporation, Kyocera Corporation, Sanyo Electric Company, Mitsubishi Electric, Mitsubishi Heavy Industries und Kaneka Solartech (Jäger-Waldau 2006: 29ff). Im Gegensatz zu europäischen und nordamerikanischen Herstellern bündeln die japanischen Hersteller zudem große Anteile der Wertschöpfungskette, von der Rohstoffherzeugung und Komponentenherstellung bis zur Endmontage, im eigenen Unternehmen (Jäger-Waldau 2006: 25). Als wachstumsbeschränkend wirkten sich in den letzten Jahren aufgrund des starken internationalen Marktwachstums auch für japanische Unternehmen die begrenzten verfügbaren Kapazitäten des Rohsiliziums aus (Tanaka, Ikki 2006).

Eine Reihe weiterer Unternehmen plant den Einstieg in den japanischen PV-Markt, wobei sie vorrangig auf neue PV-Technologien setzen. Zu den neuen Akteuren gehören unter anderem Canon (a-Si Triple Junction Zelle im „roll to roll“ Verfahren), Fuji

Electric Systems (a-Si Dünnschichtzellen), Hitachi (Farbstoffsolarzelle), Honda (CIGS Dünnschichtzellen), Matsushita (CIGS Dünnschichtzellen) und Showa Shell Sekiyu (CIS bzw. CIGS Dünnschichtzellen) (alle Angaben siehe Jäger-Waldau 2006: 35ff).

Eine weitere Besonderheit des japanischen PV-Marktes liegt darin, dass die großen PV-Unternehmen Joint-Ventures mit Bauunternehmen (z. B. Misawa Homes, Pana-Home, Sekisui House und Daiwa House Industry) gegründet haben und über den umsatzstarken japanischen Fertighausmarkt²⁴ viele PV-Module als dach- bzw. gebäudeintegrierte Komponenten von Fertighäusern absetzen (Jäger-Waldau 2006: 25f). Diese privaten, netzgebundenen PV-Anlagen machen heute bis 94 % der installierten PV-Kapazitäten in Japan aus (Kimura, Suzuki 2006: 4).

Dieser Trend zu privaten PV-Installationen wird sich vermutlich in den kommenden Jahren fortsetzen und stellte in den zurückliegenden Jahren einen wichtigen Wachstumsfaktor für den japanischen PV-Markt dar (Tanaka, Ikki 2006). Kimura und Suzuki (2006: 20) führen dies auf das hohe Umweltbewusstsein gut verdienender Konsumenten zurück, da die Investitionskosten sich selbst bei den relativ hohen japanischen Strompreisen und bestehendem Net-Metering innerhalb des Lebenszyklus der PV-Anlagen kaum amortisieren.

Unsicherheiten über die Entwicklung des japanischen PV-Marktes waren in jüngster Zeit vor allem durch das Auslaufen der großen Förderprogramme für private Nutzer von PV-Anlagen entstanden (insbesondere „Residential PV System Dissemination Program“ im Jahr 2005). Es wurde befürchtet, dass in der Folge die Präfekturen ihre Förderungen ebenfalls einstellen bzw. die Energieversorger ihr freiwilliges Net-Metering beenden könnten (Kimura, Suzuki 2006: 18).

Bisher ist dies nicht der Fall gewesen, so dass die Stimmung bezüglich eines weiteren Marktwachstums vorsichtig optimistisch ist. Viele Analysten prognostizieren für den japanischen PV-Markt, ausgelöst durch die im Kioto-Protokoll fixierten Reduktionsziele, in den kommenden Jahren starke Zuwächse. Von diesen wird, aufgrund ihrer guten Ausgangsposition, in erster Linie die starke japanische Solarindustrie profitieren. Um der erwarteten Nachfragesteigerung nachzukommen, haben mehrere japanische PV-Produzenten eine Ausweitung ihrer Produktionskapazitäten sowie eine Senkung der Produktionskosten angekündigt (siehe Beucker, Fichter 2007: 12).

²⁴ Der japanische Fertighausmarkt unterscheidet sich grundlegend vom deutschen. Aufgrund der hohen Grundstückspreise werden stark vorgefertigte Häuser mit geringer Grundfläche produziert. Zudem wird für die Fertighäuser mit ca. 20 - 30 Jahren eine deutlich geringere Lebensdauer angesetzt und entsprechend einfacheres Baumaterial eingesetzt.

Die japanische Regierung hat sich zum Ziel gesetzt, neben den privaten PV-Anlagen vor allem großflächige PV-Installationen auf industriellen und öffentlichen Gebäuden zu fördern und so die Produktions- und Installationskosten durch eine weitere Steigerung der Stückzahlen zu senken (Tanaka, Ikki 2006).

4.2 Entstehung und Innovationsprozess Farbstoffsolarzelle

Obwohl die Ursprünge der Farbstoffsolarzelle nicht in Japan liegen, nimmt das Land in Bezug auf die Forschung und Kommerzialisierung der Technologie international eine zentrale Rolle ein. Ursache hierfür ist unter anderem eine an langfristigen Zielen orientierte Forschungs- und Unternehmenskultur. Aus den vorangegangenen Abschnitten wurde bereits deutlich, dass Japan über eine starke Fördertradition für Photovoltaiktechnologien verfügt und die Technologieentwicklung sich auch an einer gemeinsam von Unternehmen, Forschungs- und Förderinstitutionen entwickelten Roadmap orientiert. Für Farbstoffsolarzellen werden in der Roadmap spezifische Entwicklungsziele genannt (siehe Kap. 4.1.2 und

). Japan ist damit eines der wenigen Länder, das eine langfristig orientierte Forschungs- und Entwicklungsroadmap für das Themenfeld der Farbstoffsolarzelle erstellt hat und seine Forschungspolitik daran ausrichtet.

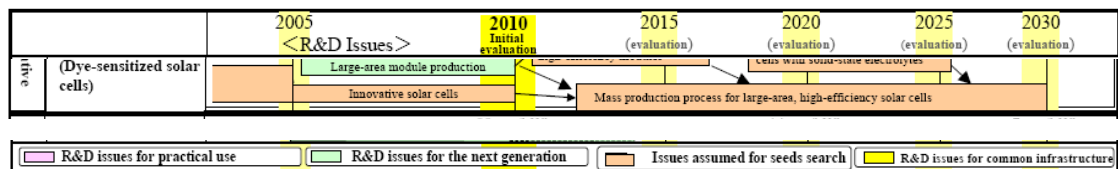


Abbildung 7: Entwicklungsziele für Farbstoffsolarzellen: Ausschnitt aus der PV-Roadmap 2030 (Quelle: NEDO 2004: 2)

Durch den Roadmappingprozess wird für alle beteiligten Seiten eine hohe Transparenz und Verbindlichkeit über die zu erreichenden Forschungs- und Entwicklungsziele erreicht. Mit dem deutlichen Bekenntnis zu einer langfristigen Photovoltaikförderung hat die japanische Regierung darüber hinaus positiv auf die Verankerung der Photovoltaikforschung in großen japanischen Unternehmen hingewirkt und eigene Investitionen der Unternehmen in Forschung und Entwicklung stimuliert (Kimura, Suzuki 2006: 8). Neben den staatlichen und universitären Forschungsinstituten wird daher die Forschung zu Farbstoffsolarzellen auch stark durch japanische Unternehmen vorangetrieben, die in den Technologien der 3. Generation (Farbstoffsolarzellen und Polymerphotovoltaik)

Optionen zur Erweiterung der Anwendungsfelder von Photovoltaik sowie Möglichkeiten zur Kostenreduktion sehen²⁵.

Die relativ starke Position der japanischen Akteure in der Forschung und die gute Ausgangsposition für eine zukünftige Kommerzialisierung von Farbstoffsolarzellen gründen auf die folgenden Faktoren:

- **Starkes nationales Förder- und Forschungsnetzwerk:** Die langfristige Orientierung und auf Konsens ausgerichtete Abstimmung einer Forschungsroadmap für das Themenfeld Farbstoffsolarzellen, hat zu einem verhältnismäßig dichten und ausdifferenzierten Netzwerk an Förder- und Forschungsinstitutionen im Themenfeld geführt.
- **Aufbau von Forschungskapazitäten und Know-how:** Japanische Unternehmen und Forschungsinstitute besitzen relativ starke eigene Forschungseinheiten, die sich seit vielen Jahren mit den PV-Technologien der 3. Generation und insbesondere mit Farbstoffsolarzellen beschäftigen (siehe auch Kap. 4.3). Dies wird auch an der Patentsituation deutlich, aus der eine Weiterentwicklung der Technologie und ihrer Komponenten deutlich wird²⁶.
- **Demonstrationsobjekte und Outdoortests:** Japanische Forschungsakteure besitzen bereits Erfahrungen mit ersten Demonstrationsanlagen für Farbstoffsolarzellen und verfügen über Testinstallationen, mit denen die Stabilität von Farbstoffsolarzellen und realen Einsatzbedingungen getestet werden. So hat z. B. Toyota Farbstoffsolarzellen sowohl im „Toyota Dream House“²⁷ als auch in Versuchsständen zur Messung der Langzeitperformance installiert und sammelt damit Erfahrungen für die Bewertung der Langzeitstabilität.
- **Gezielte Planung von Kommerzialisierung und Vermarktungsstrukturen:** Japanische Photovoltaikunternehmen besitzen durch Joint Ventures mit Bauunternehmen und Fertighausproduzenten wichtige Vermarktungsstrukturen und Absatzkanäle für ihre Produkte (siehe auch Kap. 4.1.3). Da die Fertighaushersteller ihre

²⁵ Ergebnisse eigener Expertengespräche mit Akteuren aus den Forschungsabteilungen mehrerer großer japanischer Photovoltaikunternehmen im Rahmen der 17. PVSEC in Fukuoka, Japan Dezember 2007.

²⁶ Ein Überblick über die aktuellen Patentanmeldungen japanischer Forschungsinstitute und Unternehmen zu Farbstoffsolarzellen ist <http://solarcellinfo.com/dyecell/taxonomy/term/3> (letzter Abruf Oktober 2008) erhältlich. Als große Einzelanmelder sind hier z. B. die Unternehmen Sharp Corporation, Fujikura Ltd., Toyota / Aisin Seiki und Sekisui Jushi Co. Ltd. zu nennen.

²⁷ Das „Toyota Dream House“ ist ein Demonstrationsobjekt, in dem Toyota Home K.K. verschiedenste Smart Home Technologien erprobt und testet (siehe: <http://tronweb.super-nova.co.jp/toyotadreamhousepapi.html>, letzter Abruf Oktober 2008)

Häuser z. T. mit integrierten Solarmodulen anbieten, können die Installations- und Systemkosten gesenkt und damit die Amortisationszeiten verkürzt werden. Zudem sichert die Abnahme der Bauunternehmen und Fertighausproduzenten den Produzenten der Solarmodule einen kalkulierbaren Absatz. Aufgrund dieser bestehenden Strukturen werden die initialen Absatzmärkte für Farbstoffsolarzellen auch eher in dachgestützten Modulen gesehen (siehe auch Kap. 4.4).

Insgesamt ist das japanische Innovationssystem Farbstoffsolarzelle, trotz seiner Verankerung in internationalen Forschungsnetzwerken, stark autonom. Dies gilt sowohl für die Forschung und Entwicklung als auch für die potenziellen Produktions- und Zulieferstrukturen für eine zukünftige Produktion von Farbstoffsolarzellen.

4.3 Innovationsakteure und –netzwerke

4.3.1 Unternehmen

4.3.1.1 Toyota Central R&D Labs., Inc. / Aisin Seiki Co., Ltd.

Die Toyota Central R&D Labs. sind Bestandteil der Toyotagruppe zu der neben zahlreichen Firmen aus der Automobilindustrie auch Unternehmen aus dem Maschinenbau, der Stahlproduktion und der Bauindustrie zählen. Die Toyotagruppe gehört zu einer der wichtigsten und größten Unternehmensgruppen Japans, zu ihr zählen rund 500 Tochterunternehmen, in denen weltweit mehr als 300.000 Mitarbeiter (Stand 2007) beschäftigt sind. Die Toyota R&D Labs. beschäftigen ca. 1.000 Mitarbeiter und leisten in Kooperation mit privaten und öffentlichen Partnern Forschungs- und Entwicklungsarbeit für die Unternehmen der Toyotagruppe. Zu den wichtigsten Forschungsgebieten der Toyota Labs. gehören die Themenfelder „Energy/Environment“, „Safety/Human Engineering“, „Mechanical Engineering“, „System Engineering/Electronics“ und „Materials“²⁸.

Aisin Seiki Co., Ltd. ist ein Automobilzulieferunternehmen und ebenfalls Bestandteil der Toyota Unternehmensgruppe und auf die Entwicklung und Produktion von Komponenten für die Automobilindustrie (u.a. Getriebe und Navigationsgeräte) spezialisiert. Aisin Seiki beschäftigt weltweit rund 60.000 Mitarbeiter (Stand 2007) und verfügt über eine eigene Forschungsabteilung, die sich unter anderem mit alternativen Antriebs- und Energieversorgungstechnologien (z. B. Brennstoffszellen, Solarzellen) beschäftigt.

²⁸ Siehe hierzu die Webseite der Toyota Central R&D Labs. unter: <http://www.tytlabs.co.jp/eindex.html> (letzter Abruf Oktober 2008)

Die Toyota R&D Labs. sowie Aisin Seiki verfügen gemeinsam über eine rund 20 Mitarbeiter umfassende Forschungsgruppe, die sich mit neuen PV-Technologien beschäftigt. Schwerpunkt der Forschung und Arbeiten liegt dabei auf PV-Technologien der dritten Generation, d.h. Forschungsarbeiten werden sowohl zu Farbstoffsolarzellen als auch zu organischen Polymerzellen durchgeführt.

Die Forschungsgruppe verfügt über langjährige Erfahrungen in der Forschung zu Farbstoffsolarzellen. Die Forschungsaktivitäten umfassen neben den Einzelkomponenten der Farbstoffsolarzelle (Schichtaufbau, Farbstoff, Elektrolyt, etc.) auch die dazugehörigen Fertigungsprozesse. Die einzelnen Komponenten für die Farbstoffsolarzelle können in eigenen Laboren hergestellt werden, werden jedoch für Forschungszwecke auch bei anderen Unternehmen bestellt (so werden z. B. kleinere Mengen Farbstoff von Solaronix bezogen).

Der von Toyota verfolgte Ansatz der Farbstoffsolarzelle beruht auf 24 * 24 cm großen TCO-Gläsern, die durch Polyolefine versiegelt werden. Als Farbstoff kommt roter Rutheniumfarbstoff zum Einsatz. Bei Aisin Seiki wurde eine Pilotproduktion für die Module realisiert. Mit ihr können im kleinen Maßstab reproduzierbare Module hergestellt werden. Toyota verfügt zudem über mehrere Testinstallationen (Fassade und Dach), in denen das Leistungs- und Alterungsverhalten der Module seit mehreren Jahren kontinuierlich beobachtet wird. Aktuelle Forschungsarbeiten von Toyota und Aisen Seiki zeigen, dass die Module nach 2,5 Jahren Outdoortest nur eine leichte Leistungsabnahme aufweisen²⁹.

²⁹ Siehe Takeda et al. (2007)

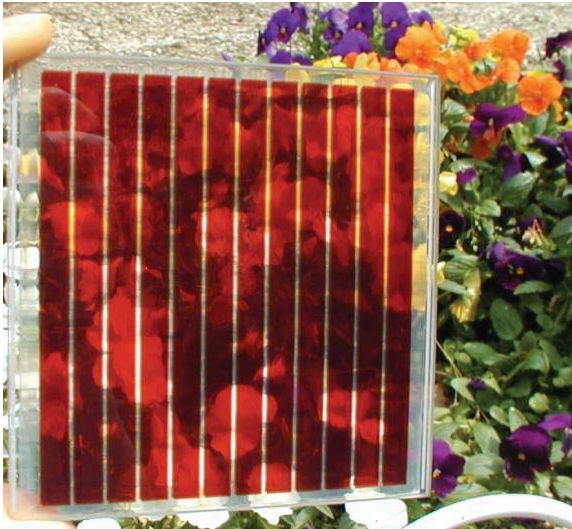


Abbildung 8: Aktueller Prototyp monolithischer Farbstoffsolarzellen von Toyota / Aisin Seiki (Quelle: Takeda et al. 2007: 1172)

Marktreife, Anwendungsfelder und geplante Forschungsarbeiten

Ein genauer Zeitpunkt für die Marktreife der Farbstoffsolarzellen wird von Mitarbeitern der Toyota Labs. derzeit nicht angegeben. Grobe Schätzungen gehen von ca. fünf bis zehn Jahren bis zur endgültigen Marktreife der Technologie aus, wobei die erste Anwendung in normalen Standardmodulen für die Dachmontage gesehen wird. Toyota begründet dies damit, dass diese Anwendung die größten Anforderungen an die Technologie stellt und diese eine zentrale Eintrittsbarriere für den PV-Markt darstellt. Weitere Anwendungen werden, motiviert durch die Forschung von Aisin Seiki nach alternativen Energiequellen für Kraftfahrzeuge, in Automobilen gesehen, wobei die Farbstoffsolarzellen in diesem Fall nur eine zusätzliche Energiequelle zur Stromversorgung darstellen würden.

Der wesentliche Vorteil der Technologie wird von Toyota in der Skalierbarkeit von Modulen gesehen, die bei der Siliziumtechnologie aufgrund der vorgegebenen Wafergröße nur bedingt möglich ist. Als weiterer Vorteil wird das potenziell kostengünstige und einfache Produktionsverfahren gesehen. Derzeit stellen jedoch die Preise für das TCO-Glas, welches Toyota von Asahi Glass Co., Ltd. bezieht, einen zu hohen Kostenblock dar.

Die größten Herausforderungen für die weiteren Entwicklungsarbeiten werden von Toyota in den folgenden Feldern gesehen:

- Verbesserung der Langzeitstabilität: Es wird insbesondere von weiteren notwendigen Forschungsarbeiten für eine Verbesserung der Versiegelung und der Stabilität der enthaltenen chemischen Komponenten ausgegangen.

- Erhöhung des Wirkungsgrades: Im Labor können mit eigenen Testzellen (ca. 1 cm²) Wirkungsgrade von bis zu 10 % erreicht werden. In den genannten 24 * 24 cm Modulen werden dagegen derzeit bis zu 4 % Wirkungsgrad erreicht.

Weitere Forschungspartner und Akteure des Innovationsnetzwerkes von Toyota / Aisin Seiki

Weitere Forschungspartner von Toyota Aisin / Seiki aus dem akademischen Umfeld (Universitäten, staatliche Forschungsinstitute, etc.) sind:

- Toyota Technological Institute (private Universität in Nagoya)
- University of Science Tokyo, Department of Industrial Chemistry, Faculty of Engineering: Prof. H. Arakawa
- Osaka University, Center for Advanced Science and Innovation: Prof. S. Yanagida

4.3.1.2 Sharp Corporation

Sharp ist ein 1912 gegründetes japanisches Elektronikunternehmen, welches heute weltweit ca. 46.000 Mitarbeiter beschäftigt (Stand 2007). Sharp begann bereits 1963 mit der Serienproduktion von Solarzellen, die zu Beginn insbesondere für die Stromversorgung von Satelliten sowie für die netzferne Stromversorgung im Inselbetrieb eingesetzt wurden.

Sharp besitzt somit langjährige Erfahrungen bei der Entwicklung und Produktion von Solarzellen. Das Unternehmen bietet eine Vielzahl unterschiedlicher PV-Module (monokristallines, polykristallines und amorphes Silizium) mit hohen Wirkungsgraden und charakteristischer schwarzer Färbung an.

Innerhalb des Unternehmens ist das „Research Department II Advanced Energy Technologies Laboratories, Corporate Research and Development Group“ mit ca. 15 Mitarbeitern für die Forschung an Farbstoffsolarzellen und organischen Polymerzellen verantwortlich.

Der von Sharp verfolgte Ansatz beruht auf 50 * 53 mm großen Versuchszellen mit W-Kontaktierung, die aus mit Polyolefinen versiegelten TCO-Gläsern bestehen. Als Farbstoff kommt schwarzer Rutheniumfarbstoff zum Einsatz, um so das Erscheinungsbild der schwarzen Sharp PV-Elemente fortzusetzen. Mit diesen Modulen erreicht Sharp nach eigenen Angaben Wirkungsgrade von bis zu 7,9 %. In Laborzellen hat Sharp bereits Wirkungsgrade von bis zu 11,1 % erreicht.

Marktreife, Anwendungsfelder und geplante Forschungsarbeiten

Ein genauer Zeitpunkt für die Marktreife der Farbstoffsolarzellen wird von Mitarbeitern von Sharp nicht angegeben. Mit ersten marktreifen Produkten wird, wie auch bei Toyota, in ca. fünf – zehn Jahren gerechnet. Auch von Seiten Sharps wird die Anwendung in Standardmodulen für die Dachmontage als die erste und technisch anspruchsvollste Anwendung gesehen. Geringe Chancen werden dagegen Anwendungen zur mobilen Stromversorgung, wie beispielsweise von G24i geplant, eingeräumt. Aufgrund des vergleichsweise niedrigen Wirkungsgrades und der kurzen Lebensdauer polymerbasierter Farbstoffsolarzellen, stellen diese nach Auffassung von Sharp keine Konkurrenz zu existierenden flexiblen Kunststoffzellen aus amorphem Silizium dar.

Die größten Herausforderungen für die weiteren Entwicklungsarbeiten werden von Sharp in der Kostenreduktion der Technologie gesehen. Außerdem bestehen folgende konkrete Forschungsziele:

- Verbesserung der Langzeitstabilität: Im Rahmen eines durch NEDO im Programm „R&D for Next Generation PV Systems“ (2006 - 2009) geförderten Vorhabens (siehe auch Kap. 4.1.2) sollen Module mit einer Größe von 900 cm² und einem Wirkungsgrad von 8 % entwickelt werden. Die Wirkungsgradabnahme über die Zeit dieser Zellen soll nicht mehr als 10 % betragen und sie sollen nach dem japanischen Standard JIS-C8938 „Environmental and Endurance Test Methods for Amorphous Solar Cell Modules“ (kompatibel mit IEC 61646) geprüft werden. Darüber hinaus sollen die Versiegelung, die Kontaktierung und die Zellstruktur verbessert werden sowie nichtflüchtige Elektrolyte entwickelt werden.
- Verbesserung des Wirkungsgrades: In demselben Vorhaben soll die maximale Effizienz von Farbstoffsolarzellen auf 15 % gesteigert werden (1 cm² Versuchszelle) und außerdem neue Farbstoffe sowie neue Formen des Zellaufbaus (Tandem-Zelle, etc.) erforscht werden.

Weitere Forschungspartner und Akteure des Innovationsnetzwerkes von Sharp

In dem oben genannten durch NEDO geförderten Forschungsvorhaben kooperiert Sharp mit den folgenden Partnern

- AIST (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology): hier speziell das “Research Institute of Instrumentation Frontier (RIIF)”
- Kobe University, Department of Chemistry

4.3.1.3 Fujikura Ltd.

Fujikura Ltd. ist eine aus 72 Einzelunternehmen bestehende Unternehmensgruppe, die elektronische Bauteile (Spezialkabel, Sensoren, Platinen, Membrane, etc.) z. B. für die Telekommunikations- und Automobilindustrie herstellt. Aufgrund seiner Funktion als zentraler Zulieferer wichtiger optischer und elektrotechnischer Bauteile, besitzt Fujikura zwei eigene Forschungseinheiten („Optic and Electronics Laboratory“ and „Material Technology Laboratory“). Das Material Technology Laboratory forscht seit mehreren Jahren auch an der Farbstoffsolarzelle. Inhalt der Forschung sind sämtliche Komponenten der Farbstoffsolarzelle sowie insbesondere die Skalierbarkeit der Technologie für größere Module und die Langzeitstabilität.

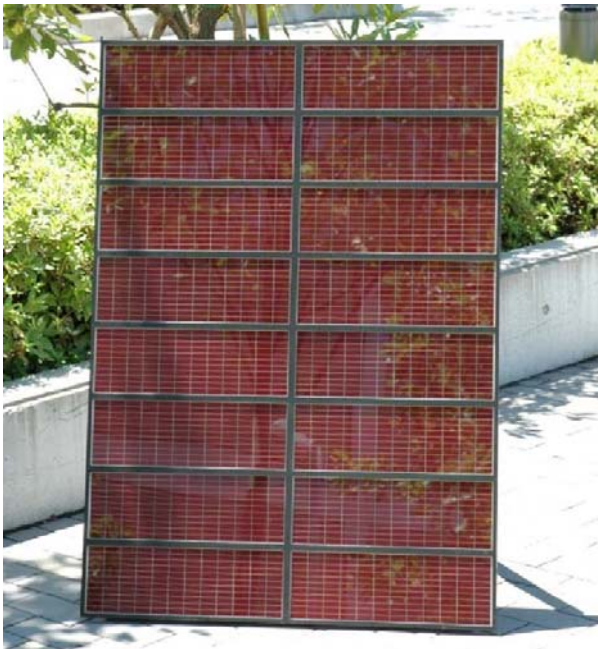


Abbildung 9: Prototyp eines Moduls mit Farbstoffsolarzellen von Fujikura³⁰

Fujikura hat im Jahr 2006 die Entwicklung größerer Farbstoffsolarzellenmodule (1190 * 840 mm) angekündigt und einen ersten Prototypen vorgestellt³¹. Dieses Modul besteht aus 16 Submodulen, die sich wiederum aus seriell verschalteten Einzelzellen zusammensetzen.

³⁰ Siehe www.gsasprogram.org/LiteratureDSC-OSC/DSC/Cell+Modules/Fujikura_DSC-Modul.pdf - (letzter Abruf Oktober 2008)

³¹ Siehe hierzu www.gsasprogram.org/LiteratureDSC-OSC/DSC/Cell+Modules/Fujikura_DSC-Modul.pdf - (letzter Abruf Oktober 2008)

Technologisch beruht das von Fujikura verfolgte Konstruktionsprinzip auf einem Glassubstrat, welches mit einer Polymerfolie versiegelt wird. Als Farbstoff kommt roter Rutheniumfarbstoff (N 719 von Dyesol) zum Einsatz. Zur besseren Versiegelung der Module werden diese unter Gasatmosphäre in eine zweite Kammer aus Glas eingebettet.

Marktreife, Anwendungsfelder und geplante Forschungsarbeiten

Informationen von Fujikura zur Marktreife bzw. zu zukünftigen Anwendungsfeldern der Farbstoffsolarzelle sind derzeit nicht bekannt. Fujikura hat jedoch in der bereits erwähnten Ankündigung aus dem Jahr 2006 darauf hingewiesen, dass das Unternehmen Forschungspartner eines Projektes im Rahmen des NEDO-Programms „R&D for Next Generation PV Systems“ (2006 - 2009) ist. Innerhalb dieses Projektes sollen demnach auch die für die Fertigung notwendigen semikontinuierlichen Produktionsprozesse weiterentwickelt werden.

Eine Überprüfung der bisher entwickelten Module nach dem Standard JIS-C8938 „Environmental and Endurance Test Methods for Amorphous Solar Cell Modules“ wurde begonnen. Nach Aussage von Fujikura sind die Ergebnisse für die thermische Stabilität gut, während die Adsorption von Feuchtigkeit und damit Versiegelung der Module noch weitere Forschungsarbeiten erfordern.

Weitere Forschungspartner und Akteure des Innovationsnetzwerkes von Fujikura

Im Rahmen des oben genannten NEDO-Projektes kooperiert Fujikura mit der University of Science Tokyo, Department of Industrial Chemistry, Faculty of Engineering: H. Arakawa.

4.3.1.4 Weitere Unternehmen

Neben den genannten Hauptakteuren aus dem Unternehmensumfeld sind weitere Akteure bekannt, die entweder an der Entwicklung von technischen Komponenten der Farbstoffsolarzelle beteiligt sind oder eigene Ansätze verfolgen, die jedoch nach aktueller Einschätzung gegenüber den genannten Hauptakteuren noch keinen vergleichbaren Stand erreicht haben:

Hitachi Ltd.: Hitachi Ltd. ebenfalls ein großer japanischer Elektronikkonzern, hat angekündigt, aufbauend auf seinen Kompetenzen aus der Displayfertigung eigene Farbstoffsolarzellen entwickeln zu wollen. Die Module sollen nach eigenen Angaben 12 * 12 cm groß sein und aus einer Glas-Glas Konstruktion bestehen. Nähere Angaben über die Art der verwendeten Farbstoffe und die Versiegelung sind nicht bekannt. Die Forschungsarbeiten von Hitachi finden im Rahmen eines so genannten „Integrated Indus-

trial Academia Partnership (IIAP)“ in Zusammenarbeit mit der Kyoto University sowie den Unternehmen ROHM, Pioneer, Mitsubishi Chemical und NTT statt.

Peccell Technologies Inc.: Peccell ist eine Ausgründung der Toin University in Yokohama von Prof. Miyasaka. Peccell produziert Titandioxidpasten und elektrisch leitende Polymerfolien (PECF, ITO). Beide Komponenten können für die Herstellung von Farbstoffsolarzellen genutzt werden. Dyesol ist im Jahr 2007 eine Partnerschaft mit Peccell eingegangen und inzwischen der alleinige Vertriebspartner für Peccell-Produkte außerhalb Japans.

Nippon Chemical Industrial Co., Ltd.: Die Firma Nippon Chemical ist ein Chemieunternehmen, das in Kooperation mit der Tokai University im Bereich der ionischen Flüssigkeiten und ihrer Nutzung in Farbstoffsolarzellen forscht.

Toshiba hat sich nach Angaben von Interviewpartnern aus der Forschung zu Farbstoffsolarzellen zurückgezogen. In welchem Maße Sony noch in der Forschung tätig ist, ist derzeit nicht bekannt.

4.3.2 Universitäten und weitere Forschungseinrichtungen

Im Folgenden sind die wichtigsten Universitäten und Institute, die Forschung auf dem Gebiet der Farbstoffsolarzelle betreiben, mit ihrem jeweiligen Lehrstuhlinhaber oder Forscher und Forschungsschwerpunkt tabellarisch dargestellt. Die Auswertung erfolgte mittels der Literaturlatenbank Scopus³². Es wurden mit entsprechenden Stichwörtern die Anzahl der Publikationen sowie die Anzahl der Zitierungen erfasst.

³² Scopus ist eine US-amerikanische Datenbank zur Recherche wissenschaftlicher Literaturquellen (Abstracts aus Fachzeitschriften, Konferenzen, etc.) siehe www.scopus.com

Tabelle 3: Wichtige japanische Universitäten bzw. Lehrstühle auf dem Gebiet der Farbstoffsolarzelle

Name des Lehrstuhlinhabers und Forschungsinstitution	Hauptforschungsrichtung im Bereich Farbstoffsolarzellen	Anzahl der Publikationen (Scopus)	Anzahl der Zitierungen	Forschung seit
Prof. Shozo Yanagida, Center for Advanced Science and Innovation, Osaka University	Ionic liquid based gel electrolytes, solid-state electrolytes, polymer hole conductors	473	6998	1990
Prof. Hironori Arakawa, Tokyo University of Science, früher AIST	Metal complex dyes, organic dyes, high efficiency DSC	80	2204	1998
Prof. Shuichi Hayase, Kyushu Institute of Technology	Modified TiO ₂ and metal oxide nano materials for photo-electrode, DSC on plastic films, gel electrolytes, dye coloration	39	252	2001
Prof. Tsutomu Miyasaka, Toin University of Yokohama, Tokyo University	Low-temperature sintering of TiO ₂ photo-electrode films, low-cost DSC concepts on foils	21	263	2002
Prof. Susumu Yoshikawa, Institute of Advanced Energy, Kyoto University	Modified TiO ₂ photoelectrodes, synthesis of metal oxide nano particles and nano rods	24	257	2002
Prof. Ryuzi Katoh, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba	New organic dyes, modified ruthenium dyes	37	730	2000

Neben den Universitäten stellen auch die „National Institutes of Advanced Industrial Science and Technology“ (AIST) wichtige Forschungsinstitutionen auf dem Gebiet der Farbstoffsolarzelle dar.

4.3.3 Verbände und Organisationen

Im Folgenden werden japanische Verbände und Organisationen aus Wirtschaft und Wissenschaft vorgestellt, die nach Aussage der Interviewpartner relevant für das Innovationssystem Farbstoffsolarzelle sind.

Japanese Society for the Promotion of Science, 175th Committee on Innovative Photovoltaic Power Generating Systems

Die „Japanese Society for the Promotion of Science (JSPS)“ wurde 1932 als gemeinnützige Stiftung zur akademischen Wissenschaftsförderung gegründet. Seit 2001 untersteht sie als unabhängige Verwaltungsinstitution dem „Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology“ und übernimmt eine zentrale Rolle bei der Umsetzung und Verwaltung der japanischer Wissenschafts- und Forschungsprogramme. JSPS finanziert sich sowohl aus öffentlichen Geldern als auch aus Beiträgen der Industrie. Zu ihren Hauptaufgaben gehören:

- die Förderung von Forschung und internationalem wissenschaftlichen Austausch,
- die Umsetzung von Forschungsprogrammen,
- die Förderung von Kooperationen und Austausch zwischen universitärer Forschung und Industrie sowie
- die Verbreitung von Forschungsergebnissen.

Insbesondere für die Förderung der Forschungsk Kooperation zwischen Universitäten und Industrie hat die JSPS seit ihrer Gründung rund 200 kooperative Forschungskomitees zu einzelnen Themenfeldern eingerichtet. Diese Komitees werden finanziell durch öffentliche Gelder unterstützt und berichten an ein Beratergremium der JSPS, welches wiederum Empfehlungen für die akademische Forschungsförderung ausspricht.

Für das Thema Farbstoffsolarzellen bildet das 175. „Committee on Innovative Photovoltaic Power Generating Systems“ ein wichtiges Gremium für den fachlichen Austausch und die Forschungsplanung.

The Chemical Society of Japan

Die „Chemical Society of Japan (CSJ)“ wurde 1878 als Wissenschaftsorganisation gegründet, schloss sich jedoch im Jahr 1948 mit der „Society of Chemical Industry“ zu-

sammen. Ihr wichtigstes Ziel ist, in Kollaboration mit anderen Organisationen die Rolle der Chemie in Forschung und Industrie zu stärken. CSJ ist in Divisionen und Arbeitsgruppen organisiert, in denen sowohl ein fachlicher Austausch zwischen Forschungsorganisationen als auch zwischen Forschung und Industrie erfolgt. Das Thema Farbstoffsolarzellen wird innerhalb der CSJ in verschiedenen Arbeitsgruppen und Zusammenhängen behandelt. Die CSJ stellt nach Aussage mehrerer Interviewpartner eine wichtige Plattform für den fachlich-wissenschaftlichen Austausch zwischen Forschungsinstitutionen und Unternehmen zum Thema Farbstoffsolarzelle dar. Der Austausch erfolgt beispielsweise in Form von gemeinsamen Veranstaltungen, Publikationen sowie auf der Ebene von Fachgruppen.

The Electrochemical Society of Japan

Die „Electrochemical Society of Japan (ECSJ)“ wurde 1933 als gemeinschaftliche wissenschaftliche und industrielle Organisation zur Förderung des Gebietes der Elektrochemie und der industriellen, physikalischen Chemie gegründet. Wie auch die CSJ bildet diese Organisation nach Aussagen der Interviewpartner eine wichtige Plattform für den fachlichen Austausch zwischen wissenschaftlichen und industriellen Akteuren in Form von gemeinsamen Veranstaltungen, Publikation und Vorträgen in fachspezifischen Gruppen.

Neben den genannten Organisationen gibt es eine Vielzahl weiterer industrieller Verbände, die sich direkt oder indirekt mit dem Thema Photovoltaik beschäftigen. Im Folgenden werden einige dieser Institutionen, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, genannt:

- **Photovoltaic Power Generation Technology Research Association (PVTEC):** PVTEC ist eine Vereinigung der japanischen PV-Produzenten, die direkte Forschungsförderung des NEDO erhalten, sich jedoch in erster Linie mit Silizium- und CIS-Dünnschichttechnologien beschäftigen.³³
- **Japan Photovoltaic Energy Association (JPEA):** Die Japan Photovoltaic Energy Association³⁴ wurde Ende der 80er Jahre als industrieller Verband gegründet, um die Interessenvertretung gegenüber der japanischen Regierung abzustimmen und zu koordinieren. Gründungsmitglieder dieses Verbandes waren insbesondere solche Unternehmen, die aufgrund ihrer strategischen Ausrichtung auf eine langfristige Entwicklung der Photovoltaik abzielten (hierzu zählen z. B. die Unternehmen Kyocera und Sharp, siehe Kimura, Suzuki 2006: 10).

³³ Für weitere Informationen siehe <http://www.pvtec.or.jp/englishindex.htm>

³⁴ Siehe auch <http://www.jpea.gr.jp/> (letzter Abruf, Oktober 2008, nur japanische Webseite)

- **Solar System Development Association (SSDA):** nur japanische Informationen verfügbar (siehe <http://www.ssda.or.jp/index.php>)
- **Japan Council for Renewable Energy:** nur japanische Informationen verfügbar

4.3.4 Politik und Staat

Zentrales Gremium zur Entwicklung und Koordination der staatlichen Förder- und Ausbaustrategien der regenerativen Energien ist in Japan das dem Premierminister unterstellte „Council for Science and Technology Policy“. Dieses entwickelt unter anderem die nationale Strategie für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Japan und koordiniert die Förderpolitiken der einzelnen Ministerien.

Zu den wichtigen energiepolitischen Zielen der japanischen Regierung zählt neben der Förderung der Unabhängigkeit der heimischen Energieversorgung von Importen und der Erfüllung der Emissionsminderungsziele des Kioto-Protokolls, eine deutliche Kostenreduktion der PV-Technologie, um sowohl den einheimischen Markt auszubauen als auch den Export von PV-Technologie zu stärken (siehe z. B. Sakata 2005 und Fukuda 2007).

Die zentrale Institution für den Ausbau der erneuerbaren Energien stellt das „Ministry of Economy, Trade and Industry (METI)“ dar, welches die Forschung und Entwicklung industrieller und wissenschaftlicher Akteure aus wirtschaftlicher Perspektive koordiniert. Das METI bzw. sein Beratungsgremium „Advisory Committee for Natural Resources and Energy“ erarbeitet auch in regelmäßigen Abständen den so genannten „Long-term Energy Supply and Demand Outlook“, der quantitative Ziele für die japanische Energiepolitik vorgibt. Innerhalb des Gremiums gibt es eine Arbeitsgruppe („Subcommittee New Energy“), die sich speziell mit den Zielvorgaben für erneuerbare Energien beschäftigt und beispielsweise auch die Ziele für den Anteil erneuerbaren Energien an der Gesamtenergieerzeugung bis Jahr 2010 vorgibt (Tanaka, Ikki 2006).

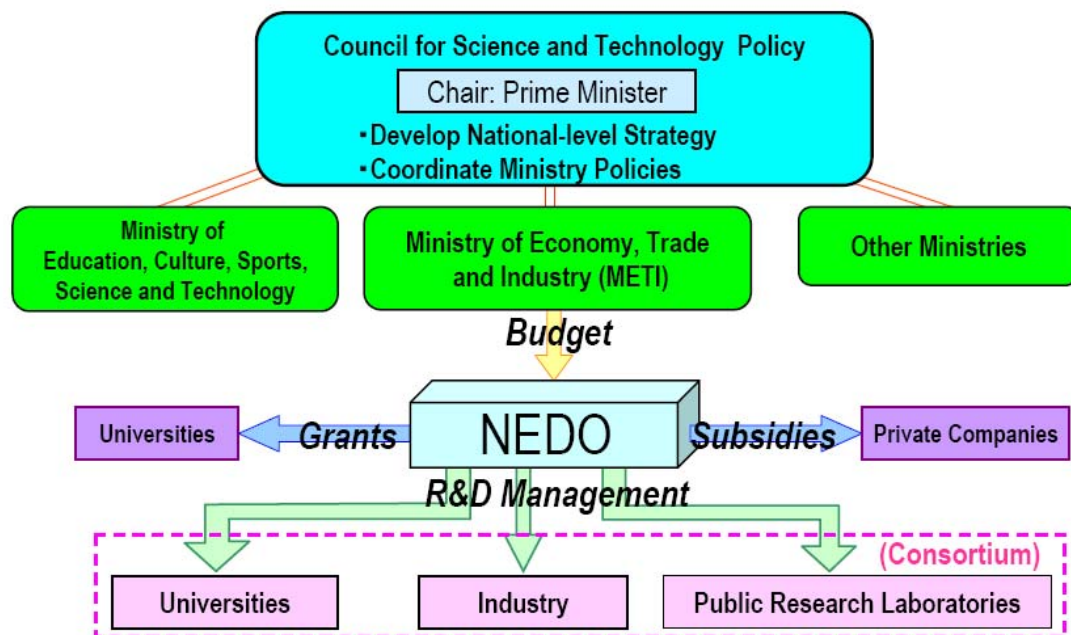


Abbildung 10: Struktur der Forschungsförderung im Bereich erneuerbarer Energien in Japan (Fukuda 2007: 5)

Speziell für die Betreuung und Förderung der Farbstoffsolarzellentechnologie zuständig ist innerhalb von NEDO die Abteilung „New Energy Technology Development“.

Wichtigstes Förderziel von NEDO ist neben dem Ausbau der PV-Produktion gemäß der nationalen Förderstrategie, die Kostenreduktion der Technologie voranzutreiben. Dabei wird nach zwei Prioritäten vorgegangen.

- Zum einen erfolgt eine „Seed Identification“ und Förderung im Bereich von Produktionstechnologien, Industrialisierung und Kommerzialisierung.
- Zum anderen werden über das „Advanced PV Generation Programme“ direkte Technologieentwicklung sowie die Errichtung von Anlagen zur Pilotproduktion gefördert. Hierin liegt ein wichtiger Unterschied zur PV-Förderung in Europa und Deutschland, die selten die Förderung von Pilotproduktionen vorsieht.

Die staatliche Förderung für die Installation von PV-Anlagen und den Ausbau des Netzes erfolgt durch die „New Energy Foundation“ (NEF), eine staatliche Stiftung, deren Auftrag die Verbreitung und Entwicklung erneuerbarer Energien ist.

Zu den weiteren Ministerien, die direkt oder indirekt den Ausbau der erneuerbaren Energien und der Photovoltaik fördern zählen:

- Das „Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT)“: Das Ministerium hat in den zurückliegenden Jahren insbesondere die Ausstattung von öffentlichen Gebäuden mit Solaranlagen gefördert.
- Das „Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT)“: Dieses hat in der Vergangenheit die Ausrüstung von mehreren hundert Schulen und Kindergärten mit PV-Anlagen unterstützt sowie
- Das „Ministry of Environment (MOE)“: Das Umweltministerium unterstützt im Rahmen einer umweltfreundlichen Beschaffung und Sanierung auch die Installation von PV-Anlagen in ausgewählten Projekten. Zukünftig soll das MOE stärker in die Förderung der Verbreitung der PV-Technologie einbezogen werden und in Abstimmung mit dem METI eigene Fördermaßnahmen in diesem Bereich beginnen (Tanaka, Ikki 2006)

Wie bereits in Kap. 4.1 erwähnt, sind neben der nationalstaatlichen Ebene insbesondere die lokalen Regierungen auf der Ebene der Präfekturen und Städte wichtige Unterstützer der Photovoltaik. Sie fördern beispielsweise den Bau und die Installation von privaten und öffentlichen PV-Anlagen durch zinsgünstige Kredite.

4.4 Anwendungs- und Marktperspektiven

Der japanische PV-Markt wird derzeit wie auch der deutsche PV-Markt durch eine intensive Diskussion um Maßnahmen zur Kostenreduktion und Wirkungsgradsteigerung bestimmt. Um auf diesen Feldern Fortschritte zu erzielen und Japans Spitzenstellung auf dem Weltmarkt zu sichern, setzt die japanische Regierung bei ihren Förderaktivitäten stark auf die Optimierung der Silizium- sowie der bestehenden Dünnschichttechnologien. Die Förderung neuer PV-Technologien der 3. Generation wird als wichtiges Forschungs- und Entwicklungsfeld zur Zukunftssicherung angesehen und besitzt aufgrund der langfristigen Orientierung der japanischen Forschungs- und Förderpolitik einen hohen Stellenwert (siehe Kap. 4.1.2).

Marktabschätzungen sowie Unternehmensakteure sehen übereinstimmend die größten Anwendungs- sowie Marktpotenziale für Photovoltaik in Japan im Bereich der dachgestützten und gebäudeintegrierten Photovoltaik (siehe z. B. Jäger-Waldau 2006: 24f, Sakata et al. 2005). Insbesondere Kimura und Suzuki (2006: 19f) haben die Entwicklung des japanischen PV-Marktes und seine Erfolgsfaktoren detailliert beschrieben und neben den stabilen, langfristigen Forschungs- und Förderbedingungen sowie der aktiven Marktförderung (bestehend aus Push and Pull Policies) durch die Regierung auch die Rolle zahlungskräftiger und umweltbewusster Konsumenten hervorgehoben.

Tanaka und Ikki (2006) erwarten, dass durch eine weitere Reduktion der Produktionskosten und durch einen Ausbau der Partnerschaften zwischen japanischen PV- und Bauunternehmen, die Nachfrage nach PV-Anlagen durch private Bauherren von derzeit rund 100.000 Anlagen auf 200.000 Anlagen pro Jahr gesteigert werden kann. Je nach erwarteter Anlagengröße würde dies einem zusätzlichen jährlichen Installationsvolumen von rund 400 – 800 MW entsprechen. Darüber hinaus werden aufgrund der vorhandenen Potenziale und der expliziten Förderprogramme der japanischen Regierung vor allem weitere Installationen auf öffentlichen und industriellen Gebäuden erwartet.

Der anhaltende Druck zur Senkung der Produktionskosten und Marktpreise betrifft zwar alle Photovoltaiktechnologien gleichermaßen, wird jedoch von japanischen Akteuren aus der Politik und der Forschung vor allem als Chance für die Entwicklung von PV-Technologien der 3. Generation und damit auch von Farbstoffsolarzellen gesehen, wenngleich für mehrere Komponenten der Zellen (z. B. TCO-Glas, Farbstoff) die Materialkosten noch stark reduziert werden müssen³⁵.

Neben den Potenzialen zur Kostenreduktion, wird auch die Skalierbarkeit der Farbstoffsolarzellen als wichtige Eigenschaft für zukünftige Anwendungen angesehen. Durch die höheren Freiheitsgrade bei der Formgebung und Größe der Zellen und Module können demnach Dachflächen besser ausgenutzt und homogene Erscheinungsbilder von Dachflächen erzeugt werden.

Gemäß der beschriebenen Rahmenbedingungen wird das wichtigste, initiale Anwendungsfeld von Farbstoffsolarzellen von den befragten Akteuren in Standardmodulen gesehen, die aufgrund ihrer geringeren Produktionskosten, der flexibleren Formgebung und der homogenen Oberflächengestaltung eine attraktives und konkurrenzfähiges Produkt zu den existierenden Silizium- und Dünnschichtmodulen darstellen. Nach Auffassung der befragten Akteure, kann nur der Absatz größerer Massen von Farbstoffsolarzellen, z. B. über die bereits erwähnten Joint Ventures mit den Fertighausproduzenten, die Technologie konkurrenzfähig machen. Aufgrund der Erfahrungen der japanischen Akteure mit Outdoortests (siehe Kap. 4.3.1) und dem aktuellen NEDO-Programm „R&D Next Generation PV Systems“ (siehe auch Kap. 4.1.2) könnten hier bereits in den nächsten fünf - zehn Jahren erste Produkte marktreif sein.

Eine zusätzliche, wenn auch weiter in der Zukunft (ca. zehn Jahre) anzusiedelnde, Anwendungsmöglichkeit für Farbstoffsolarzellen ergibt sich nach Aussage der befrag-

³⁵ Ergebnisse eigener Expertengespräche mit Akteuren aus den Forschungsabteilungen mehrerer großer japanischer Photovoltaikunternehmen im Rahmen der 17. PVSEC in Fukuoka, Japan Dezember 2007.

ten Akteure auch im Automobilbereich. Farbstoffsolarzellen könnten z. B. in Dächer oder Verkleidungen integriert werden und die Energieversorgung von Antrieben, Belüftung oder anderen Komponenten unterstützen. In diesem Anwendungsfall wären insbesondere die hohe Temperatur- und Verschattungstoleranz der Farbstoffsolarzellen von Vorteil. Der Automobilsektor wird von den befragten Akteuren aufgrund der hohen produzierten Stückzahlen ebenfalls als ein möglicher Eintrittsmarkt angesehen.

Neben diesen verhältnismäßig großflächigen Anwendungen von Farbstoffsolarzellen wurde von den Akteuren das Feld energieautarker und energieeffizienter Sensoren als ein zusätzliches mögliches Anwendungsfeld gesehen. Diese Anwendung besäße insbesondere in der kombinierten und kostengünstigen Fertigung von Sensor und Energieversorgungseinheit ein noch zu analysierendes Marktpotenzial.

Wenig Anwendungspotenzial und Marktchancen für Farbstoffsolarzellen sehen die befragten Akteure dagegen in Energieversorgungseinheiten für mobile Endgeräte (z. B. Mobiltelefone, Notebooks, etc.), da der Wirkungsgrad für die Versorgung dieser Geräte nicht ausreichend ist.

4.5 Stärken und Schwächen im Vergleich zu anderen FSZ-Innovationssystemen

Das japanische Innovationssystem Farbstoffsolarzelle besitzt im Vergleich mit anderen Innovationssystemen (z. B. in Deutschland und Australien) eine Reihe von spezifischen Stärken, die sich sowohl auf die grundsätzlichen Rahmenbedingungen der Photovoltaik als auch auf die Farbstoffsolarzelle beziehen und im Folgenden dargestellt werden.

Akzeptanz der Photovoltaikforschung und langfristige Orientierung von staatlichen und unternehmerischen Akteuren und Institutionen

Die Photovoltaikforschung besitzt in der japanischen Politik und Wirtschaft eine relativ hohe Akzeptanz. Hierfür werden unterschiedliche Gründe, von der hohen Erdölabhängigkeit (Kimura, Suzuki 2006: 3), über wirtschaftliche Interessen (Jäger-Waldau 2004: 12), bis hin zu kulturellen Gründen z. B. in Form von Langfristorientierung und Verbindlichkeit (Kimura, Suzuki 2006: 21) angeführt. Im Gegensatz zu vielen europäischen Ländern und den USA ist die Photovoltaikforschung in Japan in geringerem Maße ein Thema partei- und energiepolitischer Diskussionen, sondern wird vielmehr als ein notwendiger Beitrag zur Verringerung der Abhängigkeit von ausländischen Energieimporten gesehen. Die Förderung der Photovoltaik liegt beispielsweise in der Verantwortung des Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) und nicht beim Umweltministerium (MOE).

Die hohe Akzeptanz gegenüber der Photovoltaikforschung spiegelt sich beispielsweise in den klima- und energiepolitischen Zielsetzungen der japanischen Regierung wieder (siehe Kap. 4.1.1), die auf die Erfüllung der im Kioto-Protokoll festgehaltenen Reduktionsziele von Treibhausgasen abzielt. Aber auch unternehmerische Akteure, wie zum Beispiel der ehemalige Manager der Solar Systems Division des Unternehmens Sharp, Akio Suzuki, äußern sich mit großer Deutlichkeit über ihr langfristiges und strategisches Engagement in der Photovoltaik:

“The PV project of Sharp was in complete deficit in the 1970’s and 1980’s. The reason we could continue the project was the commitment by the top management. The intention of the founder Hayakawa to develop PV was still influential. He believed that PV would be an indispensable technology in the future, and that PV might be a core technology of our company.” (zitiert in Kimura, Suzuki 2006: 10)

Das Bewusstsein, dass wirtschaftlich wirksame Resultate in der Technologieforschung nur durch eine langfristige Orientierung und die Integration von Akteuren aus Politik, Forschung und Unternehmen entstehen können, wirken sich positiv auf die Photovoltaikforschung und auch auf die Forschung im Bereich der Farbstoffsolarzellen aus. So wird die Forschung zu neuen Photovoltaiktechnologien von japanischen Unternehmen z. B. auch als Absicherung der starken Vorreiterposition gesehen. Diese könnte aufgrund der potenziell einfachen Fertigungsverfahren und der geringeren Rohstoffkosten zu einer Konkurrenztechnologie für Siliziumzellen heranwachsen (siehe auch Kap. 4.1.3 und 4.3.1).

Kontinuität in Forschung, Entwicklung und Förderung

Die hohe Akzeptanz, die langfristige Orientierung und die starke Abhängigkeit von Energieimporten haben in den letzten Jahrzehnten in Japan für sehr stabile Rahmen- und Förderbedingungen in der Forschung und Entwicklung gesorgt (siehe auch Kap. 4.1.1 und 4.1.2). Dies hat im Gegensatz zu anderen Ländern zur Herausbildung einer stabilen Forschungscommunity geführt und entsprechende Investitionen von Seiten wirtschaftlicher Akteure ausgelöst (Kimura, Suzuki 2006: 19).

Von dieser Situation hat auch die Forschung zu Farbstoffsolarzellen profitiert. Wie aus Kap. 4.3 deutlich wurde, existiert in Japan eine stark ausdifferenzierte Forschungscommunity zu Farbstoffsolarzellen, die das gesamte Technologiefeld sowie die Wertschöpfungskette umfassen. Diese Forschungscommunity ist weitestgehend autonom, das heißt kaum auf ausländische Akteure angewiesen und orientiert sich aufgrund der engen Kooperation mit Großunternehmen (siehe Kap. 4.3.1) stark an kommerzialisierbaren Produkten und Lösungen.

Unternehmerisches Engagement und Marktorientierung

Wie im vorangegangenen Abschnitt und in Kap. 4.1.3 bereits deutlich wurde, engagieren sich japanische Unternehmen in besonders starkem Maße in der Forschung und Entwicklung von PV-Technologien. Diese Aktivitäten reichen bis in die Ursprünge der Technologie zurück. Bereits kurze Zeit nach der Entdeckung durch die Bell-Laboratories in den USA begannen japanische Institute mit der Forschung und Entwicklung von PV-Zellen, die zunächst in der Weltraumtechnologie zum Einsatz kamen (Kimura, Suzuki 2006: 3).

Dieses Engagement in der Forschung und Entwicklung setzt sich bis in die Gegenwart fort und erstreckt sich mittlerweile auf eine Vielzahl einzelner Technologiefelder innerhalb der Photovoltaik. Wie die Übersicht in Kap. 4.3.1 zeigt, besitzen mehrere international tätige Großunternehmen aus Japan eigene Forschungsgruppen, die auf dem Gebiet der Farbstoffsolarzelle und der organischen Photovoltaik forschen. Dies ist ein wesentlicher Unterschied zu anderen Innovationssystemen der Farbstoffsolarzelle in Europa und Australien. Auch hier wird die langfristige Orientierung der Forschung und Entwicklung deutlich, da nach Aussage der Unternehmen bereits seit vielen Jahren an der Thematik gearbeitet und nicht mit einer unmittelbaren Kommerzialisierung gerechnet wird (siehe Kap. 4.3.1).

Durch das starke unternehmerische Engagement entsteht eine starke Marktorientierung. Trotz der noch zu leistenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sowie der zu lösenden Probleme, werden die ersten Anwendungen der Technologie in etablierten Marktsegmenten wie z. B. dachgestützten Modulen gesehen. Dies wird mit den potenziell niedrigen Produktionskosten begründet, die eine Anwendung als Massenprodukt ermöglichen sollen. Durch das Engagement der Großunternehmen und ihrer Joint-Ventures mit Fertighausproduzenten (siehe Kap. 4.1.3) bestehen zudem etablierte Absatzkanäle für konkurrenzfähige PV-Technologien.

Die starke Marktorientierung spiegelt sich auch in der japanischen Förderpolitik wider, die neben der Grundlagenforschung auch in großem Maßstab die Unterstützung von Pilotproduktionen und großflächigen Demonstrationsvorhaben zur Schaffung kritischer Stückzahlen finanziert (siehe Kap. 4.1.1 und 4.1.2).

Potenzielle Risiken und Schwächen des japanischen Innovationssystems

Neben den genannten spezifischen Stärken des japanischen Innovationssystems Farbstoffsolarzelle bestehen auch Risiken für die weitere Entwicklung der Forschung und Marktentwicklung.

- *Wachsende Konkurrenz durch asiatische Nachbarländer:* Als zunehmende Konkurrenz werden von den japanischen Forschungs- und Unternehmensakteuren die Aktivitäten von Forschungsinstituten in China und Südkorea empfunden. Nach Aussagen von Interviewpartnern wurden in diesen Ländern in den letzten Jahren mit großer Geschwindigkeit ernstzunehmende Kompetenzen aufgebaut. Weniger konkurrenzfähig wird das Verhältnis dagegen zu europäischen Forschungsnetzwerken empfunden³⁶.
- *Nachlassende Förderaktivitäten:* Mit dem Auslaufen der großen staatlichen Förderprogramme im Jahr 2005 (siehe Kap. 4.1.2) begann für die japanische PV-Förderpolitik eine Phase der Neuorientierung. Nach intensiver Evaluation der abgelaufenen Programme, der Roadmapaktivitäten und politischer Beratungen wurden mit dem Programm „R&D for Next Generation PV Systems“ neue Förderschwerpunkte zur Optimierung der Silizium- und Dünnschichttechnologien gesetzt. Auch die Farbstoffsolarzellentechnologie wird durch das Programm gefördert. Ihre Vermarktung wird jedoch erst in fünf bis zehn Jahren als realisierbar erachtet, was von den Akteuren des Innovationssystems als zu starke Prioritätensetzung im Bereich der traditionellen PV-Technologien empfunden wird.
- *Starkes Vertrauen in Marktkräfte:* Eine oftmals geäußerte Kritik an der japanischen PV-Förderpolitik ist, dass mit dem Auslaufen der Förderprogramme zu stark und zu früh auf die Selbstregulation des japanischen PV-Marktes vertraut (siehe z. B. Kimura, Suzuki 2006: 18) und damit die Nachfrage und die Spitzenposition japanischer Forschungsinstitute und Unternehmen gefährdet wird. Insbesondere wurde befürchtet, dass sich die Präfekturen und die Energieversorgungsunternehmen aus ihren jeweiligen Unterstützungsprogrammen, wie z. B. der Förderung von Installationskosten oder dem freiwilligen Net-Metering, vollständig zurückziehen und dadurch den Markt zusätzlich gefährden könnten³⁷. Eine solche Situation würde insbesondere auch den zukünftigen PV-Technologien wie der Farbstoffsolarzelle einen schweren Stand bescheren. Bisher scheinen diese Befürchtungen jedoch nicht

³⁶ Ergebnisse eigener Expertengespräche mit Akteuren aus den Forschungsabteilungen mehrerer großer japanischer Photovoltaikunternehmen im Rahmen der 17. PVSEC in Fukuoka, Japan Dezember 2007.

³⁷ Siehe dazu auch <http://www.earthtimes.org/articles/show/121762.html> (letzter Abruf Oktober 2008)

eingetreten zu sein, wie die aktuell gestarteten neuen Forschungsprojekte zu Farbstoffsolarzellen nahe legen (siehe Kap. 4.1.2).

4.6 Fazit

Die Analyse der Rahmenbedingungen sowie der Stärken und Schwächen des japanischen Innovationssystems Farbstoffsolarzelle im vorangegangenen Kapitel haben gezeigt, dass es sich um ein stark ausdifferenziertes System mit einer Vielzahl von Akteuren aus Politik, Wirtschaft und Forschung handelt. Aufgrund der Komplexität und Größe des Netzwerkes sowie sprachlicher Barrieren konnte nur in wenigen Fällen bis auf die Ebene einzelner Akteure bzw. Personen analysiert werden, dafür konnte aufgrund ausführlicher, vorliegender Materialien und Quellen ein sehr umfassendes Bild des Innovationssystems dargestellt werden.

Einige zentrale Merkmale und Rückschlüsse über das japanische Innovationssystem werden im Folgenden kurz zusammengefasst:

- Bedingt durch die jahrzehntelange Förder- und Entwicklungstradition zur Photovoltaik hat sich in Japan ein sehr stabiles Investitionsklima für die Entwicklung von PV-Technologien etabliert. Die Förderung der Photovoltaik wird in Japan auch als eine gezielte Industrie- und Innovationspolitik gesehen und hat dazu geführt, dass viele traditionelle Industrieunternehmen mit langfristigem Engagement in die Forschung und Entwicklung von Photovoltaik eingestiegen sind.
- Durch die konsensuale Erarbeitung gemeinsamer Entwicklungsziele im Rahmen von Roadmapping und politischen Beratungsprozessen ist ein gemeinsames Verständnis zwischen Akteuren aus Politik, Wirtschaft und Forschung entstanden, dass den grundsätzlichen Stellenwert der Photovoltaik als ein Beitrag zur Unabhängigkeit von fossilen Rohstoffen und zum Klimaschutz anerkennt.
- Durch die gemeinsame Erarbeitung langfristiger Entwicklungsziele, die für die Akteure eine hohe Verbindlichkeit besitzen, ist es gelungen, das Engagement auch unter teilweise schwierigen Marktbedingungen aufrechtzuerhalten. Dies gilt insbesondere auch für die Forschung im Bereich neuer, marktferner PV-Technologien. Die Forschung und Entwicklung im Bereich organischer Photovoltaik wurde und wird als eine Investition in die Zukunft und als langfristige Aufgabe gesehen.

Die genannten Merkmale haben mit dazu geführt, dass japanische Photovoltaikunternehmen zu den führenden Akteuren auf dem Weltmarkt zählen, wenngleich diese Position in den letzten Jahren durch eine Modifikation der nationalen Forschungs- und För-

derpolitik (siehe Kap. 4.1.1) und die wachsende Konkurrenz in anderen asiatischen Staaten (z. B. China und Korea) sowie in Europa geschwächt wurde.

Für die Entwicklung der Farbstoffsolarzellentechnologie folgt daraus, dass, obwohl die Ursprünge der Technologie nicht in Japan liegen, diese mit staatlicher Unterstützung und großer Kontinuität weiterentwickelt wurde. Japanische Unternehmen (insbesondere die in Kap. 4.3.1 genannten Großunternehmen) zählen daher bezüglich der Forschung, Entwicklung und Kommerzialisierung weltweit zu den wichtigsten Akteuren auf dem Gebiet der Farbstoffsolarzelle. Sie besitzen insbesondere durch eigene Testinstallationen Erfahrungen mit der Langzeitstabilität von Farbstoffsolarzellen unter realen Einsatzbedingungen.

Wie bereits oben erwähnt wurde, besteht das Innovationssystem in Japan aus einer Vielzahl von Akteuren. Im Rahmen der Fallanalysen konnten Expertengespräche mit wichtigen Akteuren aus Unternehmen, Forschung und Politik (Toyota/ Aisin Seiki, Sharp, Universitäten, NEDO, etc.) geführt werden. Darauf aufbauend werden die eingangs in Kap. 1.2 formulierten Hypothesen überprüft:

Hypothesen zu Akteuren

A1: In jedem Innovationsprozess lassen sich Schlüsselakteure (z. B. Einzelpersonen, Gruppen oder auch Netzwerke) identifizieren, die maßgeblich an der Entstehung und der erfolgreichen Durchsetzung einer Innovation beteiligt sind.

A2: Neben den notwendigen Ressourcen und fachlichen Kompetenzen ist insbesondere die Rolle und Funktion des unternehmerischen Akteurs (Entrepreneur) und seine Interaktion mit den anderen Akteuren während des Innovationsprozesses von entscheidender Bedeutung für den Erfolg.

Hypothese A1 kann im vorliegenden Fall bestätigt werden. In den beschriebenen Organisationen lassen sich spezifische Personen identifizieren, die mit großer personeller Kontinuität an definierten, die Farbstoffsolarzelle betreffenden, Teilbereichen (Technische Entwicklung, Förderpolitik, etc.) arbeiten und somit maßgeblich an dem Fortbestand und der Weiterentwicklung der Technologie beteiligt sind. Die meisten dieser Personen kennen sich untereinander, bilden Netzwerke und tauschen sich z. B. im Rahmen von Kooperationen, Forschungsprojekten oder auch Gremien aus.

Hypothese A2 kann bestätigt werden. Das japanische Innovationssystem zeichnet sich insbesondere durch starke unternehmerische Akteure aus, die mit der Entwicklung von Farbstoffsolarzellen in erster Linie wirtschaftliche Interessen verfolgen. Dies wird auch an präzisen Zielvorgaben (Kosten, Wirkungsgrade, etc.) für die weitere Entwicklung der

Technologie deutlich, wobei diese wiederum in enger Abstimmung mit Akteuren aus der Politik und Forschung entwickelt werden (siehe auch U1).

Hypothesen zum Innovationsnetzwerk

I1: Der Erfolg einer Innovation hängt von der Zusammensetzung und der Form und Intensität der Interaktion der jeweiligen Akteure in einem Netzwerk (Innovation Community) ab.

I2: Die frühzeitige Einbindung von trendführenden Nutzern ergänzt das Innovationsnetzwerk um wichtige Akteure, die durch das Einbringen ihrer Anforderungen die Absatzchancen eines zukünftigen Produktes verbessern.

Die Darstellung der Innovationsakteure in Kap. 4.3 hat bereits verdeutlicht, dass es sich bei dem japanischen Innovationssystem zur Farbstoffsolarzelle um ein weit verzweigtes und komplexes Netzwerk bzw. eine Innovation Community handelt. Es handelt sich zudem um ein Netzwerk, das eine Vielzahl von Akteuren aus unterschiedlichen Institutionen (Wirtschaft, Forschung, Politik, Verbände) umfasst. Insofern kann die Aussage über die Zusammensetzung des Netzwerkes aus Hypothese I1 bestätigt werden. Zur Intensität der Interaktion kann hier keine Aussage getroffen werden, da dies nicht explizit abgefragt wurde. Die Vielzahl der japanischen Gremien und Verbände im Bereich der Photovoltaik lässt allerdings darauf schließen, dass eine hohe Intensität der Interaktion zwischen den Akteuren vorliegt.

Zur Hypothese I2 kann keine Aussage gemacht werden, da die Einbindung von trendführenden Nutzern nicht abgefragt wurde. Vermutlich spielt die Einbindung von Nutzern auf dem japanischen Markt bisher auch keine große Rolle, da ein Großteil der privaten PV-Anwendungen über Joint-Ventures mit Fertigungsfirmen in den Markt gebracht werden und die japanischen PV-Unternehmen daher wenig Kontakt mit Endkunden haben.

Umfeld und Rahmenbedingungen

U1: Der Markterfolg von neu entwickelten Produkten hängt in der Solarwirtschaft noch stark von staatlichen gesetzten Rahmenbedingungen (z. B. Einspeisevergütung, Emissionshandel, Förderprogramme) ab. Es besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen langfristig ausgerichteten Rahmenbedingungen, der strategischen Produktplanung und dem Erfolg von Produktinnovationen in der Solarwirtschaft.

U2: Ein wesentlicher Erfolgsfaktor für Produktinnovationen der Solarwirtschaft liegt in der spezifischen Kenntnis unterschiedlicher nationaler Märkte und ihrer Rahmenbedingungen sowie der Adaption des Produktes der Vermarktungsstrategie an diese Rahmenbedingungen.

Hypothese U1 trifft im Fall des japanischen Innovationssystems zu. Die Förderhistorie und die langfristige Ausrichtung der Förderung sowie die damit verbundenen Zielsetzungen, die in einem Roadmapping-Prozess zwischen Akteuren aus Wirtschaft, Forschung und Politik erarbeitet werden, sind ein besonders deutliches Beispiel dafür, wie durch eine strategische Ausrichtung von Forschungsförderung, -programmen und -politik ein Markt entwickelt und auch über wirtschaftlich schwierige Phasen hinweg stabilisiert werden kann.

Auch Hypothese U2 lässt sich für den vorliegenden Fall positiv beantworten, denn ein Teil des bisherigen Erfolgs des japanischen Innovationssystems zur Photovoltaik beruht auf exakten marktspezifischen Kenntnissen und Anpassungen von Produktinnovationen auf den nationalen Markt, beispielsweise den Joint-Ventures zur Vermarktung von Photovoltaik mit Fertighausherstellern und Bauunternehmen.

Für das Innovationssystem der Farbstoffsolarzelle ist dieser Nachweis noch zu erbringen. Auch hier zeichnet sich jedoch bereits eine Adaption der Technologie- und Produktentwicklung für den japanischen Markt ab. So wird seitens der japanischen Unternehmen ein sehr viel größerer Schwerpunkt auf die Entwicklung kostengünstiger Farbstoffsolarzellen gelegt, die als klassische Dachanwendungen zum Einsatz kommen sollen. Im Gegensatz zu den Akteuren in Europa und Australien wird der Einsatz in Fassaden oder als Stromversorgung für mobile Endgeräte als weniger wichtig erachtet. Diese Einschätzungen beruhen auch auf den spezifischen japanischen Marktbedingungen, die vor allem die private Anwendung im Gebäude stärken.

5 Das Farbstoffsolarzellen-Innovationssystem der australischen Firma Dyesol

Neben dem bereits analysierten japanischen Innovationssystem stellt Australien einen weiteren wichtigen Forschungsschwerpunkt für Farbstoffsolarzellen dar. Im Gegensatz zu Japan wo ein über Jahrzehnte gewachsenes Innovationssystem aus Staat, Unternehmen und Forschungsorganisationen entstanden ist, gehen die Aktivitäten in Australien im Wesentlichen von der Firma Dyesol aus.

5.1 Umfeld und Rahmenbedingungen der Photovoltaik in Australien

Durch die Ende 2007 ernannte australische Labour-Regierung wurde der Umgang mit dem Klimawandel zu einem der prioritären Ziele der australischen Regierung. Ein eigenständiges Ministerium für Klimawandel wurde geschaffen, die Regierung trat dem Kyoto-Protokoll bei und erhöhte die nationalen Ziele für erneuerbare Energien (z.B. Clean Energy Target oder Emissionshandel). Im Rahmen des „Mandatory Renewable Energy Target (MRET)“ sollen im Jahre 2020 erneuerbare Energien mit einen Anteil von 20 Prozent zum gesamten Energieverbrauch des Landes beitragen³⁸.

Der australische Staat fördert allerdings schon seit einigen Jahren im Rahmen des Photovoltaic Rebate Programme (PVRP) die Installation von PV Anlagen für Privatpersonen mit acht australischen Dollar³⁹ pro Watt (bis zu einem Maximum von 8.000 \$). Weiterhin werden Schulen und Vereine gefördert. Das Förderprogramm ist mit 150 Millionen Dollar aufgelegt und läuft von 2007 bis 2021⁴⁰.

Weiterhin wurden sog. Solar Cities (bislang sieben Städte) ausgerufen, die eine besondere Förderung zur Installierung von Solarmodulen erhalten (Photon International 2008).

Schließlich fördert bzw. förderte die australische Regierung auch Forschungs- und Kommerzialisierungsprojekte, z.B. im (mittlerweile ausgelaufenen) Programm „Solar photovoltaics renewable energy commercialisation in Australia“ des „Department of the Environment, Water, Heritage, and the Arts“⁴¹ oder im seit 1997 existierenden „Defen-

³⁸ siehe <http://www.climatechange.gov.au/renewabletarget/index.html> (letzter Abruf Oktober 2008). Das MRET ursprünglich schon im Jahr 2000 eingeführt.

³⁹ 1 AUD (Australischer Dollar) entspricht ca. 0,5 EUR (Euro)

⁴⁰ siehe <http://www.environment.gov.au/settlements/renewable/pv> (letzter Abruf Oktober 2008).

⁴¹ siehe <http://www.environment.gov.au/settlements/renewable/recp/pv/index.html>, (letzter Abruf Oktober 2008)

ce Capability and Technology Demonstrator (CTD) program“ des Department of Defence⁴².

Aktuelle Recherchen zeigen, dass durch den Regierungswechsel die Förderlandschaft im Umbruch ist. Die neue Regierung beabsichtigt, die Förderung für erneuerbare Energien auszubauen. So wird z.B. momentan über eine Verdopplung der Fördermittel im PVRP und eine Umbenennung in Solar Home Power Plan sowie weitere Fördermöglichkeiten diskutiert (vgl. Photon International 2008).

Regierung und Industrie haben im Jahre 2000 die sog. „Renewable Energy Action Agenda (REAA)“, entwickelt und diese 2005 überarbeitet, um den Anteil erneuerbarer Energien zu erhöhen⁴³. Die REAA soll die Grundlage für Marktentwicklung, den Aufbau einer australischen Industrie, die Entwicklung geeigneter Rahmenbedingungen sowie die Förderung einer Innovationskultur unter Einbeziehung unterschiedlichster Akteure der Gesellschaft schaffen. Dies beinhaltet die Herstellung von zukunftsfähigen Treibstoffen, erneuerbaren Energien aus Sonne, Wind, Biomasse, Tidenhub und Wasserwellen, Wasserkraftwerken, Geothermie, Wasserstoff, entsprechenden Umwandlungstechnologien und Dienstleistungen. Die Roadmap enthält spezifische Aussagen zur Förderung der Photovoltaik, benennt Ziele für Forschung, Marktentwicklung und institutionelle Rahmenbedingungen. Eines der Forschungsziele ist dabei die Erhöhung der Effizienz von Farbstoffsolarzellen⁴⁴.

Der Unternehmensverband Australian Business Council for Sustainable Energy (BCSE)⁴⁵ verantwortet die Umsetzung der Roadmap. Mittlerweile wurde BCSE mit dem Verband für die Windkraftindustrie (Auswind) zum Clean Energy Council vereinigt.

Auf dieser Basis wurde eine Technologie-Roadmap, die Renewable Energy Technology Roadmap erarbeitet (Commonwealth of Australia 2002). In diesem Dokument finden sich auch spezifische Ziele für die Weiterentwicklung von Farbstoffsolarzellen (vgl. Abbildung 11).

⁴² siehe <http://www.dsto.defence.gov.au/collaboration/3743/> (letzter Zugriff Oktober 2008)

⁴³ Auch Sylvia Tulloch von der Fa. Dyesol war an der Entwicklung der Roadmap beteiligt.

⁴⁴ siehe <http://www.bcse.org.au/default.asp?id=273> (letzter Zugriff Oktober 2008)

⁴⁵ siehe <http://www.bcse.org.au/home.asp> ((letzter Abruf Oktober 2008)

Technical (R&D) issues	
Near-term (1-3 years)	<ul style="list-style-type: none"> • Continue R&D focussed on cost reductions and efficiency gains (I, R) • Government should continue its support for R&D and commercialisation of thin film PV (G) • The industry should develop well engineered, aesthetically pleasing building mounted or building integrated PV systems that are easy to install and require little maintenance (I, R) • Demonstrate thin film PV in different locations (I)
Mid-term (4-10 years)	<ul style="list-style-type: none"> • Commercialise high-efficiency thin film cells deposited on opaque and transparent substrates (I, R) • Develop higher efficiency dyes for titania dye solar cells (I, R) • Increase PV production capability 4-fold (I) • Net metering schemes should be implemented Australia-wide and technical barriers to connection should be eliminated (G, I)
Long term (>10 years)	<ul style="list-style-type: none"> • Establish silicon production in Australia (I)

Abbildung 11: F&E-Ziele für Photovoltaik in der australischen Technologie-Roadmap für erneuerbare Energien aus dem Jahre 2002 (Quelle: Commonwealth of Australia 2002)

Der BCSE hat zudem im Jahre 2004 die Australian Photovoltaic Industry Roadmap in einem Konsultationsprozess erarbeitet (BCSE 2004). Dort wurden die sog. Sunrise-Ziele formuliert, die die australische PV-Industrie in Zusammenarbeit mit der Regierung erreichen will. So soll im Jahre 2020 eine installierte Kapazität von 6.740 MW erreicht werden. Die Regierung wird aufgefordert, den Markt zu stimulieren (z. B. durch Einspeisevergütungen), regulatorische Hemmnisse abzubauen (insbesondere auf dem Elektrizitätsmarkt) und bei dem Aufbau einer Solarindustrie zu unterstützen (Capacity Building, z. B. durch Exportförderung, F&E-Mittel sowie Ausbildungsmaßnahmen). Die australische PV-Industrie verpflichtet sich im Gegenzug zu einer Kostenreduktion für PV-Systeme, eine Verbesserung von Qualität, Zuverlässigkeit und Leistung, zu einer Entwicklung und Erweiterung des Marktes durch neue und verbesserte Anwendungen und durch die Unterstützung des Capacity Building (BCSE 2004).

Unterschiedliche Universitäten, Forschungseinrichtungen und Unternehmen sind in der Forschung und Entwicklung im Bereich der Photovoltaik aktiv (Quellen: Green 2002, BCSE 2004, BCSE 2006 und eigene Recherchen)

- University of New South Wales (UNSW), Sydney, ARC Photovoltaics Centre of Excellence (<http://www.pv.unsw.edu.au/>): siliziumbasierte Solartechnologien, Siliziumdünnschicht- und Galliumarseniddünnschicht-Solarzellen,
- Murdoch University, Perth, Research Institute for Sustainable Energy (<http://www.rise.org.au/>): Methoden zur kostengünstigen Herstellung von Silizium aus neuartigen Quellen für kristalline und Dünnschicht-Solarzellen sowie Entwicklung netzunabhängiger Systeme für entlegene Gebiete,
- Australian National University, Canberra, Centre for Sustainable Energy Systems, Canberra (<http://solar.anu.edu.au/>): u. a. Sliver-Technologie für Siliziumsolarzellen, Prozesstechnologien und Nanotechnologie für Photovoltaik,

- University of Western Australia, Perth, Centre for Strategic Nanofabrication (<http://www.strategiconano.uwa.edu.au/>): u. a. Synthese, Produktion und Charakterisierung von Nanopartikeln,
- Queensland University of Technology, Professor John Bell und die Applied Nanotechnology Group (<http://www.ausnano.net/index.php?page=groups&group=103>): u. a. Compositetechnologien für Photovoltaik aus Carbon Nanotubes und Polymeren, nanostrukturiertes Titan für Photokatalyse, Herstellung und Modellierung von Farbstoffsolarzellen,
- das National Solar Energy Centre (NSEC) in Newcastle, New South Wales, arbeitet vorwiegend an Solarkollektoren (http://www.det.csiro.au/science/r_h/nsec.htm),
- die Firma Dyesol arbeitet an der Weiterentwicklung der Farbstoffsolarzellen-Technologie (s. unten),
- Solar Systems entwickelt und vertreibt Photovoltaik- Konzentrator-Zellen mit Nachführeinrichtung, die sog. CS500 PV tracking concentrator dishes (<http://www.solarsystems.com.au/>).

5.2 Entstehung und Innovationsprozess Farbstoffsolarzelle

Die 2004 gegründete Firma Dyesol Ltd. ist ein Hersteller von Materialien, Anlagen und Produktionstechnologien für Farbstoffsolarzellen und ist seit 2005 an der Börse registriert. Die Firma geht im Wesentlichen auf Gavin und Sylvia Tulloch und die beiden Firmen Sustainable Technologies International und Greatcell zurück.

Die Firma Sustainable Technologies International Ltd. (STI) hatte das EPFL-Lizenzpaket für Farbstoffsolarzellen 1995 von der EPFL erworben. STI hatte ca. 12 Millionen australische Dollar für Forschung und Entwicklung ausgegeben, 2001 die erste Pilotproduktion für Farbstoffsolarzellen gebaut und danach weitere fünf Millionen Dollar investiert. Dabei wurden Fördermittel von der australischen Bundesregierung sowie Förderprogramme von australischen Einzelstaaten in Anspruch genommen, das Unternehmen hatte jedoch 75 % der F&E-Mittel aus Eigenmitteln selbst beigesteuert. Nach Schwierigkeiten, finanzkräftige Investoren im eigenen Land zu finden, wurde im Ausland nach Partnern gesucht, jedoch mit geringem Erfolg (Watt 2003, Photon International 2005). Schließlich wurde STI von der inzwischen ebenfalls unter Beteiligung von Gavin und Sylvia Tulloch gegründeten Dyesol 2006 übernommen. Damit verfügt Dyesol auch über die entsprechenden Patentlizenzen.

Weiterhin hält Dyesol 99 % der Anteile des Schweizer Unternehmens Greatcell Solar S.A., das ebenfalls in der Forschung an Farbstoffsolarzellen und deren Fertigungsverfahren tätig ist. Greatcell wurde von Gavin Tulloch geleitet.

STI und Greatcell haben langjährige Entwicklungserfahrung auf dem Gebiet der Farbstoffsolarzellentechnologie. Durch die Übernahme der genannten Unternehmen ist Dyesol zu einem wichtigen Akteur für die Herstellung von Ausgangsmaterialien und Produktionsanlagen für die Herstellung von Farbstoffsolarzellen geworden. Gleichzeitig gehen die Gründungen der Unternehmen STI und Greatcell auf das Ehepaar Gavin und Sylvia Tulloch zurück. Beide nehmen nun auch, zusammen mit Gordon Thompson, in der Fa. Dyesol Führungspositionen in der Geschäftsleitung ein. Als Gründer des Firmenkonstrukts sind die beiden Unternehmer die treibenden Persönlichkeiten von Dyesol. Es ist davon auszugehen, dass die Gründung von Dyesol und die Übernahme von STI und Greatcell durch Dyesol eine Umfirmierung darstellt, die im Wesentlichen der Beschaffung frischen Kapitals dienen sollte (siehe auch Photon International 2005).

Dyesol arbeitet eng mit Prof. Grätzel und dessen Institut an der École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) zusammen. Prof. Grätzel ist der Vorsitzende des Scientific Advisory Boards von Dyesol. Weiterhin verfügt Dyesol nach eigenen Angaben über 23 weitere Lizenzen oder Patente und verfolgt weitere Patentanmeldungen.

Die folgende Analyse beruht auf Gesprächen mit Experten aus dem Umfeld von Dyesol und dem Bericht „Dyesol Limited (ASX:DYE): A Bright Future in Solar Energy“ von Pegasus Corporate Advisory Pty Ltd. (Pegasus 2007), Pressemitteilungen von Dyesol sowie weiteren Quellen, die im Einzelnen genannt werden.

5.3 Das Innovationsnetzwerk von Dyesol

Dyesol Ltd. ist ein Hersteller von Materialien, Anlagen und Produktionstechnologien für Farbstoffsolarzellen und besitzt das Know How, Farbstoffsolarzellen herzustellen. Das Unternehmen fungiert jedoch selbst nur als Ausrüster und Zulieferer für zukünftige Produzenten von Farbstoffsolarzellen. Dyesol vertreibt Materialien, Anlagen zur Herstellung und zum Weiterentwickeln und Testen von Farbstoffsolarzellen. Am Firmensitz in Queanbeyan, Australien, sind ca. 35 Mitarbeiter beschäftigt, es ist geplant, weitere zehn Mitarbeiter Ende 2008 einzustellen. Dyesol betreibt Vertretungen bzw. Tochterunternehmen (zum Teil als Joint Ventures mit Mehrheitsbeteiligung von Dyesol Ltd.) in der Schweiz, Singapur und Großbritannien.

Mögliche Anwendungen von Farbstoffsolarzellen werden in den Bereichen Sensoren, Stahldächer, Textilien, Glasfassaden, mobile Geräte, Laptopcomputer und Gebäude-

anwendungen gesehen. Das Unternehmen verfügt sowohl über Kompetenzen für die Herstellung von glas- wie auch folien- und polymerbasierten Farbstoffsolarzellen. Als Versiegelungstechniken werden derzeit ausschließlich Polymerversiegelungen angeboten.

Zum jetzigen Zeitpunkt besteht nach eigenen Angaben eine Produktionskapazität von 1 kg Rutheniumfarbstoff pro Monat und 5 kg Titanpaste pro Monat. Dyesol ist jedoch dabei, eine neue Produktionsstätte zu bauen (Fertigstellung für 2008 geplant), die eine monatliche Produktion von 20 kg Rutheniumfarbstoff und 200 kg Titanpaste erlauben würde.

Das Unternehmen gibt folgende Geschäftsgebiete an:

- Materialien, Anlagen und Komponenten für FSZ,
- Produktionstechnologien und Ausrüstungen für die Forschung,
- Herstellung, Verkauf und Installation von schlüsselfertigen Produktionsanlagen,
- Produktentwicklung.

Die zugrunde liegende Geschäftsstrategie von Dyesol beruht auf folgenden Pfeilern:

1. Technisches Know How wird entwickelt, um die Technologie der Farbstoffsolarzelle zu kommerzialisieren, dies schließt sowohl Technologie- als auch Produktentwicklung ein.
2. Endkunden für Solarmodule, wie z. B. in der Gebäudetechnik oder in der Konsumentenelektronik, werden nicht direkt adressiert. Stattdessen werden strategische Partnerschaften mit Unternehmen oder auch Ministerien und Fördereinrichtungen aus dem Verteidigungsbereich (Australisches Verteidigungsministerium) aufgebaut. Diese Partner bringen ihre Kompetenzen in das Konsortium ein, um die Technologie zur Anwendungsreife im jeweiligen Gebiet weiterzuentwickeln und den Markt gemeinsam zu erschließen. Damit können auch Entwicklungs- und Kommerzialisierungsrisiken unter den Partnern aufgeteilt werden. Weiterhin baut sich Dyesol so eine Position als Zulieferer für möglichst viele Produzenten und Vermarkter von auf Farbstoffsolarzelle-technologie basierenden Endprodukten auf.

Dyesol ist ein international agierendes Unternehmen und versucht über Kooperationen, lokale Fördermöglichkeiten für F&E-Projekte und den Aufbau von Produktionsstätten zu nutzen.

Dyesol kann als zentraler Akteur betrachtet werden, der im Mittelpunkt eines Netzwerks aus Forschungs- und Industriepartnern steht. Momentan sind Kooperationen von Dyesol mit folgenden Organisationen bekannt:

- Enge Kooperation mit der Ecole Polytechnique Fédéral de Lausanne (Laboratory of Photonics and Interfaces unter Leitung von Prof. Grätzel): Schon seit einigen Jahren Zusammenarbeit in Forschungsprojekten, vermutlich auch in direktem Auftrag von Dyesol. Zum Teil arbeitet am EPFL-Labor ausgebildetes Personal bei Dyesol, z. B. hat der Chefwissenschaftler von Dyesol, Dr. Hans Desilvestro, bei Prof. Grätzel promoviert. Professor Grätzel ist Vorsitzender des Scientific Advisory Boards von Dyesol und ist im geringen Umfang auch Dyesol-Anteilseigner (Pegasus 2007).
- Enge Kooperation mit dem Centre for Strategic Nanofabrication an der University of Western Australia (Prof. Colin Raston, Verbesserung der Kosteneffizienz von Farbstoffsolarzellen und Herstellung spezieller Nanomaterialien) (vgl. DyeSol 2007a).
- Enge Kooperation mit der Applied Nanotechnology Group an der Queensland University of Technology (Prof. John Bell, Modellentwicklung zum besseren Verständnis von Farbstoffsolarzellen, Weiterentwicklung von Kathoden und neuen Elektrolyten). Die Arbeiten sind zum Teil durch das Australian Research Council (ARC) gefördert. Prof. Bell ist auch Mitglied des Scientific Advisory Boards von Dyesol (vgl. Eurekalet 2008, Dyesol 2007b und Pegasus 2007).
- Kooperation mit dem britischen Unternehmen G24 Innovations: Das britische Unternehmen G24 Innovations Ltd. mit Sitz in Wentloog, Cardiff, hat sich zum Ziel gesetzt, erster kommerzieller Anbieter von im „roll-to-roll“ Verfahren hergestellten flexiblen Farbstoffsolarzellen auf Folienbasis zu werden. Die Zellen sollen insbesondere für die Anwendung in Mobiltelefonen, Notebooks, LED-Lampen, Sensoren sowie Zeltkonstruktionen geeignet sein. Das Unternehmen nutzt für seine geplanten Produkte eine weltweit gültige Lizenz der EPFL-Patente von Prof. Grätzel, der auch Mitglied des „Advisory Boards“ von G24 Innovations ist. Ursprünglich waren von G24 Innovations für das Frühjahr 2007 die ersten kommerziellen Produkte angekündigt worden. Dieser Zeitplan scheint sich zu verzögern. Genauere Informationen sind derzeit nicht erhältlich. Wichtige Anteilseigner von G24 Innovations sind der US-amerikanische und britische Investor Renewable Capital, die EPFL, die Investment-Firma Morgan Stanley sowie das Unternehmen Konarka⁴⁶ (siehe nächster Abschnitt). Dyesol hat mit G24i einen Vertrag über die Lieferung von Farbstoffen zur Produktion von Farbstoffsolarzellen geschlossen. Somit wurde Dyesol zum ersten kommerziellen Anbieter von Rutheniumfarbstoff in größeren Mengen.
- Joint Venture mit Fa. Corus: Dyesol entwickelt gemeinsam mit dem Unternehmen Produkte zur Integration von Farbstoffsolarzellentechnologie in Stahlprodukte für

⁴⁶ Vgl. Informationen auf www.g24i.com (letzter Abruf Oktober 2008).

die gebäudeintegrierte Photovoltaik und hat laut eigenen Angaben schon mehrere vereinbarte Entwicklungsmeilensteine erfolgreich abgeschlossen. Das Projekt wird vom Department of Trade and Industry der Regierung Großbritanniens und ab 2009 mit ca. fünf Millionen australischer Dollar von der Regierung von Wales (Großbritannien) kofinanziert.

- Projekt für das australische Verteidigungsministerium zur Entwicklung flexibler Tarnfarben-Solarzellen: Das Dyesol-Tochterunternehmen STI (Sustainable Technologies International Pty Ltd.) arbeitet seit 2006 an einem auf zwei Jahre angelegten und mit zwei Millionen australischen Dollar ausgestatteten Projekt der Australian Defence Science and Technology Organisation (DSTO) des australischen Verteidigungsministeriums. Ziel ist dabei, flexible Solarpaneele als tragbare Energieversorgung für das Militär zu entwickeln. Das Projekt wird über das Defence Capability and Technology Demonstrator (CTD) Program gefördert (vgl. Innovation Australia 2007). Die Entwicklungsziele wurden laut Dyesol-Pressemitteilung im Jahre 2008 erreicht. Im Jahr 2009 soll eine Pilotproduktion aufgebaut werden.
- Kooperation mit dem japanischen Chemieunternehmen Catalysts and Chemicals Industries Co. Ltd. (CCIC). Dieses fungiert als Distributor für Dyesols Materialien und Komponenten.
- Kooperation mit dem japanischen Unternehmen Peccell Technologies, das Hersteller von Titandioxid-Paste, organischen Materialien einschließlich photosensitiver Proteine sowie Messeinrichtungen für die Farbstoffsolarzellenherstellung ist (vgl. hierzu auch Kap. 4.3.1.4).
- Kooperation mit dem kanadischen Unternehmen Heliostec, das Farbstoffsolarzellen in Kanada herstellen und vertreiben will (vgl. Builder Architect 2006) sowie der Firma NESLI in der Türkei und einem nicht genannten Unternehmen in Griechenland, beide beabsichtigen ebenfalls in der Zukunft Farbstoffsolarzellen zu produzieren.
- Kooperation mit einem nicht näher benannten deutschen Chemieunternehmen.
- Forschungsk Kooperation mit der Universita Roma Tor Vergata: Entwicklung von Anlagen und Prozesstechnologie für die Serienproduktion.
- Kooperation mit weiteren Instituten, z. B. in Griechenland (Institute for Physical Chemistry des Forschungszentrums NCSR Demokritos in Athen). Zum Teil hat sich Dyesol in solchen Kooperationsprojekten die Kommerzialisierungsrechte gesichert.

- Kooperation mit Architekten und Forschungseinrichtungen zur Untersuchung von Nutzeranforderungen für die gebäudeintegrierte Photovoltaik.

Weitere internationale Kooperationen bestehen oder werden gerade aufgebaut (z. B. in Spanien, Türkei, Korea, China, Thailand und Singapur).

5.4 Anwendungs- und Marktperspektiven, Stärken und Schwächen

Die Marktreife der Produkte von Dyesol kann als hoch angesehen werden. Die Geschäftsstrategie des Unternehmens beruht auf Kooperationen mit Partnern als deren Systemlieferant für die Produktion von Farbstoffsolarzellen Dyesol fungieren möchte. Dyesol liefert damit das für die Herstellung notwendige Basiswissen sowie die nötigen Stoffe und Komponenten.

Ein genauer Zeitpunkt für die Marktreife der Farbstoffsolarzellen wird von Dyesol für 2008/2009 erwartet – die Planungen des Unternehmens gehen davon aus, dass in diesem Zeitraum große Mengen an Farbstoff für Partner wie G24i und Corus produziert und verkauft werden.

Die wichtigsten adressierten Anwendungsfelder der Technologie liegen für Dyesol in den folgenden Bereichen:

- Stahldächer mit Farbstoffsolarzellen für die gebäudeintegrierte Photovoltaik (Entwicklungs-Joint Venture mit dem Partner Corus sowie Dyesol als Zulieferer),
- netzunabhängige, flexible Kleinmodule als Stromversorgung für Gebiete ohne Stromnetz, z. B. zum Aufladen von Handys in Afrika (G24i als Produzent mit Dyesol als Zulieferer von Farbstoff),
- glasbasierte Module für die Fassadenintegration (bisher ohne Partner).

Stärken und Herausforderungen

Die Stärken von Dyesol beruhen auf umfangreichen technologischen Erfahrungen und einem Entwicklerteam unter der Leitung von Dr. Hans Desilvestro. Es scheinen Lösungsansätze für die größten technologischen Herausforderungen der Langzeitstabilität und Versiegelung vorhanden zu sein. Dyesol konnte den Nachweis von 14.000 Stunden Langzeitstabilität unter Outdoor-Bedingungen erbringen (Desilvestro et al. 2007).

Wesentliche **Herausforderungen** bestehen für Dyesol in folgenden Punkten:

- Das Unternehmen muss sich von einer reinen F&E-Firma zu einem Produktionsunternehmen wandeln. Dieser Schritt ist schwierig und unterscheidet Dyesol von möglichen größeren Konkurrenten z. B. in Japan.
- Die prognostizierte Marktnachfrage nach FSZ-Materialien muss sich konkretisieren. Partner wie G24i werden auch versuchen, weitere Zulieferer einzubinden. Es besteht die Gefahr, dass Farbstoffhersteller (alteingesessene Chemieunternehmen) Farbstoff in großen Mengen zu attraktiven Preisen anbieten können und so eine starke Konkurrenz entsteht.
- Es ist momentan nicht klar erkennbar, wie sich die „Diversifizierung“ der Kooperationen bzw. Joint Ventures mit Anwendungspartnern weiter entwickeln wird. Dyesol ist noch ein kleines Unternehmen und könnte sich mit zu vielen solcher Kooperationen übernehmen. Der Erfolg von Dyesol hängt zudem von dem Erfolg der Partner wie z. B. G24i ab, Farbstoffsolarzellen herzustellen und zu verkaufen. Weiterhin könnte ein Ungleichgewicht in den Kooperationen in den Fällen entstehen, in denen der andere Partner ungleich größer ist als Dyesol (wie im Fall Corus).
- Dyesol muss sicherstellen, dass die bestehenden Lizenzen und Patentrechte gesichert sind. Das erste Patent zur Beschreibung des Prinzips der Farbstoffsolarzellentechnologie, welches 1988 publiziert wurde (EP 0333641), wird 2008 auslaufen. Die EPFL hat jedoch um dieses Basispatent herum einen Patentkorb gebildet, für den Dyesol über das EPFL-Paket Lizenzen hält. Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass nach dem Auslaufen des Basispatents weltweit versucht werden wird, den Schutz des EPFL-Lizenpakets auszuhebeln.

5.5 Fazit

Die Firma Dyesol hat ein Netzwerk von Akteuren zur Weiterentwicklung der Farbstoffsolarzellentechnologie aufgebaut, das sich aus Forschungseinrichtungen und Unternehmen zusammensetzt. Wichtigstes Ziel des Netzwerks ist die Weiterentwicklung der Technologie und potenzieller Anwendungen der Farbstoffsolarzelle. Als Initiator und zentraler Akteur des Netzwerks versucht Dyesol so, eine beherrschende Stellung auf dem Markt zu erlangen.

Dyesol schlägt den Weg einer „Diversifizierung“ der Kooperationen bzw. Joint Ventures mit Anwendungspartnern ein und kooperiert mit relativ vielen Partnern weltweit, wobei das Netzwerk momentan noch weiter ausgebaut wird. Dyesol könnte sich als kleines Unternehmen mit dieser Komplexität übernehmen. Weiterhin ist zu beobachten, inwiefern Ungleichgewichte in der Kooperation mit größeren Unternehmen entstehen können.

Der Geschäftserfolg von Dyesol hängt davon ab, ob es den Anwendungspartnern (insbesondere Corus und G24i) gelingen wird, stabile Produkte und Anwendungen von Farbstoffsolarzellen herzustellen und in größeren Mengen am Markt zu verkaufen, insbesondere für das Anwendungsgebiet der gebäudeintegrierten Photovoltaik. Hier muss sich die FSZ gegenüber anderen Dünnschichttechnologien behaupten, die schon als kommerzielle Produkte angeboten werden (z. B. ASI THRU von Schott Solar).

Weiterhin könnten japanische Unternehmen zu einer starken Konkurrenz werden. Experten gehen davon aus, dass japanische Akteure die Farbstoffsolarzellentechnologie schon weiter zur Anwendungsreife entwickelt und Zulieferketten in Japan und China aufgebaut haben (siehe auch Kap. 4.4)

Im Folgenden werden die in Kap. 1.2 hergeleiteten Hypothesen überprüft:

Hypothesen zu Akteuren

A1: In jedem Innovationsprozess lassen sich Schlüsselakteure (z. B. Einzelpersonen, Gruppen oder auch Netzwerke) identifizieren, die maßgeblich an der Entstehung und der erfolgreichen Durchsetzung einer Innovation beteiligt sind.

A2: Neben den notwendigen Ressourcen und fachlichen Kompetenzen ist insbesondere die Rolle und Funktion des unternehmerischen Akteurs (Entrepreneur) und seine Interaktion mit den anderen Akteuren während des Innovationsprozesses von entscheidender Bedeutung für den Erfolg.

Im vorliegenden Fall sind trifft Hypothese A1 zu. Schlüsselakteur ist die Firma Dyesol mit den beiden Unternehmern Gavin Tulloch und Sylvia Tulloch an der Spitze. Sie haben beide sowohl das Unternehmen als auch das Netzwerk maßgeblich geprägt und verfügen sowohl über unternehmerisches Know How als auch technische Expertise. Insofern kann auch Hypothese A2 bestätigt werden.

Hypothesen zum Innovationsnetzwerk

I1: Der Erfolg einer Innovation hängt von der Zusammensetzung und der Form und Intensität der Interaktion der jeweiligen Akteure in einem Netzwerk (Innovation Community) ab.

I2: Die frühzeitige Einbindung von trendführenden Nutzern ergänzt das Innovationsnetzwerk um wichtige Akteure, die durch das Einbringen ihre Anforderungen die Absatzchancen eines zukünftigen Produktes verbessern.

Hypothese I1 kann nicht überprüft werden. Das Netzwerk von Dyesol ist stark diversifiziert und relativ groß für eine Firma mit unter 50 Mitarbeitern. Insofern ist noch zu

überprüfen, ob dieser Ansatz mittelfristig den wirtschaftlichen Erfolg der Firma herstellen wird.

Hypothese I2 kann nicht verifiziert werden. Es werden zwar trendführende Nutzer eingebunden (z. B. über Kooperation mit Architekten). Inwiefern dies die Absatzchancen eines zukünftigen Produkts verbessert, konnte jedoch nicht ermittelt werden.

Umfeld und Rahmenbedingungen

U1: Der Markterfolg von neu entwickelten Produkten hängt in der Solarwirtschaft noch stark von staatlichen gesetzten Rahmenbedingungen (z. B. Einspeisevergütung, Emissionshandel, Förderprogramme) ab. Es besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen langfristig ausgerichteten Rahmenbedingungen, der strategischen Produktplanung und dem Erfolg von Produktinnovationen in der Solarwirtschaft.

U2: Ein wesentlicher Erfolgsfaktor für Produktinnovationen der Solarwirtschaft liegt in der spezifischen Kenntnis unterschiedlicher nationaler Märkte und ihrer Rahmenbedingungen sowie der Adaption des Produktes der Vermarktungsstrategie an diese Rahmenbedingungen.

Dyesol hat in erheblichem Maße Fördermittel genutzt, um die Farbstoffsolarzellentechnologie weiterzuentwickeln. Die Bereitstellung von Finanzmitteln durch öffentliche Fördergeber hängt im Wesentlichen von Umfeld und Rahmenbedingungen ab. Dyesol hat diese durch Mitarbeit an australischen Roadmap-Initiativen aktiv beeinflusst. Weiterhin sucht Dyesol gezielt Kooperationspartner, die regional verfügbare Fördermittel in Anspruch nehmen können. Insofern kann ein enger Zusammenhang mit der strategischen Produktplanung des Unternehmens gesehen werden. Inwiefern dies jedoch zum Erfolg der Produktinnovationen beiträgt, ist noch zu untersuchen, da noch keine Farbstoffsolarzellenprodukte in größeren Mengen am Markt verkauft werden. Insofern kann Hypothese U1 nur zum Teil verifiziert werden.

Zu Hypothese U2 kann im vorliegenden Fall keine Aussage getroffen werden.

6 Schlussfolgerungen

Ziel dieses Arbeitspapiers ist es, auf der Grundlage von Fallanalysen Rückschlüsse über die Leistungsfähigkeit ausgewählter Innovationssysteme und –prozesse zu gewinnen und daraus Erfolgsfaktoren sowie Gestaltungsempfehlungen für das Projekt ColorSol abzuleiten.

In die Analyse wurden mit Japan und Australien zwei sehr unterschiedliche Innovationssysteme einbezogen, die für das Projekt ColorSol aufgrund ihrer Fokussierung auf die Farbstoffsolarzelle sowie die grundsätzlich verschiedenen Rahmenbedingungen, Akteure, Netzwerke und Vorgehensweisen interessante Rückschlüsse über mögliche Innovationsstrategien erlauben.

Die wichtigsten Merkmale der beiden Systeme werden in der folgenden Tabelle miteinander verglichen:

Tabelle 4: Vergleich des japanischen und des australischen Innovationssystems Farbstoffsolarzellen

Japanisches Innovationssystem	Australisches Innovationssystem
Umfeld und Rahmenbedingungen	
<ul style="list-style-type: none"> - jahrzehntelange systematische Förderung von Photovoltaikforschung und Marktentwicklung - Photovoltaik gilt als wichtige Technik zum Erlangen einer größeren Energieautonomie sowie klimapolitischer Ziele - Unterstützung der Photovoltaik und auch der Farbstoffsolarzelle, erfolgt vor dem Hintergrund einer strategischen Wirtschaftspolitik 	<ul style="list-style-type: none"> - vergleichsweise kurze und wenig strategische Förderung der Photovoltaikforschung - Schwerpunktsetzungen insbesondere im Bereich neuer Technologien und Konzepte - seit 2007 durch neue Regierung verstärkte Förderung der Photovoltaik als Beitrag zur nationalen Klimapolitik
Innovationsnetzwerk	
<ul style="list-style-type: none"> - sehr komplexes Innovationsnetzwerk im Bereich der Farbstoffsolarzelle, das mehrere große Unternehmen, Forschungsinstitute und politische Institutionen umfasst - z. T. stark ausdifferenziertes Netzwerk mit mehreren spezialisierten Unternetzen, die 	<ul style="list-style-type: none"> - überschaubares Innovationssystem, das sich im Wesentlichen um das Unternehmen Dyesol, ausgewählte Forschungseinrichtungen und seine zentralen Akteure gruppiert - viele Verknüpfungen des nationalen Netzwerkes mit ausländischen Innovationsnetz-

<p>sich mit Einzelaspekten (Farbstoffen, Ionischen Flüssigkeiten, etc.) der Farbstoffsolarzelle beschäftigen</p> <p>- in sich stark geschlossenes Netzwerk, Einblicke meist nur über persönliche Kontakte möglich</p>	<p>werken durch internationale Aktivitäten von Dyesol</p> <p>- durch intensive Berichterstattung von Dyesol relativ gute Einblicke in die Struktur des Netzwerkes möglich</p>
<p>Akteure</p>	
<p>- Vielzahl von Einzelakteuren aus den oben genannten Institutionen</p> <p>- Akteure lassen sich aufgrund der relativ großen Zurückhaltung und der Komplexität des Netzwerkes nur schwer identifizieren</p>	<p>- Hauptakteure stammen aus dem Unternehmen Dyesol und seinen engsten Forschungs- und Kooperationspartnern</p> <p>- aufgrund internationaler Vernetzung der Akteure relativ gut zugängliches Netzwerk</p>

Die Zusammenfassung verdeutlicht die Komplexität und Vielschichtigkeit der betrachteten Innovationsprozesse und –systeme. Das Mehrebenenmodell (siehe Kap. 2.2) hat wesentlich dazu beigetragen, die unterschiedlichen Interaktions- und Einflussebenen der Innovationssysteme zu differenzieren und ihr Zusammenwirken zu analysieren.

Die Fallanalysen zeigen zudem, dass der Verlauf von Innovationsprozessen auch maßgeblich von den Rahmenbedingungen sowie den beteiligten Akteuren abhängt und mitbestimmt wird und die Akteure und ihr Zusammenwirken in Innovationsnetzwerken ein wichtiger Erfolgsfaktor sind.

Im Rahmen der Fallanalysen konnten wichtige Akteure der beiden Innovationssysteme identifiziert werden, jedoch die Interaktionen in den Netzwerken nicht detailliert erfasst werden. Dies könnte im Rahmen weiterer Forschungsarbeiten erfolgen, um so Aussagen über die Qualität der Zusammenarbeit und ihren Beitrag zum Erfolg des Innovationsprozesses zu ermöglichen. Darüber hinaus wäre ein Vergleich mit dem Innovationsnetzwerk in Deutschland und Europa von Interesse, um so den Beitrag der Akteursinteraktion zum Innovationsprozess bewerten zu können.

Auswertung der Hypothesen

Für die weitere Vorgehensweise im Projekt ColorSol sollen insbesondere die eingangs formulierten Hypothesen sowie ihre Überprüfung im Rahmen der Fallanalysen ausgewertet werden, um daraus Rückschlüsse für den eigenen Innovationsprozess zu ziehen.

Hypothesen zu Akteuren:

Beide Fallanalysen bestätigen, dass sich in einem Innovationsprozess Schlüsselakteure in Form von Einzelpersonen, Gruppen oder auch Netzwerken identifizieren lassen, die maßgeblich an der Entstehung und Durchsetzung der Innovation beteiligt sind (Hypothese A1). Im Falle des australischen Unternehmens Dyesol können diese Schlüsselpersonen auch eindeutig eingegrenzt und benannt werden. Im Fall des japanischen Innovationssystems gilt dies gleichermaßen, allerdings konnte hier aufgrund der Größe, der Komplexität und der zur Verfügung stehenden Zeit kein vollständiges Bild der Akteure erfasst werden. Die skizzierten Strukturen lassen jedoch auf ein großes Netzwerk schließen.

Die entscheidende Rolle des unternehmerischen Akteurs oder Entrepreneurs (Hypothese A2) und seine Interaktion mit anderen Akteuren werden durch beide Fallanalysen bestätigt. Im Falle des australischen Beispiels können die relevanten Personen und ihre unternehmerische Rolle klar identifiziert werden, für das Beispiel aus Japan kann dagegen die herausragende Rolle und das langfristige Engagement der japanischen Unternehmen für die Photovoltaik nachvollzogen werden. Sie haben aufgrund der langfristig angelegten staatlichen Förderung große eigene Investitionen getätigt.

Die beiden Beispiele unterscheiden sich jedoch erheblich bezüglich der Größe und des Charakters der involvierten Unternehmen. Handelt es sich im Fall von Australien um ein kleines Forschungsunternehmen, so sind die japanischen Akteure international agierende Großunternehmen, die über eigene Forschungsabteilungen und –budgets verfügen. Diese Unterschiede bei den wirtschaftlichen Akteuren ziehen auch sehr unterschiedliche Kommerzialisierungsstrategien nach sich.

Hypothesen zum Innovationsnetzwerk:

Dass der Erfolg einer Innovation auch von der Zusammensetzung und der Intensität der Interaktion abhängig ist (Hypothese I1), kann besonders gut an dem japanischen Fallbeispiel nachvollzogen werden. Es verdeutlicht anschaulich, dass durch die Einbindung verschiedener Akteure aus unterschiedlichen Institutionen der Innovationsprozess über viele Jahre stabil und erfolgreich gestaltet werden kann. Während sich die Interaktionsbemühungen der japanischen Unternehmen jedoch in erste Linie auf den nationalen Rahmen konzentrieren, so orientiert sich Dyesol stärker in internationalen Netzwerken. Über die Einbindung trendführender Nutzer (Hypothese I2) kann auf Grundlage der Fallanalysen keine Aussage gemacht werden, da eine Kooperation und Kundeneinbindung, in dem in ColorSol verfolgten Sinn, nicht erfolgt bzw. über die Kooperation mit den jeweiligen Akteure zu wenig bekannt ist. Bemerkenswert ist aber, dass die japanischen Unternehmen, die intensive Kooperation mit Fertighausherstellern suchen, da dieser Vertriebszweig in Japan aufgrund der lokalen Förder- und Marktbedingungen ein bewährtes Modell darstellt.

Hypothesen zu Umfeld und Rahmenbedingungen:

Die japanische Fallanalyse zeigt deutlich, dass der Markterfolg neu entwickelter Produkte in der Solarwirtschaft zu Beginn stark von staatlich gesetzten Rahmenbedingungen abhängt (Hypothese U1). Die langfristige und strategische Ausrichtung der japanischen Forschungs- und Förderpolitik in der Photovoltaik hat die nationalen Unternehmen im globalen Vergleich zu den wichtigsten Marktakteuren gemacht. Auch in Bezug auf die Entwicklung der Farbstoffsolarzelle kann dies bestätigt werden, denn japanische Unternehmen gehören aufgrund des langfristigen und kontinuierlichen Engagements in dem Themenfeld zu den führenden Akteuren und können Erfolge bei der Wirkungsgradsteigerung und der Langzeitstabilität aufweisen.

Die Konzentration der japanischen Unternehmen auf den Bausektor verdeutlicht zudem die Notwendigkeit spezifischer regionaler Marktkenntnisse für die Adaption von Produkten auf den nationalen Markt (Hypothese U2).

Das australische Unternehmen Dyesol ist in einer grundsätzlich anderen Position. Aufgrund der relativ jungen und schwach ausgebildeten Förderhistorie in Australien, fokussiert sich das Unternehmen ausschließlich auf die Technik der Farbstoffsolarzelle. Dies ist ein großer Unterschied zu den japanischen Unternehmen, die die Farbstoffsolarzelle eher als eine Erweiterung ihrer bestehenden Produktpalette und in der Zukunft auch als eine Option für die Herstellung kostengünstiger Photovoltaik sehen.

Rückschlüsse für das Projekt ColorSol

Für das Projekt ColorSol können aus den Fallanalysen sowie den untersuchten Hypothesen folgende Rückschlüsse gezogen werden:

- Obwohl die Förder- und Rahmenbedingungen für die Photovoltaik in Deutschland im internationalen Vergleich gut sind, fehlt es der Forschung im Bereich der Farbstoffsolarzelle an einer strategischen und langfristigen Ausrichtung sowie einer politischen Fürsprache. In den aktuellen Forschungsprogrammen zur organischen Photovoltaik und zur Dünnschichttechnik findet die Farbstoffsolarzelle keinen starken Niederschlag und bei den entscheidenden umwelt- und energiepolitischen Akteuren gilt sie bisher noch als marktferne und forschungsintensive Technologie. Es ist folglich noch intensive politische Überzeugungsarbeit notwendig, um der Technologie zu einer größeren Aufmerksamkeit zu verhelfen.
- Im Vergleich zu den untersuchten ausländischen Innovationssystemen fehlen dem deutschen Akteursnetzwerk wie auch im Akteursnetzwerk von ColorSol unternehmerische Akteure, die den Innovationsprozess aus betriebswirtschaftlicher Sicht vorantreiben. Die dafür notwendigen Grundlagen (Anwendungsszenarien, Marktana-

lyse, Zielkostenrechnung für zukünftige Produkte, etc.) wurden im Rahmen des Projektes ColorSol erarbeitet.

- Die deutschen Akteure aus Wissenschaft und Unternehmen sind im internationalen Vergleich zwar gut vernetzt, ihr Austausch beruht aber vornehmlich auf persönlichen Kontakten und hat bisher nicht die Schaffung einer wahrnehmbaren deutschen Fabrstoffsolarzellencommunity zur Folge. So werden z. B. alle wichtigen Konferenzen und Veranstaltungen in dem Themenfeld von Akteuren aus Asien, Australien oder Nordamerika organisiert. Eine stärkerer Zusammenschluss der nationalen Akteure mit einem wahrnehmbaren Außenauftritt könnte dem Thema zu einer größeren Aufmerksamkeit verhelfen.
- Die bisher in ColorSol betriebene Fokussierung auf das Anwendungsfeld der gebäudeintegrierten Photovoltaik ist vor dem Hintergrund der Projektpartner und der verbesserten Förderbedingungen für die gebäudeintegrierte Photovoltaik in mehreren europäischen Ländern (z. B. Deutschland und Frankreich) sinnvoll und sollte beibehalten werden solange sich die Rahmenbedingungen nicht ändern.

7 Quellen

- Ahrens, A.; Braun, A.; Effinger, A, von Gleich, A.; Heitmann, K.; Lißner, L; Weiß, M.; Wölk, C. (2003): SubChem – Gestaltungsoptionen für handlungsfähige Innovationssysteme zur erfolgreichen Substitution gefährlicher Stoffe – Ergebnisse, Hypothesen, Definitionen, Bremen, Hamburg
- Ahrens, A.; Braun, A.; Effinger, A, von Gleich, A.; Heitmann, K.; Lißner, L; Weiß, M. (2002): Forschungsverbundprojekt: SubChem „Gestaltungsoptionen für handlungsfähige Innovationssysteme zur erfolgreichen Substitution gefährlicher Stoffe“, Zweiter Zwischenbericht (Berichtsjahr 2002), Bremen, Hamburg
- Auer, J. (2005): Boombranche Solarenergie. Aktuelle Themen, Energie Spezial. Deutsche Bank Research, 21. April 2005, Nr. 320, Frankfurt a.M.
- Behrendt, S. (2002): Roadmap für nachhaltige Informations- und Kommunikationstechnik, in: UmweltWirtschaftsForum, 10 Jg., Heft 3, September 2002, S. 36 - 39
- Beucker, S.; Fichter, K. (2007): Trends und Rahmenbedingungen für das Innovationssystem Farbstoffsolarzelle – Perspektive 2020.
- BCSE – Australian Business Council for Sustainable Energy (2004): The Australian Photovoltaic Industry Roadmap, July 2004, Carlton Victoria, Australien, im Internet herunterladbar unter <http://www.bcse.org.au>, (letzter Abruf Oktober 2008)
- BCSE – Australian Business Council for Sustainable Energy (2006): Australia's Renewable Energy Use, Technologies and Services, September 2006, Carlton Victoria, Australien, im Internet herunterladbar unter http://www.bcse.org.au/docs/Publications_Reports/Renewables.pdf, (letzter Abruf Oktober 2008)
- Builder/Architect (2006): A Revolutionary Solar Energy Solution Has Arrived in Canada, Builder/Architect, Greater Toronto Edition, January 2006, p. 22 – 23
- Burr, Wolfgang (2004): Innovationen in Organisationen, Stuttgart 2004.
- Commonwealth of Australia (2002): Renewable Energy Technology Roadmap, Department of Industry, Tourism and Resources, Canberra, Australien, Oktober 2002.

- Cooke, Philip (1998): Introduction: origins of the concept, in: Hans-Joachim Braczyk et al. (Eds.), Regional innovation systems, London 1998, pp. 2-25.
- Desilvestro, H.; Harikisun, R.; Moonie, P.: 10,000+ hours of full sun DSC stability – going strong, Vortrag auf der DSC Industrialization Conference , 11.-13.9.2007, St. Gallen, Schweiz
- DiMaggio, Paul J./Powell, Walter W. (1991/1983): The iron cage revisited: institutional isomorphism and collective rationality in organizational fields, in: Walter W. Powell/Paul J. DiMaggio (Ed.), The new institutionalism in organizational analysis, Chicago/London 1991, p. 64f., revised version of: American Sociological Review, Vol. 48, 1983, pp. 147-160.
- Dyesol (2007a): UWA baut Bindung zu führender Solarfirma auf. Pressemitteilung von DyeSol, veröffentlicht am 22. Februar 2007, siehe www.dyesol.com, (letzter Abruf Oktober 2008)
- Dyesol (2007b): \$360,000 Grant for Dyesol QUT Project. Dyesol supported research at the Queensland University of Technology to develop advanced experimental DSC materials wins Federal Government research funding, Pressemitteilung von DyeSol, veröffentlicht am 29 May 2007, siehe www.dyesol.com, (letzter Abruf Oktober 2008)
- Eurekaalert (2008): The future of solar-powered houses is clear. Transparent glass containing solar cells could capture enough energy to power a home. Pressemitteilung vom 9. 4. 2008 der Queensland University of Technology, veröffentlicht auf Eurekaalert, im Internet herunterladbar unter http://www.eurekaalert.org/pub_releases/2008-04/quot-tfo040908.php, (letzter Abruf Oktober 2008)
- Fichter, K.; Antes, R. (2007): Grundlagen einer interaktiven Innovationstheorie - Beschreibungs- und Erklärungsmodelle als Basis für die empirische Untersuchung von Innovationsprozessen in der Displayindustrie, Berlin
- Fichter, K.; Arnold, M.: Nachhaltigkeitsinnovationen von Unternehmen, in: Linne/Schwarz (Hrsg.): Handbuch Nachhaltige Entwicklung, Opladen 2003
- Freeman, Christopher (1987): Technology policy and economic performance: lessons from Japan, London 1987.
- Fukuda, H. (2007): Overview of NEDO's Photovoltaic R&D Projects, Vortrag der New Energy and Industrial Technology Development Organization, New Energy Technology Development Dpt. auf der 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, 3.-7. Dezember 2007, Fukuoka, Japan

- Gerstlberger, Wolfgang (2004): Regionale Innovationssysteme aus betriebswirtschaftlicher Perspektive, Wiesbaden 2004.
- Gerstlberger, Wolfgang (2006): Nachhaltige Regionale Innovationssysteme: Anforderungen an die Institutionen- und Wissensgenese, in: Pfriem, R.; Antes, R.; Fichter, K. et al. (Hrsg.): Innovationen für nachhaltige Entwicklung, Wiesbaden, S. 167 – 185
- Green, M.A.(2002): Australian photovoltaic research and development, in: Photovoltaic Specialists Conference, 2002. Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE, 19-24 May 2002, pp. 9 – 14.
- Hauschildt, J. (2004): Innovationsmanagement, 3. Auflage, München
- Hauschildt, J.; Pulczynski, J. (1995): Fallstudie 4: Growian: Zielbildung für bedeutende Innovationsvorhaben, in Brockhoff, K. (Hrsg.): Management von Innovationen: Planung und Durchsetzung, Erfolge und Misserfolge, Wiesbaden
- Innovation Australia (2007): Dyesol. DSC - Solar Technology that Mimics Nature, siehe <http://www.innovationaustralia.net/article/article.php?article=10,162b>, (letzter Abruf Oktober 2008)
- Jäger-Waldau, A. (2006): PV Status Report 2006. Research, Solar Cell Production and Market Implementation of Photovoltaics, European Commission Directorate-General Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, EUR 22346, Ispra, Italien
- Jäger-Waldau, A. (2004): PV Status Report 2004. Research, Solar Cell Production and Market Implementation of Photovoltaics, European Commission Directorate-General Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, EUR 21390, Ispra, Italien
- Klemmer, P.; Lehr, U.; Löbbe, K. (1999): Umweltinnovationen, Anreize und Hemmnisse, Analytica-Verlag, Berlin
- Kimura, O. Suzuki, T. (2006): 30 years of solar energy development in Japan. Co-evolution process of technology, policies, and the market, Socio-economic Research Center, Central Research Institute of Electric Power Industry, Berlin Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change: "Resource Policies: Effectiveness, Efficiency, and Equity", 17-18 November 2006, Berlin
- Kühner, Martin (1990): Die Gestaltung des Innovationssystems – Drei grundlegende Ansätze, Dissertation an der Hochschule St. Gallen, Bamberg.

- Lundvall, B.-A. (1988): Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation, in: Giovanni Dosi et al. (Eds.), Technical change and economic theory, London 1988, pp. 349-369.
- Miklis, M. (2004): Coopetitive Unternehmensnetzwerke. Problemorientierte Erklärungs- und Gestaltungserkenntnisse zu Netzwerkbeziehungen zwischen Wettbewerbern, Marburg
- NEDO (2004): Overview of „PV Roadmap Toward 2030, New Energy and Industrial Technology Development Organization, New Energy Technology Development Dpt., abrufbar unter: http://www.nedo.go.jp/english/archives/161027/pv2030_roadmap.pdf (letzter Abruf Oktober 2008)
- OECD (1999): Managing International Innovation Systems, Paris.
- Pegasus (2007): Bericht „DyeSol Limited (ASX:DYE): A Bright Future in Solar Energy“ von Pegasus Corporate Advisory Pty Ltd, abrufbar unter www.pegasuscorporate.com (letzter Abruf Oktober 2008)
- Philipsenburg, Gisela (2005): Institutioneller Wandel in Innovationssystemen, Baden-Baden 2005.
- Photon International (2005): Australian dye solar cell firm wraps up IPO, in PHOTON International The Photovoltaic Magazine, September 2005, siehe http://www.photon-magazine.com/news/news_2005-09_au_feat_Dyesol.htm, (letzter Abruf Oktober 2008)
- Photon International (2008): As Labor takes over reigns in Australia, campaign noises for solar could get louder, in PHOTON International The Photovoltaic Magazine, April 2008, siehe <http://www.photon-magazine.com/>, (letzter Abruf Oktober 2008)
- PMJ Prime Minister of Japan (2005): Kyoto Protocol Target Achievement Plan, Bericht des japanischen Premierministers und des Kabinetts, abrufbar unter: http://www.kantei.go.jp/foreign/kakugikettei/h17-dex_e.html (letzter Abruf Oktober 2008)
- Rothwell, R. (1994): Industrial Innovation: Success, Strategy, Trends: in: Dodgson, M.; Rothwell, R. (eds.): The Handbook of Industrial Innovation, Edward Elgar Publishing, Hants, England, S. 33 – 53

- Sakata, I.; Aratani, F.; Ishiyama, K.; Kawakami, K.; Munakata, T.; Uda, K.; Kudo, H.; Yasui, T.; Mitsuyasu, H.; Takaka, Y.; Koizawa, K. (2005): PV Roadmap Toward 2030 in Japan, Vortrag der New Energy and Industrial Technology Development Organization, New Energy Technology Development Dpt. auf der 15th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, Shanghai, China
- Steger, U. et al. (2002): Nachhaltige Entwicklung und Innovation im Energiebereich, Berlin, Heidelberg
- Takeda, Y.; Kato, N.; Higuchi, K.; Takeichi, A.; Motohiro, T.; Fukumoto, S.; Sano, T.; Toyoda, T. (2007): Monolithically Series-Interconnected Transparent Dye-Sensitized Solar Cells, Technical Digest of the International PVSEC-17, Fukuoka, Japan, 2007, 6P-P6-01, Japan
- Tanaka, Y.; Ikki, O. (2006): Japan Photovoltaic technology status and prospects. Annual report for the International Energy Agency (IEA), erhältlich unter: <http://www.iea-pvps.org/ar05/jpn.htm> (letzter Abruf Oktober 2008)
- Van de Ven, A.H.; Polley, D.E.; Garud, R.; Venkataraman, S. (1999): The Innovation Journey, New York, Oxford, Oxford University Press
- Watt, M. (2003): The Commercialisation of Photovoltaics Technology in Australia. A report for Science and Innovation Mapping, Department of Education Science and Training. University of NSW, Sydney.
- Weissenberger-Eibl, M.A. (2003): Unternehmensentwicklung und Nachhaltigkeit, Rosenheim