

Lernen am Markt – Die Bedeutung anwendungsnaher Forschung in gemeinsamer Verantwortung mit der Industrie

Dr. Thomas Schott
ZSW
thomas.schott@zsw-bw.de

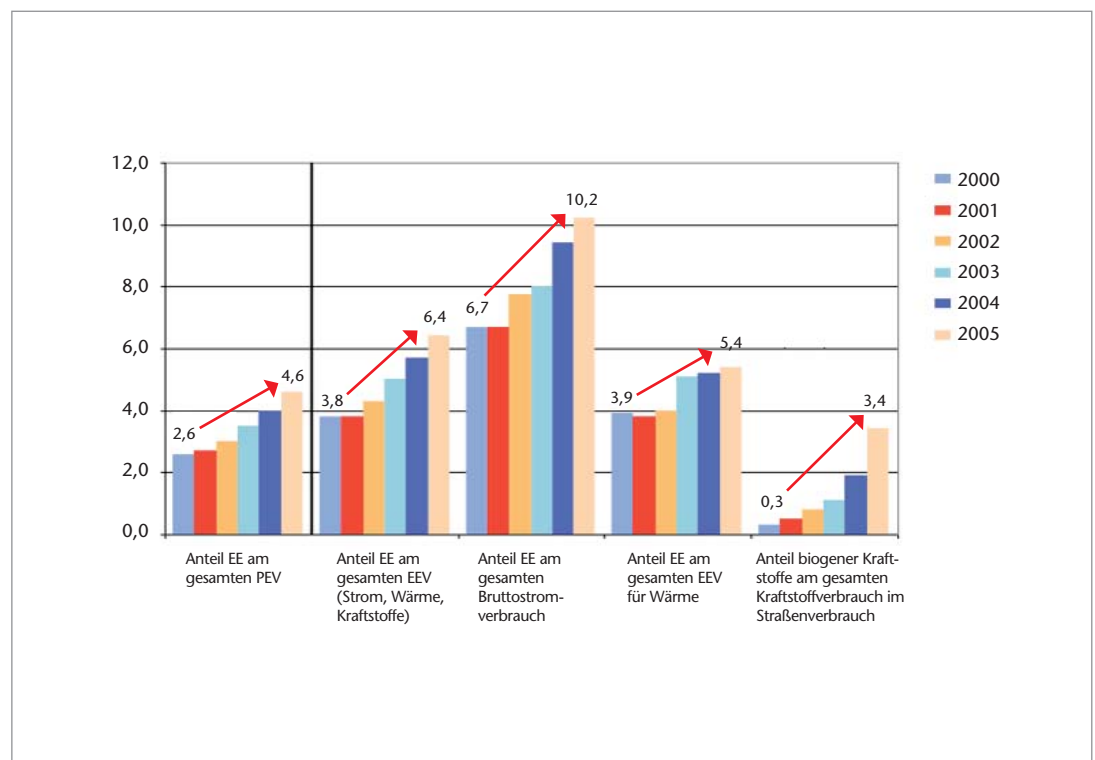
Wenn die erneuerbaren Energien bis Mitte dieses Jahrhunderts eine entscheidende Rolle im Energiemix spielen sollen, ist es notwendig, langfristige Prognosen zur Entwicklung der Energiemärkte abzugeben. Dabei spielt die Forschung und Entwicklung eine strategische Rolle. Deutschland hat in allen Bereichen der erneuerbaren Energien bereits wichtige Marktentwicklungen eingeleitet und den erweiterten Energiemix vorbereitet. Angesichts der zu erwartenden Schwierigkeiten der konventionellen Energieversorgung Versorgungssicherheit zu gewährleisten und wegen fortschreitender Klimabelastung ist ein Zögern bei der Entwicklung einer nachhaltigen Energieversorgung nicht zu verantworten.

Die Rolle des EEG

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) hat sich als Motor der Entwicklung bewährt, da es die wichtigsten treibenden Marktkräfte unterstützt:

- Das EEG schafft Sicherheit für die Finanzierung durch gesicherte Erträge für den Anlagenbetreiber.
- Für die Anlagenanbieter bewegt sich das Marktgeschehen unter hartem Kostendruck sowohl wegen der Konkurrenz als auch durch die Vorgabe der stetigen Degression der Einspeisevergütung.
- Damit wird neben der Marktnachfrage ein hoher Druck erzeugt, Innovationen zeitnah umzusetzen.

Abbildung 1
Beschleunigung der Marktentwicklung durch das EEG
Quelle: BMU 2006



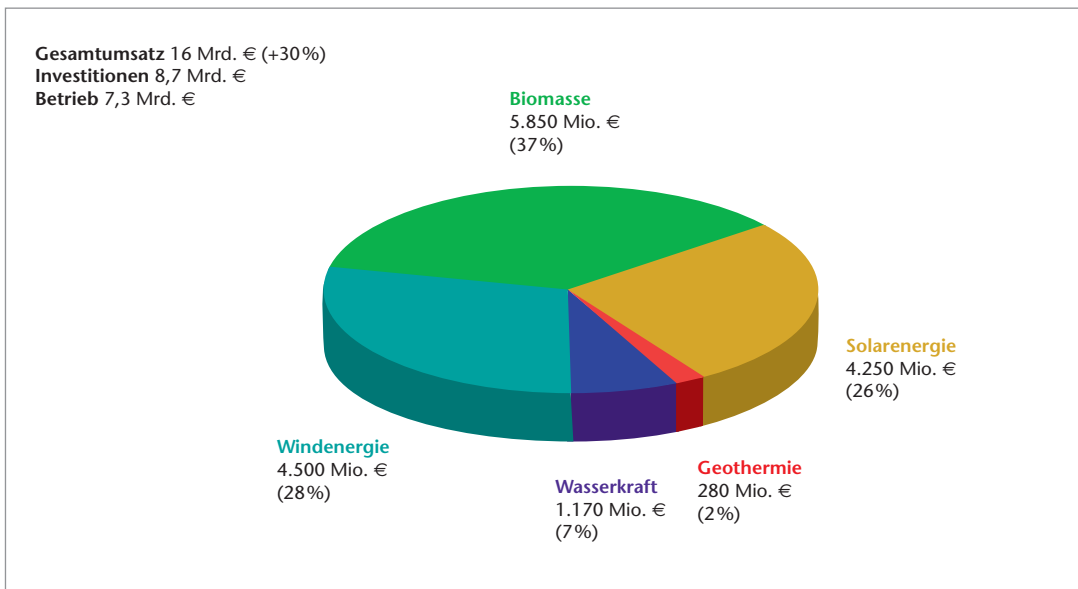


Abbildung 2
 Umsatz mit
 erneuerbaren Energien
 in Deutschland 2005

Quelle: Frithjof Staib,
 Jahrbuch Erneuerbare
 Energien / Hrsg.:
 Stiftung Energieforschung
 Baden-Württemberg

Diese Marktentwicklung zeichnet sich auf breiter Front mit zunehmender Beschleunigung ab (Abb. 1). Die gegenwärtige Dynamik wird auch sichtbar an den Erfolgen in der Schaffung neuer Arbeitsplätze, die 2006 die 200.000-Grenze bereits deutlich überschritten haben (Abb. 2).

Die öffentliche Forschungsförderung wird sowohl in Deutschland als auch im Programm der Europäischen Union dieser Anforderung noch nicht gerecht. Auch hier müssen deutliche Wachstumsimpulse kommen, wenn die deutsche Forschung zusammen mit der Industrie die anstehenden Herausforderungen bewältigen soll. Vergleiche mit Kernenergie oder konventionellen fossilen Energien zeigen, dass in der Forschungsförderung nach wie vor die erneuerbaren Energien faktisch eben doch noch nicht die Rolle spielen, die ihnen in der politischen Rhetorik bereits zugewiesen wird.

Dies gilt auch für die Energiewirtschaft, die das Potenzial der erneuerbaren Energien im Energiemix mit der Begründung einer aktuell nicht gegebenen Wirtschaftlichkeit stark relativiert. Die Investitionsentscheidungen der konventionellen Energiewirtschaft bei der anstehenden Erneuerung des Kraftwerkparks binden langfristig enorme volkswirtschaftliche Mittel und gestalten die Energieinfrastruktur auf lange Sicht unflexibel.

Auch bei der Ermittlung der volkswirtschaftlichen Differenzkosten¹, die aus den im EEG erfassten Technologien ermittelt werden, werden von der Politik wesentliche ökonomische Parameter nicht berücksichtigt. So erzielt nach nur 15 Jahren Entwicklung bereits heute die Herstellerbranche der Windenergie (typischerweise Maschinenbau) einen rasch steigenden Anteil an Erträgen aus dem Export von Anlagentechnik, deren Kosten ja keineswegs aus dem EEG sondern von ausländischen Kunden voll finanziert werden (Abb.3).

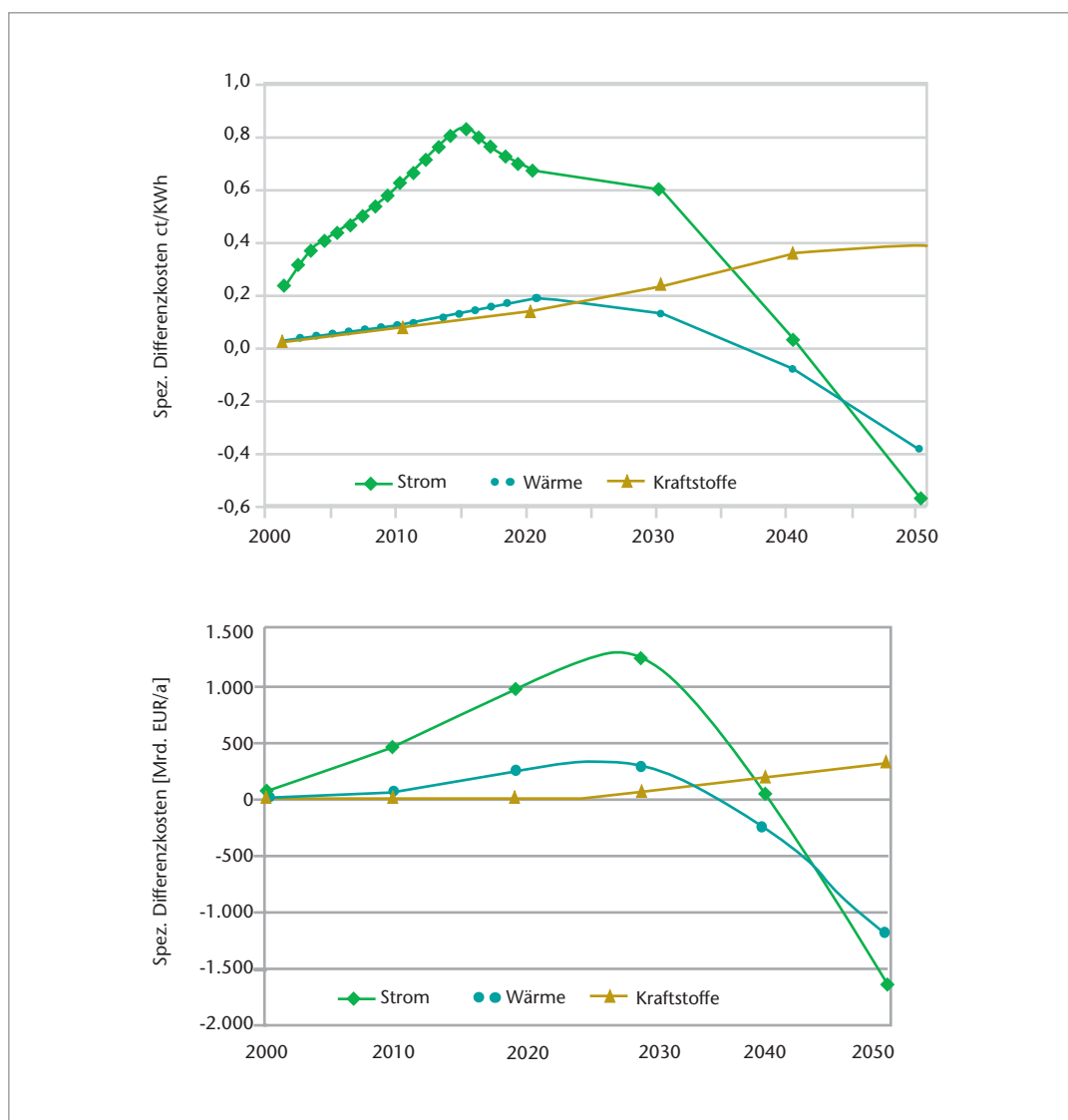
Damit tritt ein Sekundäreffekt ein, der deutlich zusätzliche Arbeitsplätze schafft und als volkswirtschaftliche „Dividende“ der Marktförderung durch EEG schon heute zu Buche schlägt. Dieser „Gewinn“ wird auch bei allen anderen erneuerbaren Technologien eintreten, wenn es gelingt, die Technologieführerschaft zu erreichen und auch über einen längeren Zeitraum zu halten (Abb.4).

¹ Differenz zwischen den Kosten für die Bereitstellung konventioneller Energien aus Kohle, Ergas, Erdöl, Kernenergie und den Kosten für Energien aus erneuerbaren Energiequellen.

	Nur Deutschland	Welt ohne Deutschland	Gesamt	%- Anteil Deutschlands am Weltmarkt
Installierte Leistung in MW	2.037	5.575	7.612	27%
Umsatz der Windindustrie Mio. €	1.823	4.460	6.283	29%
dt. Wertschöpfung Windindustrie Mio. €	1.300	1.847	3.146	50%
dt. Wertschöpfung Projektentwickler Mio. €	547		547	
dt. Wertschöpfung Betrieb Mio. €	714		714	
dt. Wertschöpfung Gesamt Mio. €	2.562		4.408	

Abbildung 3
Die Dividende der volkswirtschaftlichen Lernkosten kommt mit dem Export deutlich früher als im heimischen Energiemarkt

Abbildung 4
Die Dynamik der Lernkosten: Verlauf der Differenzkosten erneuerbarer Energien in ct/kWh (oben) und in Mrd. € pro Jahr (unten) im Szenario Naturschutz Plus II bei einer mittleren Preisentwicklung für die konventionelle Energiebereitstellung
Zum Vergleich: Gewinn von RWE in 2005 beträgt 6,2 Mrd. €



Wachstum und industrielles Lernen

Bei der Frage welches Wachstum optimal wäre muss man folgende Punkte berücksichtigen:

1. Nur mit Wachstum ist ein industrieller Lerneffekt zu erreichen. Bei Nullwachstum wird auch kein technologischen Fortschritt eintreten.
2. Das Wachstum darf aber nicht so hoch sein, dass die eigentlichen technologischen Lerneffekte nicht in ausreichendem Umfang in die Neuinvestitionen der Produktionstechnik einfließen können.
3. Hohe Nachfrage entfaltet eine starke Investitionsdynamik und großen Konkurrenzdruck.
4. Zu extremer Konkurrenzdruck erschöpft aber das Know-how und überdehnt das Forschungs- und Entwicklungspotenzial.
5. Upscaling von Fabrikation macht Sinn, solange Lerneffizienz die größere Fabrik optimiert.

Eine erste Schätzung könnte lauten, dass 20-30% Wachstum pro Jahr ein guter Ansatz wäre. Dies würde dann in der Lernkurve auch den nötigen Fortschritt ermöglichen. Für ein Kostenziel von 0,2 €/kWh Stromproduktionskosten in 20 Jahren am Beispiel Photovoltaik (Abb.5) würde dies mit einem ökonomischen Umsatzwachstum von ca. 15-20% der Branche verbunden sein. Dies scheint ein ausreichender Anreiz zu sein für die bedeutenden Investitionen der Branche in Produktionskapazitäten und für weitere Forschung und Entwicklung. Fazit: 25-35% Mengenwachstum pro Jahr wären optimal.

Wie die inzwischen konkret entstehenden Märkte erwiesen haben, ist das EEG eben deshalb so effektiv, weil es dem Endkunden eine sichere Amortisation gewährleistet und er dabei einen Qualitätsdruck in Richtung garantierter Leistung der Anlage ausübt. Gleichzeitig entsteht wegen der vorgegebenen jährlichen Vergütungsdegression für den Hersteller ein massiver Entwicklungs- und Konkurrenzdruck. Dies ist das Erfolgsrezept des EEG.

Die vielfach geäußerten Kommentare, dass über das EEG auch eine „Bereicherung“ der Branche durch „Subvention“ verursacht würde, greifen nicht, da es gerade darum geht, eine Industrie

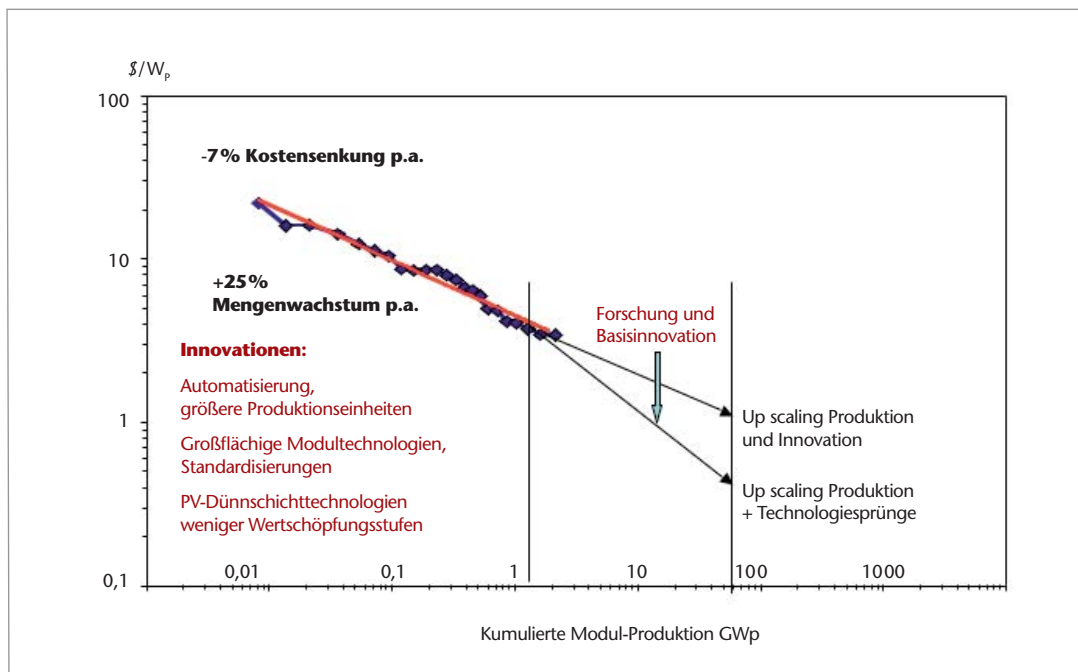


Abbildung 5
Lernkurve am Beispiel Photovoltaik / Modulpreise 1973 bis heute
Quelle: Fraunhofer ISE

aufzubauen und dies vor allem beschleunigt. Eine Industrie bekommt man aber nur, wenn Gewinne in Aussicht stehen. Preiskontrolle entsteht dabei im Wesentlichen durch Konkurrenzdruck. Diesen Aspekt verhindert das EEG nicht, sondern unterstützt ihn weit mehr als jedes andere Marktmodell (Quotenmodelle etc.).

Wie „tickt“ das EEG ?

Das EEG beschleunigt die Nachfrage durch:

- früheren Investitionsanreiz (kein Warten auf bessere Zeiten)
- langfristig sichere Kalkulation für den Kunden

Das EEG bewirkt auf Seiten der Anbieter:

- Die Anlageneffizienz ist vorrangig gegenüber der Abschreibung, damit entsteht hoher Anbieter-Wettbewerbsdruck
- Die vorgegebene Ertragsdegression bewirkt einen hohen Preissenkungs- bzw. Innovationsdruck
- Standortbindung durch Marktprogramm

Das EEG reagiert industrieseitig aber auch empfindlich:

- Herstellerinvestitionsentscheidungen sind extrem vom Marktwachstum abhängig, da Kostendegression nur bei gesichertem Up-Scaling zu bewältigen ist.
- Up-Scaling der Fabrikgrößen ist zwar rasant aber auch sehr riskant.
- Die Kosten-Degression des EEG ist rein zeitlich und nicht Lernkurven-definiert, d.h. die Degression vollzieht sich wachstumsbezogen.
- Kontinuität nationaler politischer Rahmenbedingungen ist zwar im Falle des EEG gesetzlich gesichert aber diese Rahmenbedingungen unterliegen einer energiepolitischen Diskussion, die zu veränderten Rahmenbedingungen führen kann.

Beispiel Photovoltaik

Die Photovoltaik ist die Technologie mit dem langfristig größten und globalen Potenzial unter den erneuerbaren Energien. Andererseits ist sie aber auch noch am weitesten von der Wirtschaftlichkeit entfernt, erfordert also die größten Anstrengungen. Die bisherige Entwicklung nach wichtigen Parametern wie Wirkungsgrad der Solarzellen oder Reduktion an teuren Materialien folgt einer „Lernkurve“, die extrapoliert in der nächsten Dekade bei einer Verzehnfachung des weltweiten Produktionsvolumens jeweils eine Halbierung der Herstellkosten erwarten lässt.

Photovoltaikbranche und Photovoltaikforschung haben in den letzten Jahren durch gemeinsame Kooperationen Deutschland die Technologieführerschaft gesichert. Dies basiert wesentlich auf langfristig angelegter öffentlicher Forschung, die mit ihren Vorlauf-Entwicklungen der Industrie beschleunigt Innovation anbieten kann und damit das Risiko für die Investoren am Standort Deutschland mindert.

Natürlich sind auf der Lernkurve auch Schwankungen unvermeidlich. Sie hängen mit Produktionszyklen zusammen, die in komplexen Branchen mit ganz verschiedenen Wertschöpfungsstufen überall vorkommen können.

In 2004/2005 war dies bei den Modulpreisen offensichtlich der Fall, verursacht durch eine vorübergehende Verknappung von Rein-Silicium für Solarzellen (*Abb. 6*). Aus solchen kurzfristigen Schwankungen lassen sich aber, wie viele Untersuchungen zu langfristigen Lernkurven in ganz unterschiedlichen Wirtschaftszweigen belegen, keine grundsätzlich abweichenden Tendenzen begründen.

Wirkungsgrad als Hauptparameter

Wichtig sind natürlich auch die Beobachtungen zu langfristigen Entwicklungen aus technologischer Sicht. Ein Hauptparameter der Photovoltaik ist der Wirkungsgrad der einzelnen Solarzellentechnik. Die historische Entwicklung (*Abb. 7*) belegt auch hier den relativ stetigen Prozess einer Steigerung der technischen Qualität.

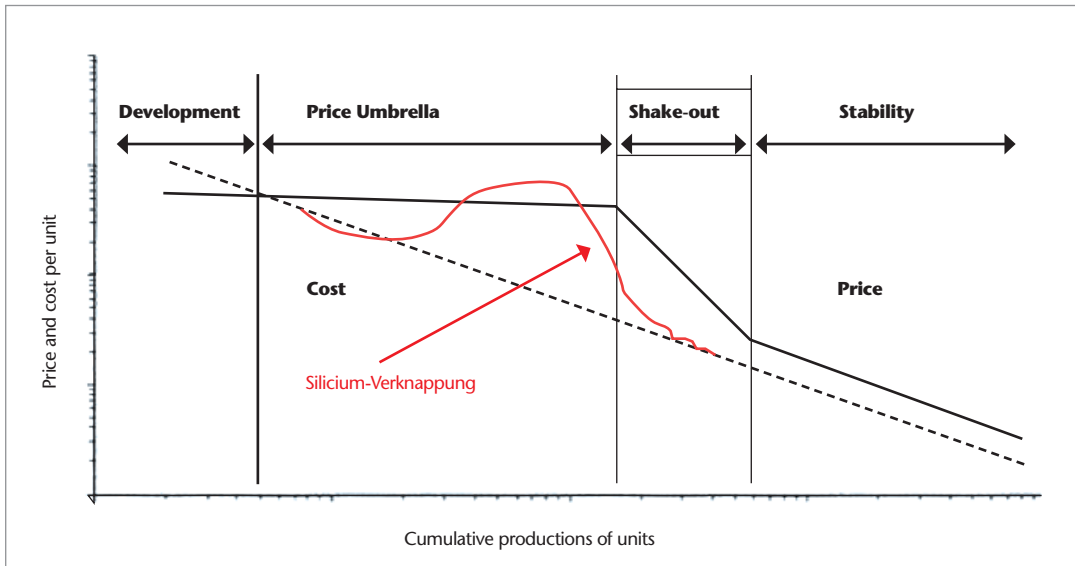


Abbildung 6
 Marktdynamik
 in Lernkurven:
 Anstieg der
 Modulpreise durch
 Verknappung von
 Rein-Silicium
 Quelle: U.Claeson 1999

Ein wichtiger Punkt ist dabei die Überführung von Laborresultaten in Form von „Weltrekorden“ in die Produktionspraxis, ein Prozess, der durchschnittlich zehn Jahre benötigt. Auch hier ist zu beachten, dass dieser Transfer nur über große Investitionen in Vorlaufentwicklung von Anlagentechnik funktioniert, die ihrerseits nur bei entsprechenden Erträgen der Industrie aus dem Marktgeschehen verfügbar sind.

Ein theoretischer Forschungsvorlauf ohne paralleles Engagement einer Industrie würde also niemals den entsprechenden Erfolg haben.

Markt und Forschung müssen parallel und in dynamischer Wechselwirkung arbeiten. Auch aus dieser Warte betrachtet, ist ein längerfristiges mittleres Mengenwachstum des Photovoltaikmarktes von 20 - 30% pro Jahr vermutlich optimal.

Als Beispiel einer Entwicklung wird das wichtiger werdende Marktsegment Dünnschichttechnologie in der Photovoltaik betrachtet. Hier greift neben der Wirkungsgradsteigerung noch ein anderer Effekt (der bei der auf Siliciumwafern basierenden Modultechnik so nicht auftritt).

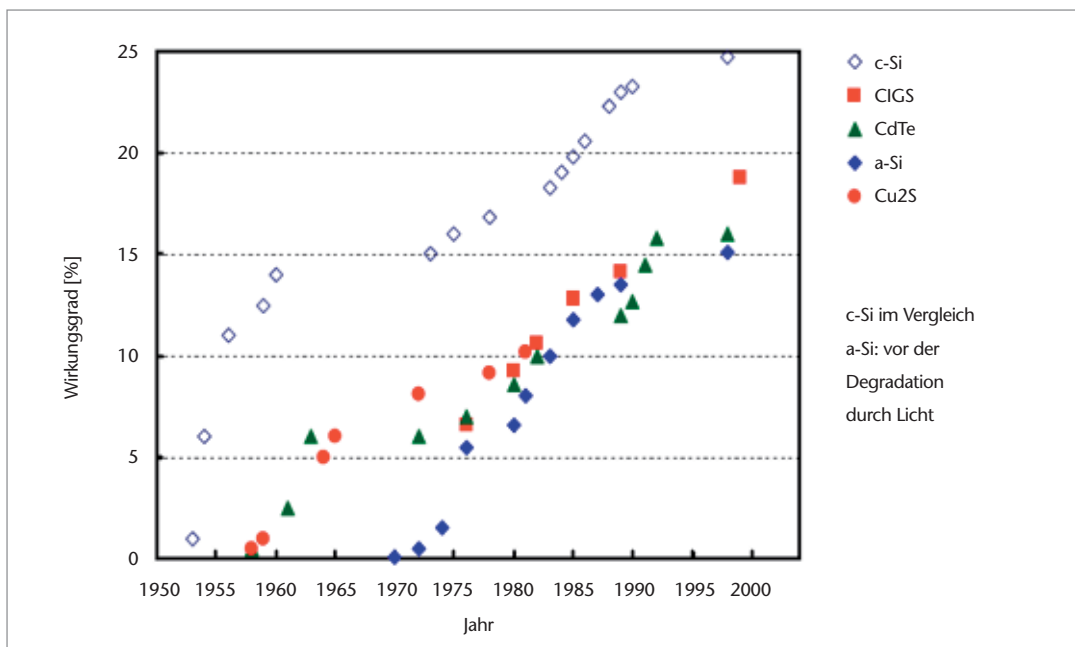
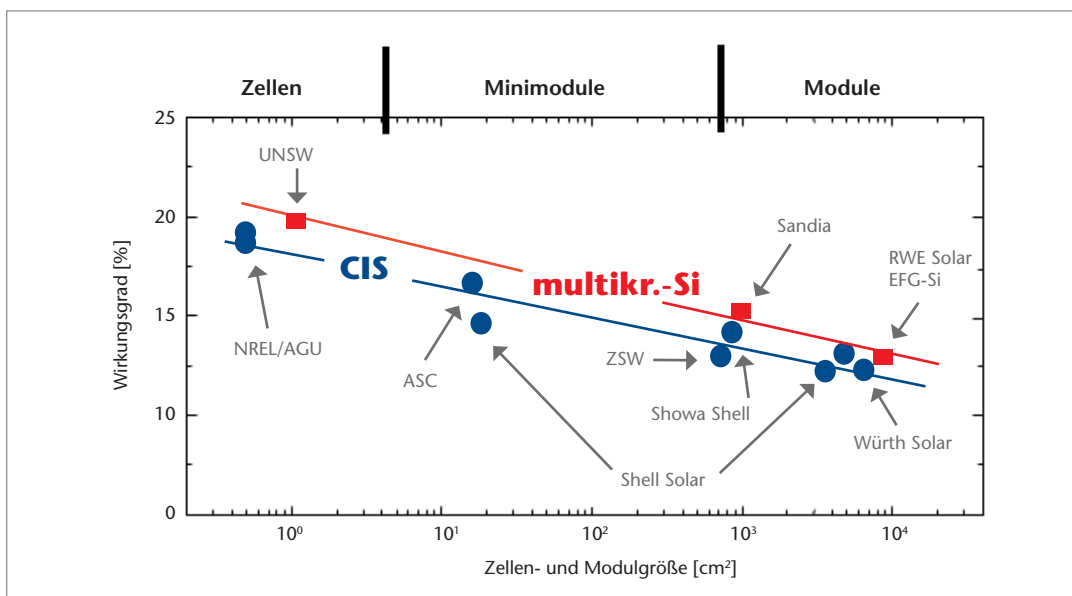


Abbildung 7
 Wirkungsgradentwicklung
 über 50 Jahre

Quelle: H.W. Schock,
 F. Pfisterer, Thin Film Solar
 Cells: The early Years

Abbildung 8
 Modul-Wirkungsgrade
 von CIS- und mc-Silicium-Solarzellen
 verschiedener
 Hersteller in Relation
 zur Modulfläche
 Quelle: ZSW, Powalla 2003



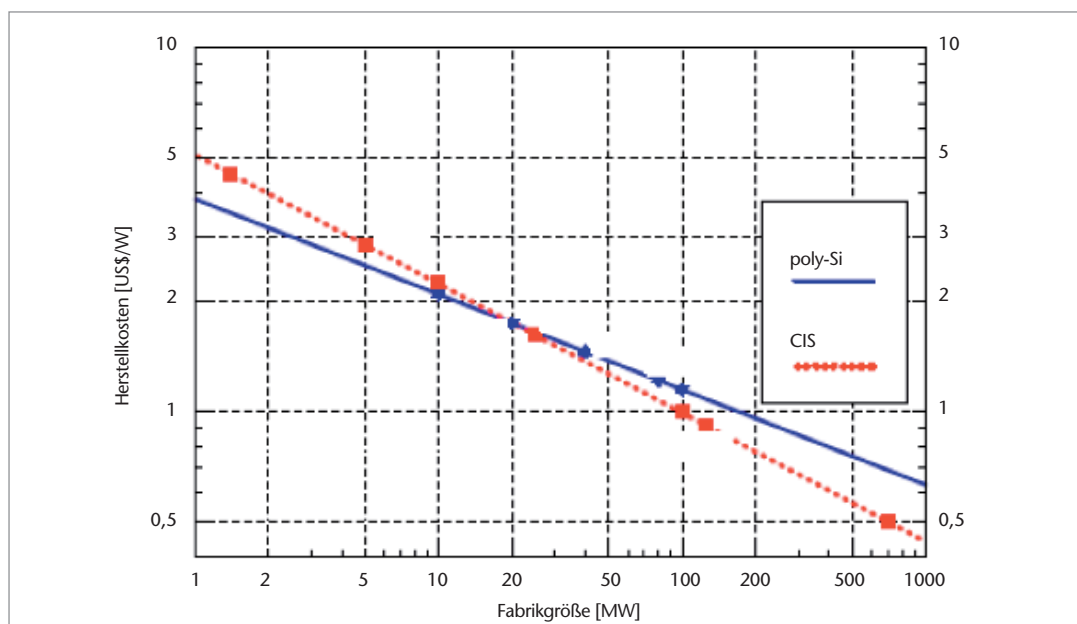
Die Dünnschichtverfahren müssen für Kosteneffizienz auf große Modulflächen und raschen Durchsatz in teuren Beschichtungsanlagen optimiert werden. Diese Flächenvergrößerung der produzierten Module ist negativ korreliert mit dem Wirkungsgrad (Abb. 8). Daher muss ein erheblicher Entwicklungsaufwand dort betrieben werden, wo die Beschichtungstechnik vom Labor oder Technikumsmaßstab auf die zu produzierende Fläche des Moduls hochskaliert werden muss. Am Beispiel der CIS-Technik (CIS ist die Abkürzung für einen Kupfer-Indium-Schwefel/Selen-Verbindungshalbleiter) war dies

in den vergangenen 15 Jahren eine Hochskalierung der gesamten Technik um den Faktor 100! Diese Skalierung kann natürlich nur in einer engen Zusammenarbeit mit der produzierenden Industrie geschehen. Die CIS-Technik konnte mit diesen Anstrengungen in den letzten Jahren auf Wirkungsgrade gebracht werden, die den Bereich der heute üblichen multikristallinen Siliciummodule erreichen.

Eine weitere wichtige Skalierung betrifft die Fabrikgröße, die sich aus der Technik und am möglichen Marktanteil orientieren muss.

Abbildung 9
 Kostendegression
 als Funktion der
 Fabrikkapazität

Quelle: W. Krewitt,
 M. Nast, J. Nitsch,
 DLR März 2005



Dass hier eine eigene Dynamik entfaltet werden muss, sieht man an der derzeit raschen Entwicklung zu größeren Fabriken. Heute sind in der Siliciumtechnik Fabriken mit mehreren Hundert MW Kapazität im Visier. Dabei spielt auch der spezifische Kostenvorteil unterschiedlicher Technologien eine große Rolle. In *Abb. 9* wird dies anhand eines Vergleichs der Siliciumtechnik zur CIS-Dünnschichttechnik dargestellt.

Nimmt man die Zahlen der industriellen Marktentwicklung der Photovoltaik und der weiteren Perspektive, so müssen die Anstrengungen in Forschung und Entwicklung ebenfalls wesentlich gesteigert werden. Dies gilt gleichermaßen für die öffentliche wie unternehmerische Forschung. Nimmt man eine bescheidene 5% Marge aus dem industriellen Umsatz für Forschung und Entwicklung an, wie sie für Technologiebranchen mindestens üblich ist, so würde der Aufwand für Forschung und Entwicklung in der Industrie 2005 ca. 100 Mio. € pro Jahr betragen. Die öffentliche Förderung in die Photovoltaik-Forschung beträgt bereits deutlich weniger. Die Chancen auf Wachstum dieser Förderetats in Bund und Ländern muss derzeit leider skeptisch beurteilt werden.

Schlussfolgerungen

Für die Forschung in Deutschland bleibt die Herausforderung, hier in enger Kooperation mit der heimischen Industrie die noch erforderlichen großen Kostensenkungen durch Weiterentwicklung zu eröffnen. Die öffentliche Forschung muss zur Standortsicherung verstärkt werden, weil der Innovationsprozess über Dekaden aufrecht erhalten werden muss:

- Als anwendungsnahe institutionelle Begleitforschung, die interdisziplinär auf den Bedarf der Industrie ausgerichtet ist (sie erfüllt auch die Ausbildungsaufgabe für den wachsenden Bedarf der Industrie nach spezifischem Entwicklungspersonal)
- Als Grundlagenforschung, die sich der ganzen Bandbreite der naturwissenschaftlichen Exzellenz bedient, um Basisinnovationen für nachfolgende Technologiestufen zu sichern

Die langfristige (und richtige) Degression des EEG-Preisniveaus fördert darüber hinaus einen intensiven Innovationsprozess, der parallel zum Produktions-Upscaling gesichert bleiben muss. Die volkswirtschaftlichen „Lernkosten“, die sich aus den Differenzkosten einer im Anfangsstadium noch nicht konkurrenzfähigen neuen Energietechnik ergeben, sind dabei zu minimieren. Die Erfolge des deutschen Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) sind weltweit Vorbild einer optimalen staatlichen Ordnungspolitik, die energiewirtschaftliche Zielsetzungen mit umwelt- und industriepolitischen zu einem langfristigen Szenario verbindet.

- Die „**solare Dividende**“ ergibt sich wirtschaftlich erst langfristig nach 20 - 30 Jahren, was nicht überrascht. Immerhin liegt diese Dividende durchaus in Größenordnungen, die innerhalb energiewirtschaftlicher Maßstäbe bleiben und somit auch industriepolitisch nachhaltig sind.
- Die „**industrielle Dividende**“ kommt aber früher, wenn die heimische Industrie für den Export gerüstet ist. Diese Dividende ist oft nicht in den volkswirtschaftlichen Rendite-rechnungen enthalten.
- Die „**Umweltdividende**“ ergibt sich aus der Nachhaltigkeit; die in der Jahrhundertperspektive dann mit umfassender und globaler Nutzung aller erneuerbaren Energien.
- Es ist nicht die Frage, ob dieser Wandel kommt, sondern welche Industrienationen ihn als frühe globale Wettbewerber am effizientesten und raschesten vollziehen. Diese Länder werden die „solare Dividende“ ausschöpfen und wesentliche Anteile der Wertschöpfung im Land halten können.

Maßgebliches Instrument bleibt daher das Erneuerbare-Energien-Gesetz, das in jedem Fall in gleicher Struktur und mit nur wenig Korrekturen fortzuschreiben ist. Die Photovoltaik ist hier nicht „Schlusslicht“ der Entwicklung der Potenziale der erneuerbaren Energien, sondern eher ihre langfristige Speerspitze mit dem größten Potenzial. Die „Renditerechnung“ muss dabei mittel- und langfristige Aspekte unterscheiden. Die global schon relativ früh erreichbare Rendite durch Export, insbesondere der industriell heranreifenden Anlagentechnik ist dabei besonders wichtig, wird aber unter energiewirtschaftlichen

Vergleichen derzeit noch viel zu wenig berücksichtigt.

Die Voraussetzungen für die Lösung dieser Probleme sind in Deutschland gegeben. Es bedarf des politischen Willens, hierzu den richtigen industrie- und ordnungspolitischen Rahmen auf längere Sicht stabil zu gestalten. Nur dadurch wird Sicherheit für Investoren und Anwender geschaffen und in der Folge das nötige Marktwachstum erzielt.

Für die Photovoltaik bedeutet dieser Ansatz, dass über mehr als zwei Jahrzehnte geeignete Rahmenbedingungen gewährleistet werden. Die Lernkurve der Photovoltaik weist in die richtige Richtung und dokumentiert für die vergangenen zwei Dekaden den nötigen Fortschritt.