

## **Ländervergleich zur Effizienz von Förderstrategien zur Markteinführung der Photovoltaik**

**Demet Suna\***, Assumpcio Lopez-Polo, Reinhard Haas

Energy Economics Group, Technische Universität Wien

Gußhausstraße 27-29/373-2, A-1040 Wien, Austria.

Tel: +431/58801-37365, Fax: +431/58801-37397

E-Mail: [suna@eeg.tuwien.ac.at](mailto:suna@eeg.tuwien.ac.at)

Website: <http://eeg.tuwien.ac.at>

### **Motivation**

Die zentrale Fragestellung dieser Arbeit lautet: Was haben Förderstrategien für Photovoltaikanlagen in den marktführenden Ländern in Bezug auf Kostenreduktion und Ausbau bewirkt?

### **Inhalt**

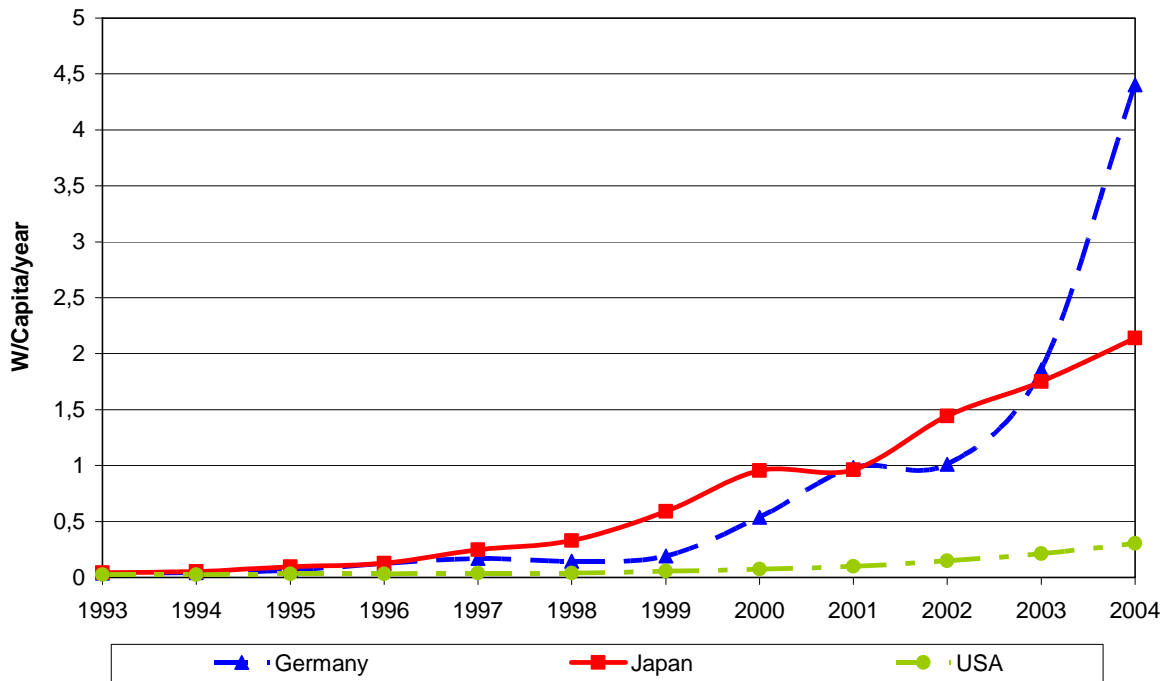
Im Jahr 2004 ist die jährlich installierte Photovoltaikleistung mit 62% Wachstumsrate im Vergleich zum Vorjahr auf 927 MW angestiegen. 69% hiervon wurden hierbei allein in Deutschland und Japan installiert. Ein weiteres Faktum ist, dass in beiden Ländern hohe Förderanreize gesetzt wurden.

Besonders Deutschland hat im Jahr 2004 mit einem Zuwachs von über 100% im Vergleich zu 2003 eine rasante Entwicklung erlebt. Der Hauptgrund für dieses Wachstum ist die Erhöhung der Solarstromvergütung im Rahmen des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG). Dieses starke Wachstum hat auch zu einem Ausbau der Produktionskapazitäten für Solarzellen, Solarmodule und Wechselrichter geführt.

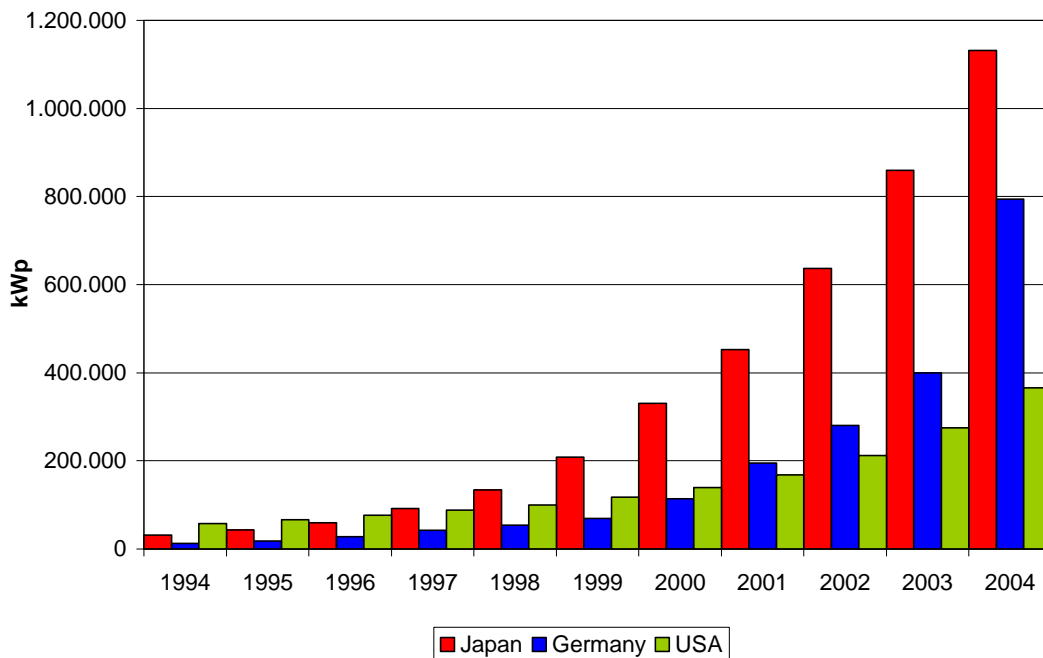
Japan weist derzeit mit 1132 MW die höchste weltweit kumuliert installierte Photovoltaik Leistung auf. Für diesen Erfolg ist in erster Linie das japanische Förderungsinstrument „*Residential PV System Dissemination Programm*“ (RPVDP) verantwortlich. Im Gegensatz zu Deutschland und Japan gibt es im drittgrößten Markt, der USA, keine einheitliche Förderpolitik. Die besten Rahmenbedingungen gibt es in Kalifornien, wo auch 2004 mehr als die Hälfte der in den gesamten USA installierten netzgekoppelten PV Anlagen errichtet wurden.

In der vorliegenden Arbeit werden diese drei wichtigsten Märkte im Zeitraum 1994 bis 2004 hinsichtlich der historischen Kapazitätsentwicklung, der erzielten Kostenreduktion der Photovoltaikkomponenten des Gesamtsystems und der bereitgestellten Subventionen im Rahmen der dezentral netzgekoppelten Anlagen unter der Berücksichtigung der wichtigsten Fördermodelle untersucht.

Einleitend hierzu zeigen nachfolgende Abbildungen einen ersten Ländervergleich im Hinblick auf die Kapazitätsentwicklung. Im Detail widerspiegelt Abbildung 1 einen interessanten Vergleich – der jährliche Ausbau wird in Relation zur Einwohnerzahl gestellt, während Abbildung 2 die Entwicklung der kumulierten Leistung aufweist.



**Abbildung 1:** Jährlich installierte PV Leistung pro Einwohner



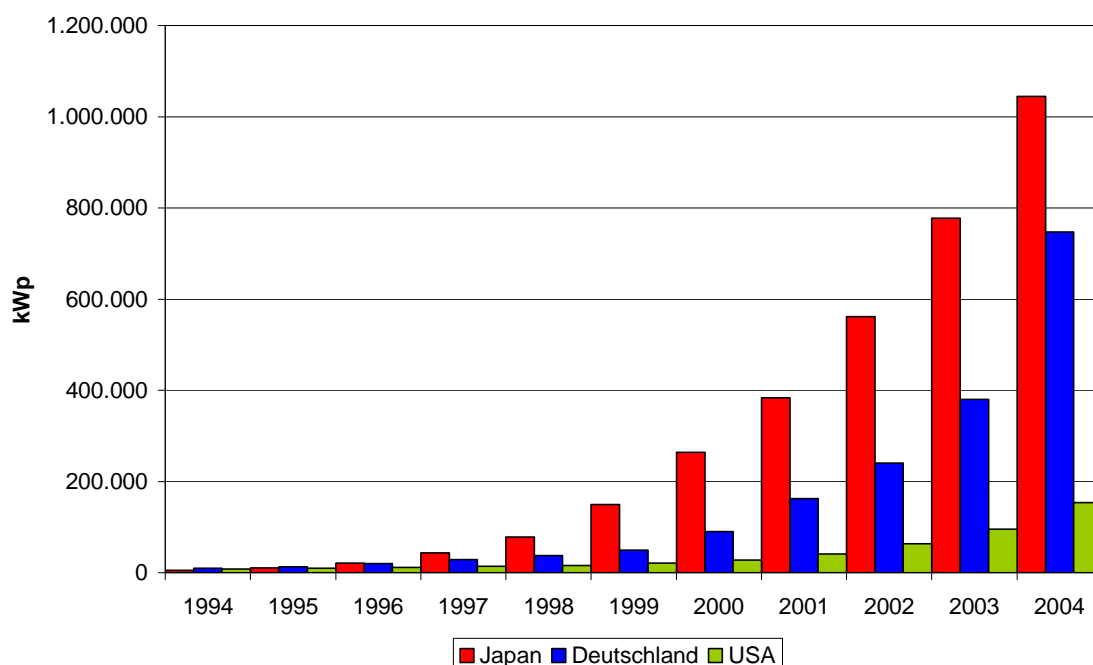
**Abbildung 2:** Historische Entwicklung der kumulierten PV Leistung (netzgekoppelt & Inselanlagen) in den drei marktführenden Ländern (1994-2004)

## 1 Kapazitätsentwicklung der dezentralen netzgekoppelten PV Anlagen

Die Unterschiede dieser drei Länder bezüglich netzgekoppelter PV Anlagen sind in **Abbildung 3** dargestellt. Die in Japan installierte Leistung dezentraler netzgekoppelter PV Anlagen ist bemerkenswert von Jahr zu Jahr gestiegen. Der Grund dieser Entwicklung ist die finanzielle Unterstützung mittels des „Residential PV System Dissemination Programme“ von METI (Ministry of Economy, Trade and Industry), die besonders für netzgekoppelte PV Anlagen sowohl in privaten, öffentlichen aber auch industriellen und kommerziellen Gebäuden aufgebaut wurde. Unter diesem Programm wurden über 200.000 PV Anlagen auf Gebäuden (sowohl auf Fassaden aber auch Dächern) installiert.

Während in Japan die Installation dezentraler netzgekoppelte PV Anlagen zwischen 1994 (5130 kW) bis zum Jahr 2004 (mit 1.044.846 kW) jährlich durchschnittlich ca. 70% gestiegen ist, ist in den USA (1994: 8200 kWp, 2004: 153.600 kW) diese Rate bei %35 auf einem vergleichbar niedrigen Wert geblieben. In Deutschland hingegen lag die Wachstumsrate bis zum Jahr 2004 durchschnittlich bei 50%. Durch den großen Aufschwung mit über 100% im Jahr 2004 hat die durchschnittliche Wachstumsrate auf 55% erreicht. (1994: 9124 kWp, 2004: ca. 747.000 kWp)

In den USA, im Gegensatz zu Japan und Deutschland, haben die netzunabhängigen Inselssysteme große Bedeutung. Der Großteil der netzgekoppelten PV Anlagen befindet sich mit ca. 70% in Kalifornien. Alleine im Jahr 2004 mit 36.719 kW installierter PV-Leistung wurden 13.082 PV Anlagen ans Stromnetz gekoppelt. Ende des Jahres 2004 betrug die kumulierte Leistung 93.416 kW.



**Abbildung 3:** Historische Entwicklung der kumulierten dezentral- netzgekoppelten PV Leistung in den drei marktführenden Ländern (1994-2004)

## 2 Geschichte der Fördermodelle in marktführenden Ländern

In diesem Teil der Arbeit werden die drei Länder im Hinblick auf die wichtigsten Fördermodelle untersucht. **Tabelle 1** zeigt einen Überblick der implementierten Fördermodelle.

**Tabelle 1:** Die wichtigsten Fördermodelle in Japan, Deutschland und USA

	Period	Name des Programmes	Total dezentral netzgekoppelte Leistung (2004)	Art der Förderung
<b>Japan</b>	1994-2005	Residential Dissemination Program	1044,8 MW	Investitionszuschuss
<b>Deutschland</b>	1999-2003	100.000 Dächer Prog.	747 MW	Soft loans
	2000-2004	EEG		Einspeisegesetz
	2004-	EEG Novelle		Revidiertes Einspeisegesetz
<b>USA (Kalifornien)</b>	1998	Buydown	153,6 MW	Investitionszuschuss
	<b>1993-1997</b>	SMUD "PV Pioneer I"		Contracting
	<b>1998-2004</b>	SMUD PV Pioneer II		Contracting & Net Metering

### 2.1 Japan

Bis Ende 2004 war Japan das führende Land im Hinblick auf jährliche Neuinstallationen. Dieser Erfolg ist eine Folge der langfristigen Programme – insbesondere des „Residential PV System Dissemination Programme“, was im 1994 in Kraft getreten ist. Unter diesem Programm wurden einfache Wohnhäuser, aber auch Anbieter von Fertigteilhäusern mit PV Anlagen sowie staatliche Organisationen, die PV an den öffentlichen Gebäuden integrieren wollten, stark unterstützt. (Tanaka, Ikki 2004).

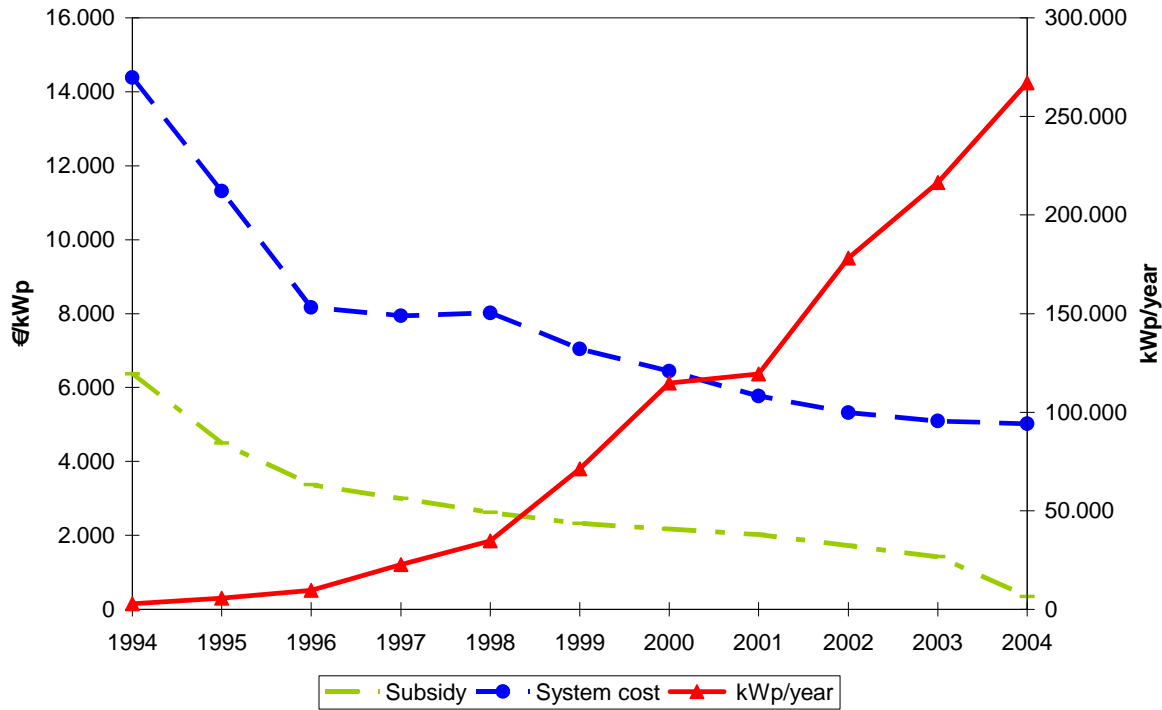
Das Rabatt Programm RPVDP hat im Jahr 1994 mit 900.000 JPY/W Subvention begonnen. Nach jährlicher Absenkung der Zuschüsse hat im Jahr 2004 die Investitionsförderung einen Wert von 45.000 JPY/ kW erreicht. Im März 2006, das das Ende des Finanzjahres 2005 darstellt, wird das Programm schließlich mit einer Förderung in Höhe von 20.000 JPY/kW, (1/45 der Anfangsmenge) beendet werden.

Im Jahr 2004 haben die gesamten spezifischen Systemkosten einer PV Anlage auf einem Wohnhaus 670.000 JPY/kW betragen. Vergleicht man dies mit dem Förderanreiz in Höhe von 20.000 JPY/kW, so ist zu erkennen, dass der gewährte Zuschuss heute lediglich ca. 3% der Systemkosten entspricht, während am Anfang dieses Programm die Subvention rund 50% der Systemkosten entsprochen hat. (Ikki, Mai 2005)

METI nimmt neue Anordnungen für das Finanzjahr 2006 vor und plant durch die Verwendung der staatlichen Kredite und Investitionsprogramme die Kreditzinsbelastung jener Firmen, die Fertigteilhäuser mit integrierten PV Anlagen verkaufen, zu senken.

In der folgenden **Abbildung 4** werden die Auswirkungen dieses Investitionszuschussprogramms auf die Systemkostenreduktion und Kapazitätsentwicklung dargestellt.

Der Einsatz eines langfristigen Förderprogramms, das eine deutliche Reduktion der gewährten Zuschüsse vorsah, bewirkte eine drastische Kapazitätsexpansion und hat in Japan einen starken PV Markt geschaffen. Beispielsweise wurde im Finanzjahr 2003 mittels 46.760 Neuanlagen eine Kapazitätzuwachs von 173.687 kW und im Jahr 2004 mit 60.000 Neuinstallationen ein Zuwachs von 233.026 kW erreicht.



**Abbildung 4:** Systemkosten vs. jährlich installierte netzgekoppelte PV Leistung unter der Berücksichtigung des Subventionsmodells „Residential PV System Dissemination Programm“ in Japan

## 2.2 Deutschland

Im Jahr 1999 hat in Deutschland das 100.000 Dächer Programm gestartet, was eine der wichtigsten Meilensteine zur Förderung der netzgekoppelten PV Systeme dargestellt hat.

Das Programm fußt einerseits auf zinsgünstige Darlehen, die im Rahmen des „Umweltprogramm: Investitionskredite für Umweltschutzmassnahmen“ von der staatlichen Bank KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau) vergeben werden. Die Kredite konnten für die ersten 10 Jahre mit 0% Zinssatz zurückgezahlt werden. Im Jahr 2000 fand eine Novellierung dieser Regelung statt. Die Zinsverbilligung wurde auf 4,5 % gesenkt, sodass in Folge der tatsächliche Kreditszins für die ersten 10 Jahre ca. 2% betrug. Die Ursache dieser Änderung war das in der Mitte des Jahres 2000 in kraft getretene Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), das ab dieser Zeit die Vergütungen für Strom aus erneuerbaren Energiequellen geregelt hat.

Das Gesetz hat die Netzbetreiber verpflichtet, Strom aus erneuerbaren Energien in ihr Netz aufzunehmen und mit einem beträchtlichen Mindestsatz zu vergüten.

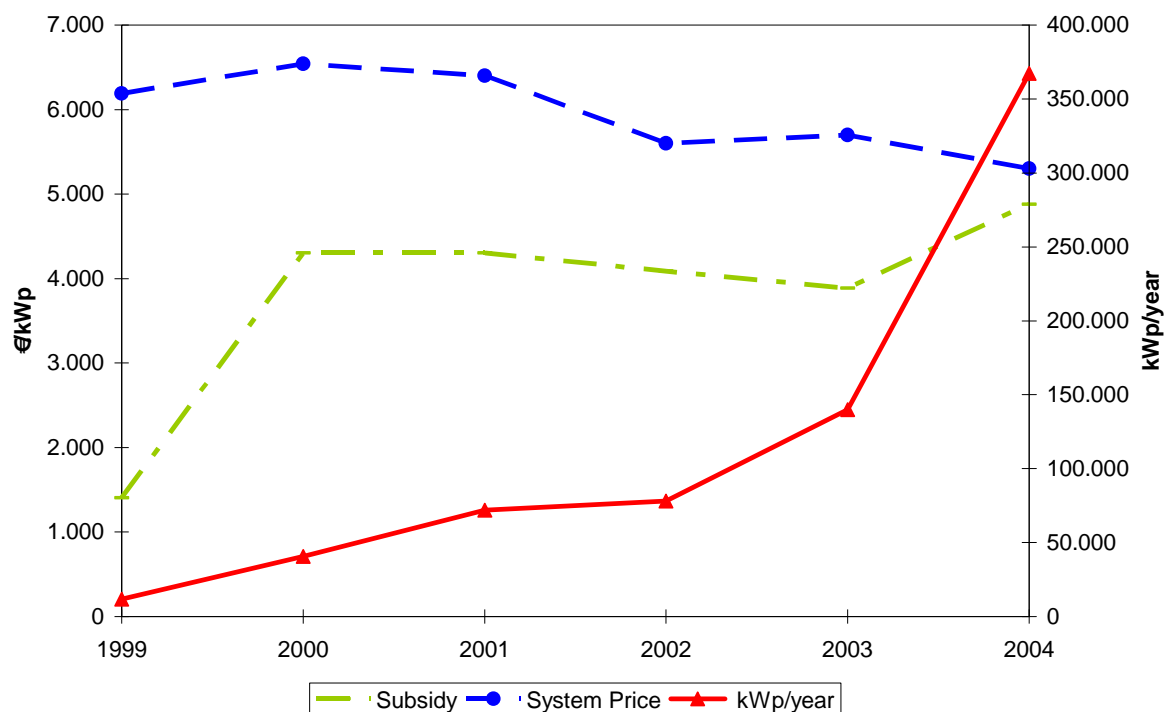
Und schließlich im Jahr 2004 wurde das 2003 ausgelaufene 100.000 Dächer Programm durch das Photovoltaik-Vorschaltgesetz ersetzt. Zusammen mit der EEG Novelle, die ebenso

2004 stattfand, brachte die neue Regelung im Hinblick auf Photovoltaik eine dramatische Verbesserung. Die Höhe der Einspeisevergütung (Siehe **Tabelle 2**) richtet sich nach dem Ort der Installation (d.h. Dach, Fassade oder Freifläche), der Größe der Anlage und nach dem Jahr der Inbetriebnahme. Die Vergütung wird für 20 Jahre plus Restmonate des Inbetriebnahmejahres gewährt. Die Auszahlung erfolgt in der Regel durch monatliche Abschlagszahlungen sowie einer jährlichen Abrechnung. Die Mindestvergütungen werden ab dem 1. Januar 2005 jeweils jährlich um 5 Prozent für neu in Betrieb genommene Anlagen gesenkt.

**Tabelle 2:** Vergütungssätze für Solarstrom ( [www.solarserver.de](http://www.solarserver.de) )

Anlage	=<30 kW	=< 100 kW	> 100 kW	zum Vergleich, bis 31.07.04:
<b>Dach</b>	57,4 ct	54,6 ct	54,0 ct	45,7 ct
<b>Fassade</b>	62,4 ct	59,6 ct	59,0 ct	45,7 ct
<b>Freifläche</b>		45,7 ct		45,7 ct

In der folgenden **Abbildung 5** werden die Auswirkungen dieses Förderprogramms auf die erzielte Systemkostenreduktion und Kapazitätsentwicklung gezeigt. Die in Deutschland installierte Kapazität netzgekoppelter Anlagen ist kontinuierlich gestiegen. Eine rasante Entwicklung war insbesondere im Jahr 2004 zu beobachten.



**Abbildung 5:** Systemkosten vs. jährlich installierte netzgekoppelte PV Leistung unter der Berücksichtigung der Subventionsmodellen „100.000 Dächer Programm plus EEG“ in Deutschland

## 2.3 USA

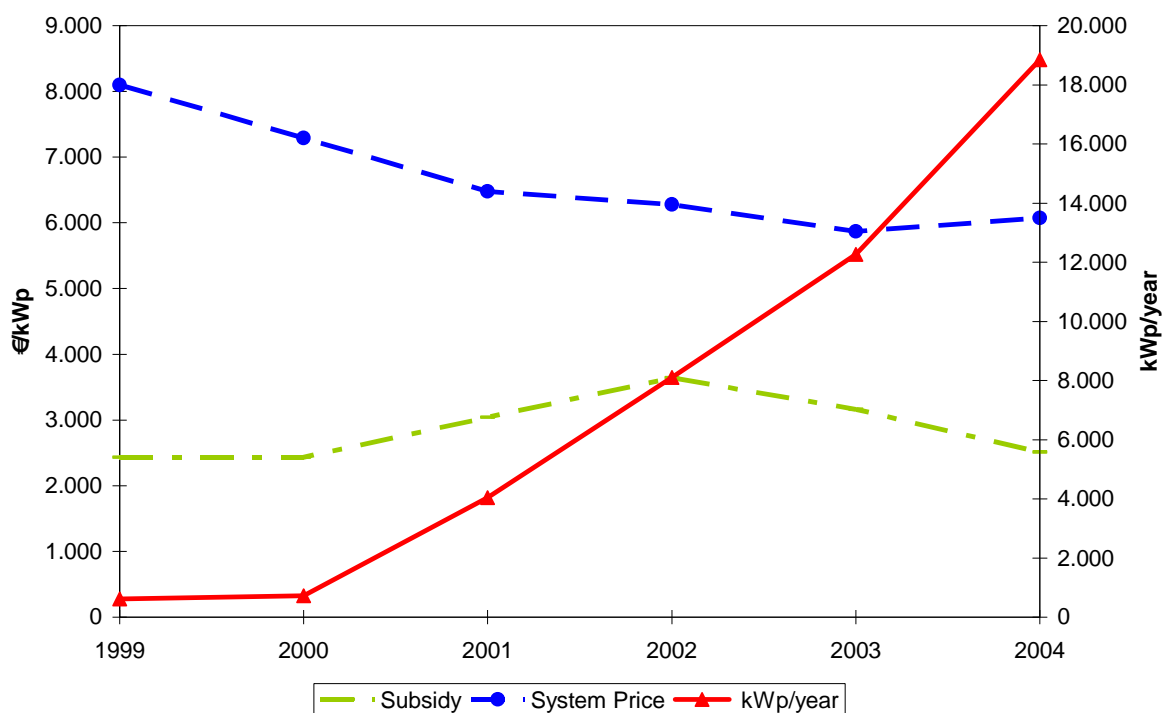
Im Jahr 2004 wurde in den USA die neu installierte PV Leistung im Vergleich zu 2003 verdoppelt, sie betrug rund 90 MW. Ein großes Wachstum weisen netzgekoppelte Anlagen mit ca. 63% Wachstumsrate auf - von 38 MW im Jahr 2003 auf 62 MW in 2004.

In diesem Land gibt es kein landesweit gültiges und einheitliches Förderprogramm. Außerdem, im Gegensatz zu Deutschland und Japan, haben PV Inselsysteme eine große Bedeutung.

Die wichtigsten Förderprogramme laufen in Kalifornien, wo sich die Leistung netzgekoppelter Anlagen im Jahr 2004 fast verdoppelte (auf 36.5 MW). Bei diesem Erfolg wirkten verschiedene Förderanreize zusammen. Das wichtigste Förderprogramm ist das „Buydown“ der California Energy Commission (CEC). Da durch dieses Förderprogramm die Hälfte der in Kalifornien installierten Leistung realisiert wurde, wird in dieser Arbeit dieses Programm analysiert (*siehe Abbildung 6*).

Buydown ist ein Investitionszuschuss-Programm und trat im März 1998 in Kraft. In diesem Programm wurde eine Kostenabsenkung über fünf vorweg definierte Stufen festgeschrieben. Der Zeitpunkt einer Absenkung ist allerdings nicht klar definiert. In der ersten Stufe war die „Buydown“ rate 3\$/W und sollte in jeder weiteren Stufe um 0,50 \$ gesenkt werden, bis schließlich in der finalen Stufe ein Wert von 1\$/W erreicht wäre. Obwohl die Rabatte gesenkt werden sollte, wurde in der zweiten Hälfte des Jahres 2001 eine Erhöhung auf 4,5\$/W vorgenommen, um schließlich 2003 wieder auf 4\$/W abgesenkt zu werden. 2004 wurde wieder der Ausgangswert von 3\$/W erreicht.

In der folgenden *Abbildung 6* werden die Effekte des zuvor erwähnten Förderprogramms „Buydown“ im Hinblick auf erzielte Systemkostenreduktion und Kapazitätsentwicklung in Kalifornien dargestellt.



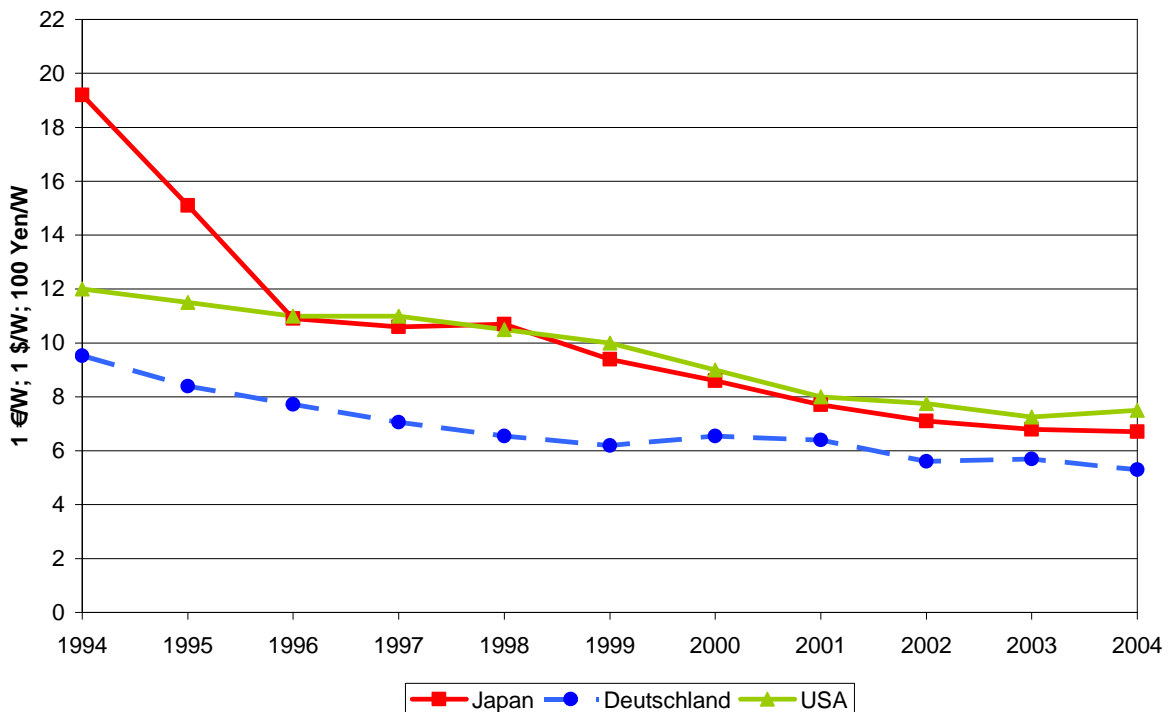
**Abbildung 6:** Systemkosten vs. jährlich installierte netzgekoppelte PV Leistung unter der Berücksichtigung der Subventionsmodell „Buydown Programm“ in Kalifornien

Ein anderes wichtiges Förderungsprogramm ist beispielsweise das „PV Pioneer“, durchgeführt von der Utility SMUD (The Sacramento Municipal Utility District). Durch dieses Programm wurden den Kunden PV Anlagen zu reduzierten Kosten verkauft und im Jahr 2004 wurden dadurch 1,1 MW PV Leistung installiert. Nach 10 Jahren Laufzeit erreicht man mit Ende 2004 eine kumulierte PV-Anlagenleistung von ca. 10 MW.

### 3 Entwicklung der Kosten der Module und anderer Systemkomponenten

Die Produktion von PV Zellen / Modulen steigt kontinuierlich. Im Jahr 2004 stieg die weltweite Produktionskapazität um 38% im Vergleich zu 2003 auf 1195,2MW an. (Maycock, 2005) Japan ist wie seit Jahren Marktführer. Es wurden im Jahr 2004 Zellen / Module mit einer Kapazität von 604 MW hergestellt, während in Deutschland diese Zahl bei 198 MW und in den USA bei 138 MW lag (IEA-PVPS; 2005)

Die Systemkosten der netzgekoppelten PV Anlagen sind in diesen Ländern großteils auch kontinuierlich gesunken. Die Kosten sind in Japan und in Deutschland im Vergleich zur USA deutlicher gesunken. Im Jahr 1994 lagen die durchschnittlichen Systemkosten für kleine Anlagen in Japan bei 19.200 JPY/W, während 2004 ein Wert von rund 6.700 JPY/W erreicht werden konnte. Die Kostensenkung von durchschnittlich 10% jährlich ist eine Folge der langfristigen Programme. Wie in **Abbildung 7** gesehen werden kann, sind die Systemkosten insbesondere von 1994 bis 1996 rasant gesunken, aber auch nachher fand eine kontinuierliche Reduktion statt.



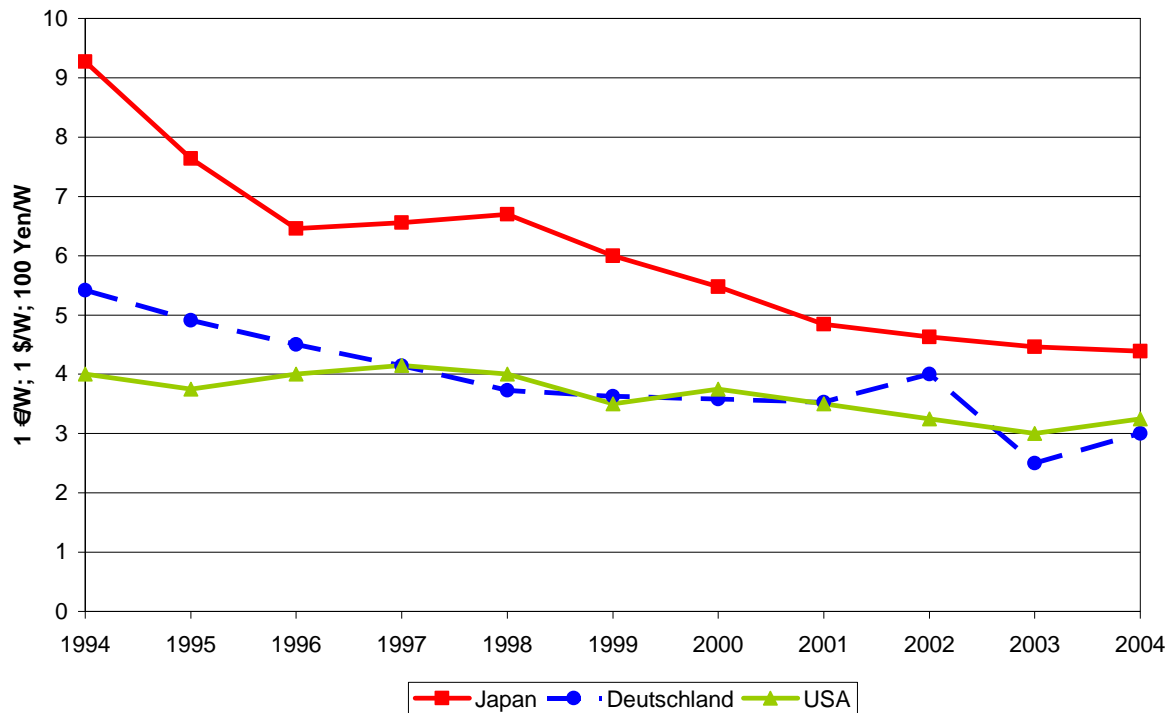
**Abbildung 7:** Historische Entwicklung der Systemkosten (1994-2004)

Im Vergleich zu Japan gab es in Deutschland mehr Schwankungen. Systemkosten waren von 9,52 €/Wp im Jahr 1994 auf 5,3 €/Wp 2004 gesunken. Die Kosten in den USA sanken



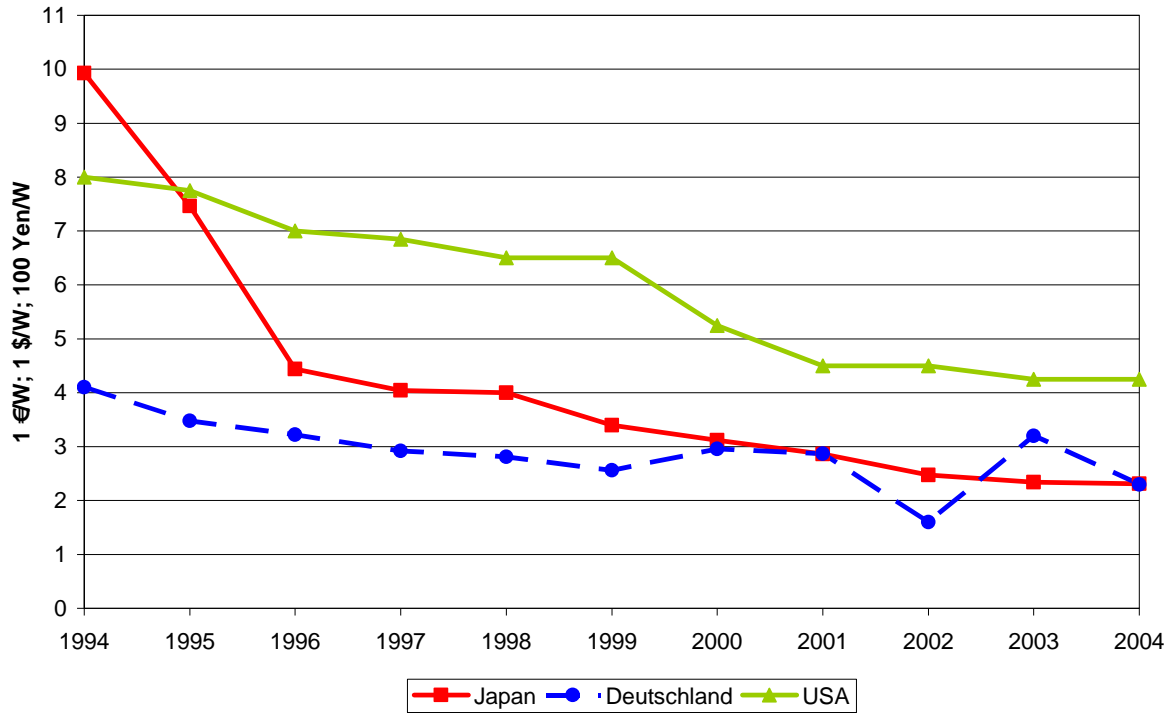
zwar auch beträchtlich - von 12\$/Wp mit ca. 37% jährlicher Senkungsrate auf 7,5\$/Wp, das absolute Niveau liegt jedoch heute höher im Vergleich zu Japan und Deutschland.

Wie in der **Abbildung 8** gesehen werden kann, sind in Deutschland im Jahr 2003 die Modulkosten rasant gesunken. Gründe hierfür waren Kapazitätsengpässe bei den einheimischen Herstellern und verstärkte Aktivitäten japanischer Anbieter auf dem europäischen Markt, teilweise unterstützt durch den günstigen Wechselkurs des Yen gegenüber dem Euro. (Fawer-Wasser, 2004). Nach 2004 ist die kapazitäts- der deutschen Herstellern wieder deutlich gestiegen.

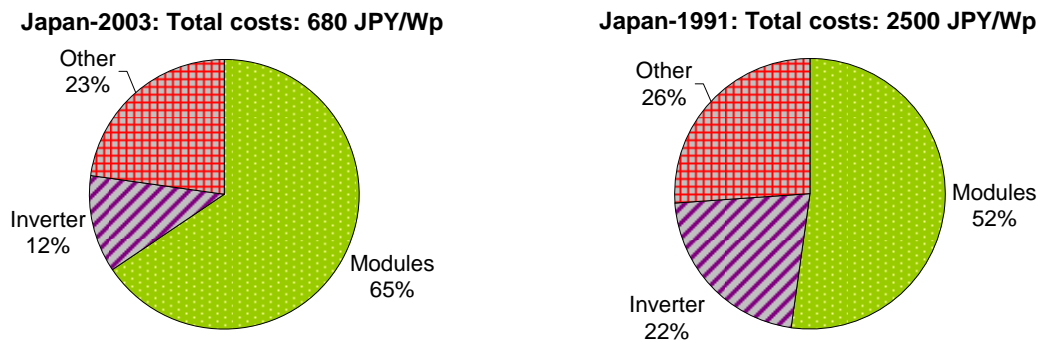


**Abbildung 8:** Entwicklung der Module Kosten (1994-2004)

**Abbildung 9** zeigt die Kostenentwicklung der anderen Systemkomponenten (wie beispielsweise Wechselrichter, Design und Planung, Montage, Konstruktion, usw.). Es ist zu beobachten, dass die Kostenreduktion dieser Komponenten in den betrachteten Ländern deutlicher war als jene der Module selbst. In Japan beispielsweise betrug diese Senkung im Durchschnitt der letzten 10 Jahre rund 12%, während die Modulkosten durchschnittlich mit 7% gesunken sind. Im Jahr 1991 betrug der Anteil der Module an den Gesamtkosten rund 52%, 2003 stieg dieser auf etwa 65%. (siehe **Abbildung 10**)



**Abbildung 9:** Kosten Entwicklung der anderen PV Systemkomponenten (1994-2004)



**Abbildung 10:** Kostenanteile der Module, Wechselrichter und anderer Komponenten an den gesamten Systemkosten in 2003 und 1991 in Japan

## Schlussfolgerungen

Für die weitere Entwicklung der PV- Industrie sind die Kapazitätsentwicklung und Kostenreduktion die zwei wichtigsten Kriterien, die die Effektivität und Effizienz einer Förderpolitik widerspiegeln. In dieser Arbeit wurde die Effizienz der drei marktbestimmenden Länder nach ihren wichtigsten Fördermodellen analysiert. Diese Analyse zeigt, dass verschiedene Förderstrategien unterschiedliche Kapazitätsentwicklungen und Kostenreduktionen bewirken.

In diesem Sinne kann Japan als ein Vorbildland gesehen werden, in dem die Photovoltaik-Technologie im Hinblick auf eine stabile und umweltverträgliche Energieversorgung eine sehr wichtige Rolle einnimmt. Darüber hinaus zeigen die Marktdaten klar, dass das japanische „Residential PV System Dissemination Programm“ ein erfolgreiches und bedeutsames Fördermodell darstellte. Es sollen daher nochmals zwei bedeutsame Eigenschaften dieses Modells hervorgehoben werden:

- Die langfristige Dauer ( 1994-2005) und
- Der klar definierte jährlich sinkende Förderung

In Deutschland ist der jährliche PV-Ausbau zwar ebenso gestiegen, aber ein großer Aufschwung wurde erst im Jahr 2004 erreicht. Das revidierte EEG hat gezeigt, dass wenn die Anreize passen, die Menschen klar bereit sind, in die Photovoltaik zu investieren.

Weiters ist zu beobachten, dass die Kosten in den USA weniger sanken als im Vergleich zu Japan und Deutschland.

Im Allgemeinen lässt sich feststellen, dass der Anteil der Module an den Gesamtkosten deutlich gestiegen ist, da die Kostensenkung hier weit geringer war als im Vergleich zu den anderen Komponenten.

## Literaturverzeichnis

- R. Haas: Market deployment strategies for PV systems in the built environment. IEA (2002)
- M.A. Lopez-Polo, R. Haas: An international Comparison of the Effectiveness of Financing Rebate Programs for Promoting PV (2004)
- Trends in photovoltaic applications. Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2004 IEA- PVPS (2005)
- O. Ikki, Y. Tanaka: National Survey Report of PV Power Applications in Japan 2003. IEA-PVPS (2004)
- F. Stubenrauch: National Survey Report of PV Power Applications in Germany 2003. IEA-PVPS (2003)
- W. Bower, S. Pedigo: National Survey Report of PV Power Applications in the United States 2004 IEA-PVPS (2005)
- O. Ikki: PV activities in Japan, various issues (2004-2005)
- P. Maycock: PV Market Update; Renewable Energy World (July-August 2005)
- M. Fawer-Wasser: Aktuelle und zukünftige Aussichten für Photovoltaik und Solarthermie, Sarasin Studie (2004)
- California's Emerging Renewable Program: <http://www.energy.ca.gov/renewables/>
- A. Jäger-Waldau: PV Status Report 2005
- <http://www.solarserver.de>
- <http://www.iea-pvps.org>