

Kostenreduktion der photovoltaischen Stromerzeugung durch Innovationen bei PV-Wechselrichtern

Dr. Mike Meinhardt, SMA Solar Technologie AG, Sonnenallee 1, 34266 Niestetal, Deutschland, www.SMA.de

Kurzfassung

Mit steigenden Stückzahlen, angepassten Fertigungstechnologien und technischen Innovationen hat die PV-Systemtechnik und dabei insbesondere der Wechselrichter einen wichtigen Beitrag zum Erfolg der netzgekoppelten PV geleistet. Zum Erreichen der „Grid-parity“ innerhalb der nächsten 5-10 Jahre ist es notwendig, dass sowohl die Investitionskosten für Solarmodule und Systemtechnik (z. B. Wechselrichter, Befestigung, Verkabelung), als auch die Kosten für Planung, Montage und Wartung annähernd halbiert werden. Eine weitere Erhöhung des spezifischen Energieertrags von PV-Anlagen durch Verbesserungen bei Verfügbarkeit (Betriebszuverlässigkeit) und Wirkungsgrad sind ebenfalls notwendig. Wie die positive Entwicklung der Vergangenheit gezeigt hat, werden diese Ziele durch gemeinsame Anstrengungen von Forschung und Industrie erreicht werden.

1. Innovationen bei PV-Wechselrichtern reduzieren die PV-Stromgestehungskosten um 30%

Die Kosten für photovoltaischen (PV) Strom konnten seit Anfang der 90er Jahre um ca. 70% verringert werden. Dabei ist die Hälfte dieser Kostenreduktion auf Innovationen bei PV-Wechselrichtern zurückzuführen: über reduzierte Wechselrichterpreise, Erhöhung des spezifischen Energieertrags der PV-Anlage sowie wechselrichterbedingte Vereinfachung der Anlagenplanung und Installation. Somit rückt die „Grid-parity“, d.h. die Erzeugung des PV-Stromes zu Endkundenpreisen für konventionell erzeugten Strom, in greifbare Nähe. Zum Erreichen dieser „Grid-parity“ innerhalb der nächsten Jahre ist es notwendig, dass sowohl die Investitionskosten für Solarmodule und Systemtechnik (z. B. Wechselrichter, Befestigung, Verkabelung), als auch die Kosten für Planung, Montage und Wartung um weitere 40% reduziert werden. Potenzial für eine weitere Erhöhung des spezifischen Energieertrags von PV-Anlagen bieten zudem Verbesserungen bei Verfügbarkeit (Betriebszuverlässigkeit) und Wirkungsgrad. Wie die positive Entwicklung der Vergangenheit gezeigt hat, können diese Ziele durch gemeinsame Anstrengungen von Forschung und Industrie erreicht werden.

PV-Anlagenpreise

Die Gesamtkosten zur Installation von Photovoltaik-Anlagen im Leistungsbereich unterhalb von 10 kW haben sich seit 1991 - dem Start des 1000-Dächerprogramms - von durchschnittlich 12 €/W_p um mehr als 60% verringert auf heute ca. 4,5 €/W_p. Der Großteil der Anlagenkosten (70%) entfällt auf den Solar-generator und 20% auf sonstige PV-Systemtechnikkomponenten sowie Planung/Installation. Der Anteil der Anlagenkosten, der auf die PV-Wechselrichter entfällt, beträgt heute 10%, während er in 1991 noch bei durchschnittlich 14% lag. Die Aufteilung der Kosten

variiert dabei je nach Anlagengröße, Solarzellentechnologie und sonstigen Randbedingungen (z.B. Freiland- oder Dachanlage). Der Anteil für die PV-Systemtechnik inkl. PV-Wechselrichter ist seit Anfang der 90iger Jahre somit überproportional gesunken.



Bild 1: Aktueller Wechselrichter zur Netzkopplung von Photovoltaik-Anlagen [Quelle: www.SMA.de]

2. Marktübersicht Wechselrichterpreise

Die Marktübersicht in Bild 2 zeigt die starke Abhängigkeit des Wechselrichterpreises von der Geräte-Nennleistung (in kW_{AC} angegeben). String-Wechselrichter in der Leistungsklasse unterhalb 5 kW kosten heute 0,46 €/W_{AC}. Für einphasige Wechselrichter wird die Bestmarke in Kürze mit 0,31 €/W_{AC} durch die Sunny MiniCentral-Wechselrichter mit einer Nennleistung von 11 kW_{AC} markiert. Für große Zentral-Wechselrichter betragen die Preise zwischen 0,26 und 0,36 €/W_{AC} (zzgl. Kosten für Stringstromüberwachung und DC-Verteilungskästen). Da zur Ertragsoptimierung in Deutschland der Wechselrichter

im Allgemeinen unterdimensioniert wird, liegt der spezifische Wechselrichterpreis (W_{AC}) bezogen auf die PV-Anlagenleistung in W_p ca. 10 % niedriger. Zum Vergleich sind ebenfalls die leistungsspezifischen Preise für Frequenzrichter mit einphasigem Netzanschluss basierend auf einer Internetrecherche im August 2007 dargestellt. Man erkennt, dass die Preise für Antriebswechselrichter im Mittel ca. 50 % niedriger liegen als die der PV-Wechselrichter. Gründe dafür sind neben den 5-fach höheren Stückzahlen und der geringeren Funktionalität der Antriebswechselrichter (z.B. Schutzeinrichtungen, Filterung, Wirkungsgrad, Schutzart) insbesondere der mehr als 15 jährige Entwicklungsvorsprung bei der Großserienproduktion. Ein weiterer Grund für die geringeren Kosten liegt in der Standardisierung der Antriebswechselrichter, die vornehmlich mit Gerätenennleistungen in diskreten Stufen von 0,75 kW (= 1 PS) angeboten werden (siehe Bild 2).

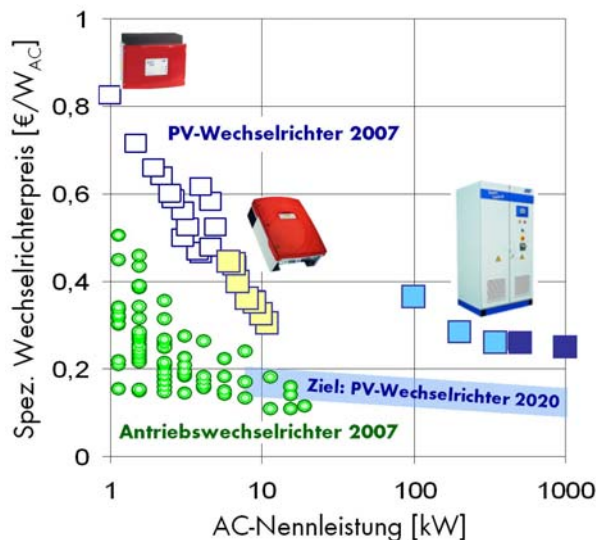


Bild 2: Leistungsspezifische Kosten von PV-Wechselrichtern und Antriebswechselrichtern in €/W_{AC} (ohne MwSt) als Funktion der AC-Nennleistung im Jahr 2007 (Quelle: Internetrecherche August 2007, Listenpreis SMA)

3. Kosten bei der PV-Stromerzeugung in 2007

Stromerzeugungskosten für PV-Strom betragen 2007 in Deutschland 44,5 c€/kWh bei Anlagenpreisen von 4500 €/kW_p. 1991 waren es noch 124,2 c€/kWh. Um Ursachen für diese positive Entwicklung zu analysieren und gleichzeitig zukünftige Verbesserungspotentiale aufzuzeigen, werden PV-Stromerzeugungskosten, wie nachfolgend dargestellt, berechnet. In Bild 3 sind die berechneten Stromgestehungskosten für je eine

5 kW_p PV-Anlage errichtet in 1991 und 2007 dargestellt. Folgende Annahmen wurden dabei getroffen.

Tabelle 1: Annahmen zur Berechnung der Gesteuerungskosten von PV-Strom in 1991 und 2007

	1991	2007
PV-Anlagenpreis	12.000 €/kW _p	4.500 €/kW _p
Kostenanteil des Wechselrichters	14 %	10 %
Kostenanteil des Solargenerators	56 %	70 %
Kostenanteil „Sonstige Komponenten“ (inkl. Planung, Installation)	20 %	20 %
Performance Ratio (PR)	0,64	0,85
Mittlere jährliche Globalstrahlung am Aufstellungsort	1050 kWh/(m ² a)	1050 kWh/(m ² a)
Jährliche Betriebskosten	200 €/a	200 €/a
Annuität (Zinssatz für 100% Fremdkapital)	0,067 (3 %)	0,08 (5,3 %)
Abschreibungszeitraum	20 a	20 a

$$K_{PV\text{Strom}} = K_{WR} + K_{Sol} + K_{Sonst} + K_B + K_{PR<1}$$

$$K_{PV\text{Strom}} = \text{Stromgestehungskosten (€/kWh)}$$

$$K_{WR} = \text{Finanzkostenanteil für den Wechselrichter bei Anlage mit PR=1}$$

$$K_{Sol} = \text{Finanzkostenanteil für den Solargenerator bei Anlage mit PR=1}$$

$$K_{Sonst} = \text{Finanzkostenanteil für die sonstigen Komponenten (inkl. Planung und Installation) bei Anlage mit PR=1}$$

$$K_B = \text{spezifische jährliche Betriebskosten}$$

$$K_{PR<1} = \text{Kosten, die durch Energieertragsminderung bedingt durch eine Performance Ratio (PR) der PV-Anlage < 1 entstehen}$$

Wie anhand der Gleichung zu sehen ist, werden die Kosten für die Stromerzeugung in fünf Anteile aufgeteilt.

Das sind zum einen die drei Finanzkostenanteile für Solargenerator K_{Sol} , Wechselrichter K_{WR} und sonstige Komponenten K_{Sonst} (einschließlich Verkabelung, Aufständigung, Installation, Planung). Diese Finanzkosten ergeben sich aus dem Anschaffungspreis der jeweiligen Komponente und der Annuität. Sie repräsentieren den jährlichen Abtrag und Zinskosten. Die Relation der Finanzkosten entspricht daher dem jeweiligen Anteil der Komponenten am Anlagenpreis. Um die indirekte Kostenreduktion durch Erhöhung des Energieertrags der PV-Anlage aufzuzeigen, sind diese Finanzkostenanteile unter Annahme einer idealen PV-Anlage, das heißt mit einem Performance Ratio $PR = 1$, angegeben worden. Unter Performance Ratio (PR) versteht man in der Photovoltaik das Verhältnis von Nutzertrag und Sollertrag einer Anlage.

Die Performance Ratio einer Photovoltaikanlage ist der Quotient aus dem ins Netz eingespeiste Wechselstromertrag und dem nominalen Ertrag an Generatorgleichstrom. Sie gibt an, welcher Anteil des vom Generator erzeugten Stroms real im Netz zur Verfügung steht. Man erkennt im rechten Teil von Bild 3 (2007), dass die Finanzkosten für die Abschreibung des Solargenerators den größten Anteil mit 23,8 c€/kWh ausmachen. Auf den Wechselrichter entfallen 3,4 c€/kWh und auf die sonstigen Komponenten inkl. Planung und Installation 6,8 c€/kWh.

Einen weiteren Kostenfaktor stellen die Betriebskosten K_B für z. B. Versicherung, Zählermiete und Reparatur-Rücklage dar. Diese ergeben sich basierend auf jährlichen Kosten von 200 €/a zu 4,5 c€/kWh in 2007.

Wie oben bereits erwähnt sind die Kosten $K_{PV<1}$ gesondert aufgeführt, die dadurch entstehen, dass die PV-Anlage nicht die gesamte vom Solargenerator zur Verfügung gestellte Energie ins Netz einspeisen kann, d.h. die Performance Ratio der Anlage < 1 ist. Diese energetischen Verluste sind über die jeweiligen Stromgestehungskosten bei realer Anlage in finanzielle Verluste umgerechnet. Die in einer 2007 installierten PV-Anlage entstehenden Kosten aufgrund Ertragsminderung (durch $PR = 0,85$) betragen lediglich 6,0 c€/kWh.

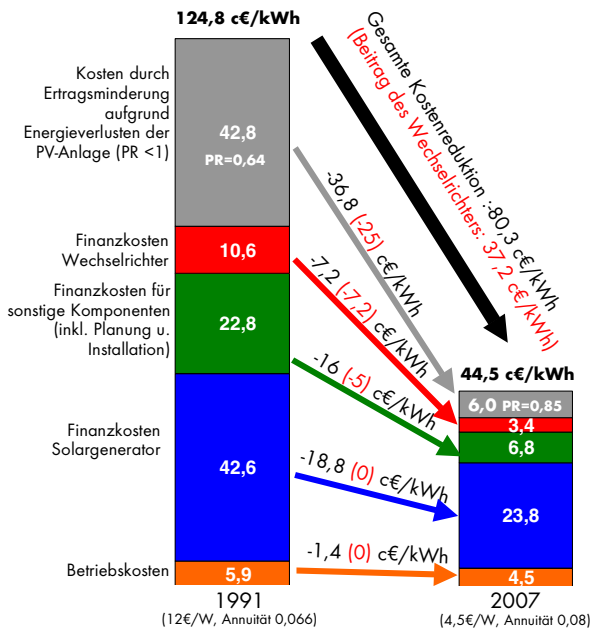


Bild 3: Vergleich der Stromerzeugungskosten 1991 und 2007. Aufteilung auf Betriebskosten, Finanzkosten und Kosten durch Energieverluste (in Klammern ist rot der Anteil der Kostenreduktion eingetragen, der auf Verbesserungen bei den PV-Wechselrichtern zurückzuführen ist)

4. Kontinuierliche Kostenreduktion als Entwicklungsprinzip

Vergleicht man die Stromgestehungskosten aus dem Jahre 2007 mit denen aus 1991, so erkennt man, dass die gesamten Stromgestehungskosten um ca. 80 c€/kWh reduziert werden konnten. Die Anteile dieser Stromeinsparung verteilen sich dabei nicht gleichmäßig auf alle Komponenten. Die Finanzkosten für den Solargenerator sind um 18,8 c€/kWh gesunken (Reduktion um 40 % gegenüber 1991). Die Finanzkosten für den Wechselrichter sind um 7,2 c€/kWh gesunken – für sonstige Komponenten, Planung und Installation um 16 c€/kWh (d.h. jeweils 70%).

Die „durch Ertragsminderung aufgrund von $PR < 1$ “ entstehenden Kosten sind überproportional um ca. 80 % zurückgegangen. Während 1991 noch 42,8 c€/kWh aufgrund von Energieertragsminderungen „verschenkt“ wurden, sind dies in 2007 nur noch 6,0 c€/kWh. Ein ausgesprochen positiver Effekt, der auf die gestiegene Performance Ratio der PV-Anlagen zurückzuführen ist: In 1991 installierte Anlagen zeigen im Durchschnitt eine Performance Ratio von 0,64, heutige Anlagen 0,85. Gründe dafür sind insbesondere der gestiegene Wechselrichterwirkungsgrad und eine höhere Anlagenverfügbarkeit aufgrund der geringeren Ausfallraten des Wechselrichters sowie der verbesserten Anlagenüberwachung. Daneben werden in der Literatur [1] als Gründe für die gestiegenen Erträge eine genauere Angabe der Nennleistung der Solaranlagen und reduzierte Verluste aufgrund von verbesserter Anlagendimensionierung, sowie die konstruktive Vermeidung von Verschattungen und Vermeidung hoher Modultemperaturen angegeben.

5. Einfluss des Wechselrichters auf die Stromerzeugungskosten

Im Bild 3 ist der Vergleich für die fünf vorgestellten Anteile der Stromgestehungskosten für 1991 und 2007 dargestellt. Dabei ist jeweils der gesamte Reduktionsbetrag und in Klammern der Anteil angegeben, der auf den Einfluss des PV-Wechselrichters zurückzuführen ist (teils auf Schätzung basierend). Man erkennt hier deutlich, dass in der Summe 37,2 c€/kWh und damit ungefähr die Hälfte der seit 1991 eingesparten Kosten von 80,3 c€/kWh auf Innovationen und Verbesserungen im Bereich des Wechselrichters zurückzuführen sind. Die 70 %ige Reduktion der leistungsspezifischen Wechselrichterpreise führt zu einer Verringerung der Wechselrichterfinanzkosten von 7,2 c€/kWh. Einen positiven Einfluss auf die Stromerzeugungskosten hat der Wechselrichter ebenso über die Verringerung der Finanzkosten bei den „sonstigen Komponenten“. So

hat z. B. die Einführung der String-Technik (entwickelt durch SMA, ISET und Uni Kassel) für netzgekoppelte PV-Anlagen dazu beigetragen die Anlagenplanung und -installation deutlich zu vereinfachen. Der Anteil des Wechselrichters an dieser Kostenreduktion wird mit 5 c€/kWh abgeschätzt. Über einen gesteigerten Umwandlungs- und MPP-Anpassungswirkungsgrad sowie eine erhöhte Verfügbarkeit hat der Wechselrichter einen sehr großen Einfluss auf die Verringerung der „Kosten durch Ertragsminderung aufgrund von PR<1“. Dieser Beitrag des Wechselrichters an der Reduktion jener Kosten wird mit 25 c€/kWh abgeschätzt.

$\eta_{\max} = 90\%$	$\eta_{\max} = 98\%$
1,5 kW Nennleistung	8 kW Nennleistung
Serielle Kommunikation	MPP-Anpassung 99,9%
	(Multi-)String-Konzept
	„weltweit“ einsetzbar
	IP54, T_{ambient} : -25 ... 60 °C
	Netzfreischalstelle, ENS
	Installations-„freundlich“
	Allstromsensitiver FI
	DC-Freischalter: ESS
	Graphik-Display
	Bluetooth Kommunikation
1991	2007



Bild 4: Wechselrichterfunktionalität ist von 1991 auf 2007 stark gestiegen

6. Kostenreduktion durch Steigerung der Wechselrichterfunktionalität

Im Bild 4 sind die wichtigsten Features von PV-Wechselrichtern, die die PV-Stromkosten beeinflussen, zusammengestellt. Im Vergleich mit dem Wechselrichter aus dem Jahre 1991 wird klar, welche enorme Entwicklung die Funktionalität der PV-Wechselrichter bei gleichzeitiger 70 %iger Preisreduktion erfahren hat.

Der Wechselrichter - als das Herz der PV-Anlage - hat zentralen Einfluss auf den Energieertrag und damit auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage. Nachfolgend wird anhand einiger Wechselrichterfeatures exemplarisch der positive Einfluss auf die Verringerung der Kosten von PV-Strom erläutert:

- Erhöhung des maximalen Wechselrichterwirkungsgrades um ca. 8 % auf 98 % (Im Labor sogar 99 % [2])
- Verbesserung der Betriebszuverlässigkeit der PV-Wechselrichter um den Faktor 5, bzw. Reduktion der Ausfallrate auf 1/5
- Erhöhung des MPP-Anpassungswirkungsgrades auf 99,9 %
- Vermeidung von Mismatchingverlusten in den Generatoren durch Einführung der Stringtechnik
- Vereinfachte Installation durch Einführung der Stringtechnik. Durch Wegfall der vorher nötigen zusätzlichen DC-Unterverteilung wurden die Anlagenkosten deutlich reduziert.
- Schutzart IP54: Die DC-Verkabelung kann durch den generatornahen Einsatz besonders abgedichteter und damit für die Außenmontage geeigneter Wechselrichter stark vereinfacht werden.
- Notwendige Schutzfunktionen wie FI, ENS, DC-Freischalter sind im Wechselrichter integriert und müssen nicht extern realisiert werden. Dies führt zu reduzierten Material- und Installationskosten.
- Drahtlose Kommunikation via Bluetooth reduziert die Kosten für Installation von Kommunikationskabeln.
- Graphik-Display ermöglicht eine schnelle, aussagekräftige Fehlerdiagnose durch den Anlagenbetreiber und reduziert damit die Stillstandzeiten der PV-Anlage

7. 70-prozentige Reduktion der Wechselrichterpreise seit 1991

Neben der kontinuierlichen Steigerung der Wechselrichterfunktionalität liegt der Schwerpunkt bei der Entwicklung von Solarwechselrichtern auf der Verringerung der leistungsspezifischen Kosten. Der Erfolg dieser Bemühungen ist anhand der Lernkurve der spezifischen Wechselrichterpreise für einphasige Wechselrichter im Leistungsbereich < 10 kW im Bild 5 dargestellt. Man erkennt, wie der leistungsspezifische Wechselrichterpreis um ca. 70 % gefallen ist, ausgehend von 1,15 €/W_{AC} im Jahre 1991 bis hin zu 0,36 €/W_{AC} im Sommer 2007. Eine weitere Reduktion um 15 % wurde in 2008 durch die Einführung eines 11 kW Sunny MiniCentral-Wechselrichters mit einem spezifischen Preis von 0,31 €/W_{AC} erreicht.

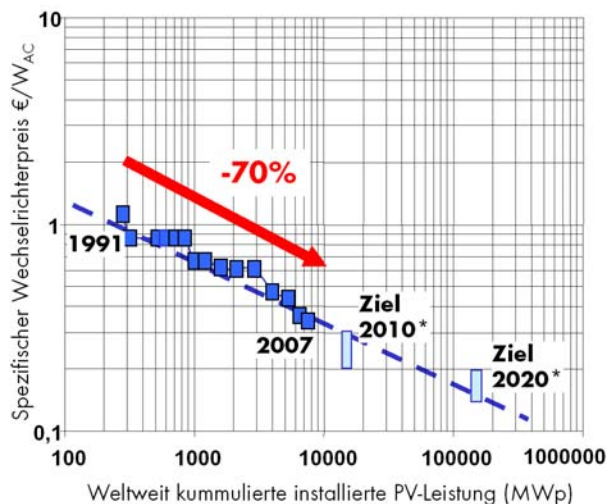


Bild 5: Lernkurve für Preise von einphasigen Wechselrichtern < 10kW von 1991 bis 2007 und Prognose für die Preisentwicklung bis zum Jahre 2010 und 2020 (*Annahme 25%/a Marktwachstum)

Die Reduzierung der spezifischen Kosten des PV-Wechselrichters ist vor allem auf die Erhöhung der Produktionszahlen - entsprechend den Gesetzen der „Economy of scale“ - zurückzuführen. Eine genauere Untersuchung der Gründe für diese Kostenreduktion zeigt, dass die vorgestellte Kostenreduktion nicht allein durch die Erhöhung der Stückzahlen erreicht werden kann. In jedem Fall sind technologische Innovationen notwendig, um die Chancen der „Economy-of-Scale“ voll nutzen zu können. [3]

Ein Kernelement des innovativen Wechselrichterdesigns ist und war dabei die Erhöhung des Integrationsgrades. Sie umfasst verschiedene Ebenen der leistungselektronischen Systemintegration: Integration magnetischer Bauelemente, Verwendung integrierter Leistungshalbleiter-Module anstelle diskreter Halbleiter und Erhöhung der funktionalen Integration bei mechanischen Komponenten. Ein Beispiel hierfür ist die Entwicklung eines auch nach ergonomischen Aspekten gestalteten, funktional integrierten Aluminium-Druckgussgehäuses wodurch sowohl Materialkosten als auch Fertigungskosten reduziert werden. Durch ein fertigungsoptimiertes Wechselrichterdesign und einen entsprechend angepassten Fertigungsprozess konnte die Fertigungszeit für PV-Wechselrichter im Vergleich von 1991 zu 2007 um mehr als 70 % reduziert werden. Ein weiterer wichtiger Faktor für die Reduktion der leistungsspezifischen Wechselrichterpreise war der Trend zu größeren Wechselrichtereinheiten. [4]

8. Life Cycle Costs gewinnen an Bedeutung

Aufgrund der großen Fortschritte bei der Verringerung der Anlagenpreise wird zukünftig der Anteil der Betriebskosten an den gesamten Stromerzeugungskosten stark steigen. Dadurch verschiebt sich der Fokus von der reinen Reduktion der Anlagenpreise hin zur Minimierung der Life Cycle Costs (Lebenszykluskosten) einer PV-Anlage. Die Notwendigkeit aber auch die Möglichkeiten zur Reduktion der Betriebskosten sind insbesondere bei großen PV-Anlagen oberhalb 200 kW groß. Denn gerade in diesem Leistungsbereich ist eine vereinfachte, kostengünstige Wartung wichtig. Zentral-Wechselrichter erfordern generell den Einsatz von speziellen Elektrofachkräften bei Wartungsarbeiten. Die dabei entstehenden Kosten werden in diesem Fall durch die Personal- und Reisekosten dominiert. Durch den Einsatz von Mini-Central-Wechselrichtern mit einer Gerätenennleistung bis zu 11 kW_{AC} in PV-Anlagen im Leistungsbereich oberhalb 200 kW wird eine Reduktion der Life Cycle Costs möglich. Denn die Wartung kann hier in den meisten Fällen durch den einfachen Austausch des Wechselrichters erfolgen und durch vor Ort verfügbares Personal durchgeführt werden.

Große PV-Anlagen mit mehreren MiniCentral-Wechselrichtern weisen zudem im Vergleich zu Anlagen mit einem Zentral-Wechselrichter eine höhere Redundanz auf. Dies bedeutet, dass bei Ausfall einzelner Mini-Central-Wechselrichter der Rest der PV-Anlage weiterbetrieben werden kann und dadurch die Minderung des Energieertrages geringer ist als bei Ausfall eines Zentral-Wechselrichters. Auch dies wirkt sich positiv auf die Life Cycle Costs aus.

9. Ziele für die zukünftige Entwicklung bei PV-Wechselrichtern

Für eine positive Entwicklung der PV ist eine weitere Reduktion der Stromerzeugungskosten essentiell. Ein erster Meilenstein auf diesem Weg wird dabei das Erreichen der „Grid-parity“ in Deutschland in den nächsten 5 bis 10 Jahren sein. Je nach Entwicklung der Endkundenpreise für Strom aus konventionellen Kraftwerken ist hierzu eine näherungsweise Halbierung der Anlagenkosten und damit auch der PV-Wechselrichterkosten notwendig.

Dass dieses Ziel erreichbar ist, wird anhand der Lernkurve im Bild 5 klar. Ausgehend von einem jährlichen Wachstum des weltweiten Marktes um 25 % werden gemäß der Lernkurve im Jahre 2020 Wechselrichter zum Preis von 0,15 bis 0,2 €/W erhältlich sein. Die Erfahrungen aus der bisherigen Entwicklung des PV-Marktes haben gezeigt, dass technologische Innovationen essentiell sind, um die sich aus der „Economy-of-Scale“ ergebenden Chancen optimal nutzen zu

können. In diesem Zusammenhang sind insbesondere an die Stückzahlen angepasste Fertigungsverfahren genannt. Ein weiterer wichtiger Beitrag zur Reduktion der PV-Stromkosten wird die Erhöhung des Energieertrages durch die Weiterentwicklung des Wechselrichterwirkungsgrades auf 99 % und eine weitere Verbesserung der Anlagenverfügbarkeit sein.

Nicht zuletzt wird durch den Einsatz von Sunny Mini Central-Wechselrichtern auch im Leistungsbereich oberhalb 200 kW eine Reduktion der Life Cycle Costs möglich.

10. Literatur

- [1] Jahn, U.: Photovoltaik-Anlagen – Bewährung und Herausforderung, FVS-Themen 2003, S. 28 - 35, Jahrestagung des Forschungsverbunds Solarenergie, 25. und 26. September 2003, Berlin
- [2] „Weltweit höchster Wirkungsgrad eines Wechselrichters für die solare Stromversorgung von 99 % erreicht“, Pressemitteilung ISET e.V., 6. März 2008, www.iset.uni-kassel.de/
- [3] Burger, B., Engler, A., Meinhardt, M.: PV-System Technologie – Motor für die Kostenreduktion, Tagungsband der Jahrestagung des Forschungsverbunds Solarenergie2007, 26. und 27. Oktober 2007, Hannover, Deutschland, www.fv-sonnenenergie.de
- [4] Meinhardt, M.: New Generation of PV inverters with advanced power electronics packaging concept for highest reliability and minimum assembly time, 22. European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 3. bis 7. September 2007, Mailand, Italien