

Systemkostensenkungen bei PV-Freilandanlagen

Kristalline und Dünnschichtmodule: Analyse und Ausblick bis 2010

Dipl.-Ing. Manfred Bächler, Vorstand Technik

Seit einigen Jahren werden in Deutschland in Freiflächen- Photovoltaik (PV)-Großanlagen vermehrt Dünnschichtmodule eingesetzt. Bedingt durch den günstigen Modulpreis erscheint ihre Verwendung in diesem Bereich auf den ersten Blick sehr verlockend. Allerdings bestehen zwischen den einzelnen Typen von kristallinen und Dünnschichtmodulen wesentliche Unterschiede im Bereich der Kosten für die übrige Systemtechnik (balance-of-system-[BOS]-Kosten), welche erheblichen Einfluss auf den Gesamt-Systempreis haben. Bei Anlagen mit Dünnschichtmodulen liegt der Anteil der BOS-Kosten bedeutend höher als bei kristallinen Modulen. Letztere wurden bereits in den vergangenen Jahren immer wieder mit Hinblick auf Kostensenkungen weiterentwickelt und optimiert. Dünnschichtmodule stehen ebenso wie die zugehörigen BOS-Komponenten noch ganz am Anfang dieser Entwicklung; deshalb wird das Kostensenkungspotential – vor allem im Bereich der BOS-Kosten – bei den Dünnschichtmodulen als wesentlich höher eingeschätzt. Da in Deutschland das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) bei der Einspeisevergütung für Freiflächenanlagen eine Degression von 6,5 % pro Jahr vorsieht, entsteht ein hoher Druck, die Gesamtsystemkosten zu verringern. In folgendem Artikel werden bereits erzielte BOS-Kostensenkungen am Beispiel eines bestimmten Dünnschichtmoduls aufgezeigt.



Abb.1 Design der Unterkonstruktion 2006 (vier Module quer übereinander)

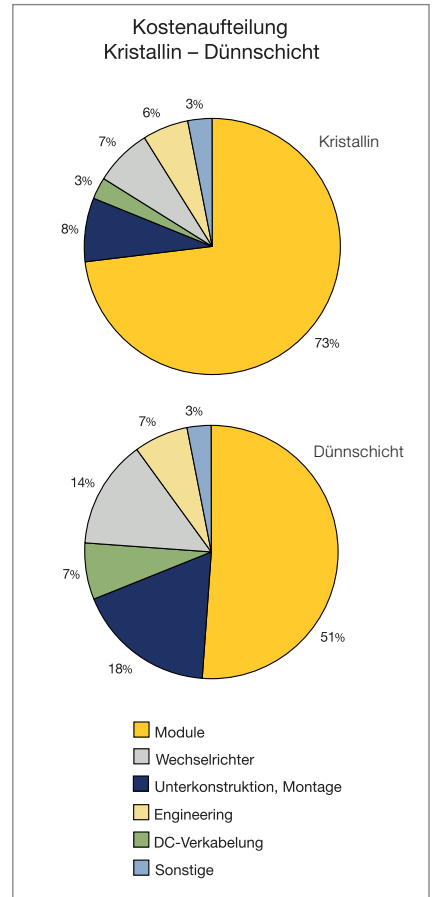


Abb.2 Kostenaufteilung bei Freiflächen-PV-Großanlagen mit kristallinen bzw. Dünnschichtmodulen

1. EINLEITUNG

In Zukunft wird man immer mehr Dünnschichtmodule in Freiflächen-PV-Großanlagen einsetzen; der Hauptgrund hierfür liegt im hohen Preis für kristalline (c-Si) Module. Doch bringt der geringere Wirkungsgrad der Dünnschicht(TF-[thinfilm])module zusammen mit der niedrigen maximalen Systemspannung deutlich höhere Kosten für die übrige Systemtechnik (balance-of-system-[BOS]-Kosten) mit sich. So sind die Kosten für Unterkonstruktion, Gleichstrom(DC)-Verkabelung und Wechselrichter höher als beim Einsatz von kristallinen Modulen. Aber auch innerhalb der „Familie“ der Dünnschichtmodule sind bedeutende Unterschiede bei den BOS-Kosten zu beobachten [1]. Ein Beispiel für die unterschiedlichen Kosten zweier Typen von Dünnschichtmodulen im Vergleich zu einem c-Si-Modul finden Sie in Tabelle 1. Wie aus dieser Tabelle hervorgeht, können

PHOTOVOLTAIK NEU GEDACHT

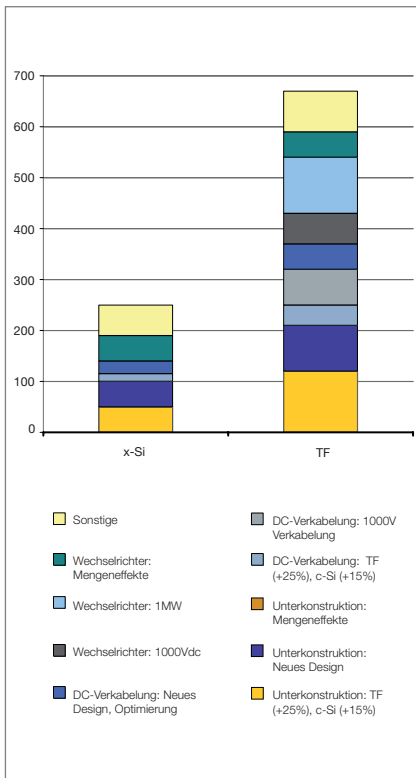


Abb.3 BOS-Kostensenkungspotential in €/kWp für kristalline und Dünnschichtmodule

sich je nach Modultyp bei den BOS-Aufwendungen „Strafkosten“ von ca. 400 bis 600 €/kWp (kWp = Kilowattspitzenleistung) ergeben. Es ist außerdem zu beachten, dass diese und weitere Kostennachteile bei Dünnschichtmodulen durch die höheren Pachtkosten in €/kWp aufgrund des geringeren Wirkungsgrades entstehen.

Um auf Gesamt-Systemkosten-Ebene konkurrieren zu können, müssen die Preise für Dünnschichtmodule mindestens diese BOS-Mehrkosten ausgleichen.

Aufgrund der höheren BOS-Kosten und des geringeren Modulpreises liegt der Anteil der BOS-Kosten bei Dünnschicht-Systemen wesentlich höher als bei c-Si-Systemen, Abb.2. Die Bedeutung des BOS-Kostensenkungspotenti-

als – vor allem bei den Dünnschichtmodulen – liegt auf der Hand: Bei Anlagen mit TF-Modulen haben die BOS-Kosten einen Anteil von 49 % an den Gesamtkosten, während sie bei Anlagen mit kristallinen Modulen nur mit 27 % zu Buche schlagen.

Wenn beispielsweise die Kosten für die Unterkonstruktion bei beiden Modultypen um 20 % gesenkt werden könnten, ergäben sich bei den Dünnschichtmodulen auf Gesamtsystem-Ebene Einsparungen von 3,6 % (20 % × 18 %) gegenüber nur 1,6 % bei kristallinen Modulen (20 % × 8 %). Das Kostensenkungspotential ist bei Dünnschicht-Anlagen also von Natur aus höher als bei kristallinen Anlagen.

In Deutschland schreibt das EEG bei Freiflächen-Anlagen eine Senkung der Einspeisevergütung von 6,5 % pro Jahr vor (bei Dachanlagen beträgt die Vergütungs-Kürzung nur 5 %). Man kann sich nun leicht ausrechnen, welche Kosteneinsparungen auf Systemebene nötig sind, damit ein Investor mit einer Neuanlage im Jahr 2010 dieselbe Rendite erzielen kann wie mit einer im Jahr 2005 installierten Anlage. Tabelle 2 zeigt eine grobe Schätzung der erforderlichen Preissenkungen (im Vergleich zum Ausgangsjahr 2005).

Bitte beachten Sie dabei, dass in dieser Berechnung mögliche Zinssatzänderungen sowie steuerliche Effekte nicht berücksichtigt sind; bei steigendem Zinssatz dürften die erforderlichen Preissenkungen die in Tabelle 2 dargestellten noch übersteigen.

Deutlich wird in jedem Fall, dass die Gesamtsystemkosten für Freiflächen-Großanlagen 2010 gegenüber 2005 um 1 300 €/kWp verringert werden müssen. Und das kann nicht allein durch niedrigere Modulpreise geschehen; die BOS-Kosten müssen ebenfalls erheblich gesenkt werden.

	c-Si	TF1	TF2
Unterkonstruktion	0	217	332
DC-Verkabelung	0	24	117
Wechselrichter & Netzanbindung	0	170	170
Zäune, Kabelgräben, usw...	0	16	12
Summe	0	427	631

Tabelle 1 BOS-Kostenunterschied (€/kWp) von Dünnschichtmodulen und einem kristallinen Modul

FRONIUS IG PV-Wechselrichter
holen mehr aus der Sonne

Höherer Stromertrag durch innovative Technologie: Die FRONIUS IG-Photovoltaik-Wechselrichterserie wandelt die Sonnenenergie in netzkonformen Wechselstrom um. Mit rekordverdächtigen Erträgen.

Zum Beispiel durch das MIX-Konzept: maximale Power auch bei geringer Sonneneinstrahlung. Viele weitere kluge Details machen die FRONIUS IG-Serie leistungsstark, zuverlässig und leicht bedienbar.

Mehr Informationen und Adressen unserer Vertriebspartner finden Sie unter www.fronius.com.



POWERING YOUR FUTURE



Abb.4 Design der Unterkonstruktion 2005 (zwei Module quer übereinander)



Abb.5 Verteilerkästen für die Parallel-Verschaltung von PV-Strängen (typischer Einsatzbereich: Anlagen mit kristallinen Modulen)



Abb.6 Neue Fertig-DC-Kabel für die Strang-Verkabelung

2. BOS-KOSTENSENKUNGS-POTENTIAL BIS 2010

2.1 Bereiche, in denen BOS-Kosten eingespart werden können

Wir haben die einzelnen BOS-Kostenbestandteile mit Blick auf mögliche BOS-kostensenkende Modifikationen an den Modulen sowie Design-Änderungen und Verbesserungen bei den BOS-Komponenten untersucht.

Im Einzelnen sehen wir folgende Möglichkeiten:

→ Unterkonstruktion:

Wir rechnen mit einem Kostenrückgang durch Steigerung des Wirkungsgrades der Module. Dabei gehen wir von einer 15 %-igen Steigerung bei kristallinen Modulen und einer 25 %-igen Zunahme bei Dünnschichtmodulen aus.

Weitere Kostensenkungen erwarten wir von Designoptimierungen, durch die sich beispielsweise Material einsparen lässt (weniger kg/Wp), werden aber auch das Design an die spezifischen Moduleigenschaften anpassen (z.B. bei rahmenlosen Modulen, die sich unseres Erachtens in Zukunft bei Großanlagen immer größerer Beliebtheit erfreuen werden).

Auch Mengeneffekte (economy of scale) sind zu erwarten. Allerdings werden diese Einsparungen voraussichtlich durch Preissteigerungen (z.B. bei Stahl) wieder aufgehoben werden und deshalb halten wir hier keine zusätzlichen Kosteneinsparungen für wahrscheinlich.

→ DC-Verkabelung:

Hier erwarten wir Kosteneinsparungen infolge eines verbesserten Wirkungsgrades der Module, da weniger Material für die Verkabelung und weniger Anschlüsse pro kWp benötigt werden. Wir sind außerdem überzeugt, dass erhebliche Kostensenkungen durch eine höhere maximale Systemspannung (bis zu 1000 Vdc) erzielt werden können, die auf die höhere Anzahl der Module in Reihe und die damit verbundene geringere Anzahl von Strängen und teureren Komponenten für die Strangüberwachung zurückzuführen sind. Hier haben Dünnschichtmodule, die bisher noch in den meisten Fällen auf 450-600Vdc

	2006	2007	2008	2009	2010
Freiflächen-Anlage	-295	-575	-835	-1080	-1300
Dachanlage	-235	-465	-680	-885	-1080

Tabelle 2 Jährliche Absenkung des Anlagenpreises für unveränderte Rendite gegenüber 2005

beschränkt sind, eindeutig ein höheres Kostensenkungspotential als c-Si-Module, die bereits heute überall für eine Systemspannung von 1000Vdc erhältlich sind. Designänderungen und Neuerungen wie der Einsatz von vorgefertigten DC-Kabeln werden ebenfalls wesentliche Kosteneinsparungen mit sich bringen. Eine andere Möglichkeit, besonders um den Betrieb von Dünnschichtmodulen mit höherer Spannung zu ermöglichen, könnte das Erden des Minuspols sein [2].

→ Wechselrichter:

Auch die Kosten für die Wechselrichter würden bei Dünnschicht-Kraftwerken durch den Schritt zu einer maximalen Systemspannung von 1000Vdc erheblich sinken; bei kristallinen Modulen sind 1000Vdc bereits Standard. Kostensenkungen ergeben sich hauptsächlich aufgrund der niedrigeren Stromstärken, wodurch die Aufwendungen für Schalter, IGBTs usw. im Wechselrichter reduziert werden.

Als günstiger Nebeneffekt erhöht sich dabei der Wirkungsgrad des Wechselrichters. Durch verbesserte elektrische Isolierung der Module mittels geeigneter Kantenversiegelung und Rückseitenfolien oder Glas zusammen mit einer Erdung des Minuspols könnten auch bei TF-Modulen Wechselrichter für einen Einsatzbereich bis 1 MW verwendet werden und somit ein Mengeneffekt erzielt werden.

Weitere Kostensenkungen ergeben sich durch die geringere benötigte Anzahl an Wechselrichter-Gebäuden: Für acht „low voltage“ Wechselrichter mit jeweils 125kVA werden zwei Wechselrichtergebäude benötigt, für zwei 500kVA-Wechselrichter dagegen ist nur ein einziges Gebäude erforderlich.

→ Weitere Faktoren, die zur Senkung der BOS-Kosten beitragen werden, sind die Verpackung der Module, die Montage, die Projektsteuerung sowie Standard-Blockeinheiten für Großanlagen.

Willkommen in der Schwieriglosigkeit



Sunkit[®] – DIE MASSGEFERTIGTEN PV-KOMPLETTANLAGEN
FÜR DEN FACHHANDWERKER.

SERVICE@SOLARWORLD.DE | WWW.SOLARWORLD.DE

SolarWorld. And EveryDay is a SunDay.

2.2 Geschätztes

BOS-Kostensenkungspotential

Auf Grundlage der oben dargestellten Annahmen sowie der gegenwärtigen Kosten für BOS-Komponenten haben wir versucht, das Kostensenkungspotential bei den BOS-Kosten für beide Modultypen zu schätzen. Ausgehend von diesen Schätzungen sind wir zu folgenden Schlüssen gekommen: Das BOS-Kostensenkungspotential ist bei Dünnschichtmodulen mit 650 €/kWp bedeutend höher als bei kristallinen Modulen (250 €/kWp). Dies liegt daran, dass bei Kostensenkungsmaßnahmen in jedem Fall Dünnschichtmodulen der Vorzug gegeben wird, da hier der Anteil der BOS-Kosten am Gesamtsystem höher ist, aber auch, dass bei TF eine stärkere Steigerung des Wirkungsgrads (und damit auch höhere Einsparungen

nik und die zugehörigen BOS-Komponenten stehen dagegen noch ganz am Anfang der Entwicklung, so dass mit begrenztem Aufwand innerhalb kurzer Zeit relativ große Erfolge erzielt werden können. Wenn andererseits bei c-Si-Modulen 2010 insgesamt 1 300 €/kWp im Vergleich zu 2005 eingespart werden sollen, muss der Preis für diese Module um ca. 1 050 €/kWp gesenkt werden; bei Dünnschichtmodulen dagegen sind „nur“ Preissenkungen von 650 €/kWp erforderlich.

3. 2006 BEREITS ERZIELTE BOS-KOSTENSENKUNGEN

Wie aus obigen Ausführungen hervorgeht, haben wir BOS-Kostenbereiche ermittelt, in denen wesentliche Kostensenkungen möglich sind. Im folgenden Abschnitt berichten wir über Modifika-

ungefähr 60 €/kWp. Wegen der gestiegenen Materialkosten für Aluminium und Stahl waren die Kostensenkungen bisher jedoch geringer als erwartet.

3.2 DC-Verkabelung

Obwohl bei den Modulen eine Spannung von 1 000 Vdc möglich gewesen wäre, mussten wir uns 2006 noch mit 900 Vdc begnügen, da die maximale Eingangsspannung der Wechselrichter keine höhere Spannung zuließ. Die Steigerung der Gesamt-Systemspannung von 600 Vdc auf 900 Vdc brachte jedoch bereits eine Kostenersparnis von 60 €/kWp.

Durch die Verwendung von vorgefertigten DC-Kabeln für die Strangverkabelung, Abb.6, anstatt der (bisher eingesetzten) Verteilerkästen aus c-Si-Anlagen, Abb.5, konnten Einsparungen im Bereich von 80 €/kWp erzielt werden – ca. 30 €/kWp mehr als ursprünglich erwartet.

3.3 Wechselrichter

Der Einsatz von „Standard“-Wechselrichtern senkte die Kosten im Vergleich zu „low voltage“ Wechselrichtern um ca. 60 €/kWp und um weitere 120 €/kWp durch die Wechselrichter-Einheiten von 1 MWp (Mengeneffekte) sowie Einsparungen bei der Wechselrichter-Peripherie (Gebäude usw.).

3.4 Sonstige Kosten

Dank effizienterem Projektmanagement und Mengeneffekten (Verwendung von Massenprodukten) durch gestiegene Durchschnittsgröße der Anlage konnten bereits Kostensenkungen von 40 €/kWp realisiert werden.

3.5. 2006 insgesamt erzielte Kostensenkungen

Die Gesamt-Kosteneinsparungen auf BOS-Ebene lagen insgesamt, wie aus Abb.7 hervorgeht, bei etwas über 420 €/kWp. Erwähnenswert ist, dass eingehende Forschungsarbeit und Design-Änderungen sowie Optimierungen und intensive Diskussionen und Zusammenarbeit mit BOS-Lieferanten innerhalb nur eines einzigen Jahres zu bedeutenden Kostensenkungen geführt

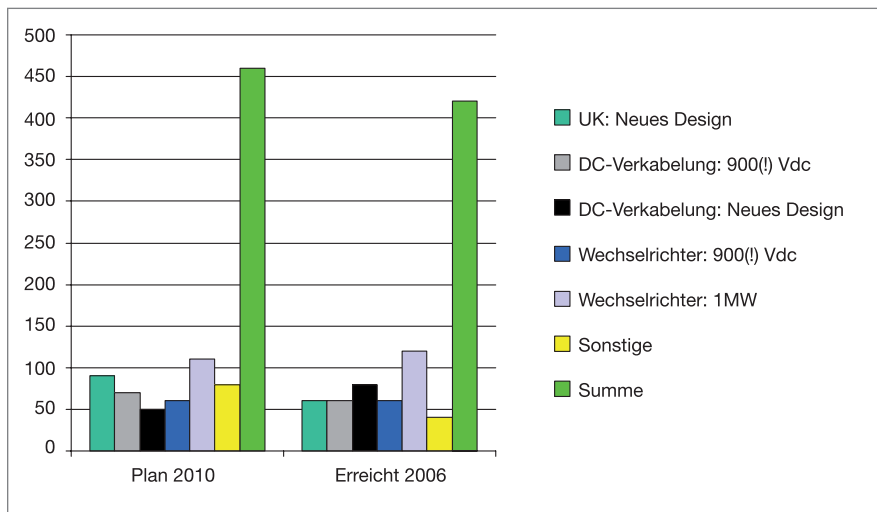


Abb.7 Geplante und bereits verwirklichte BOS-Kostensenkungen

bei den flächenbezogenen Kosten) zu erwarten sind sowie an der Tatsache, dass eine Systemspannung von 1 000 Vdc und die damit verbundene Möglichkeit, 1 MWp-Wechselrichter einzusetzen, bei c-Si-Modulen bereits gegeben ist. Es ist auch zu beachten, dass bereits in den vergangenen 15 Jahren viel unternommen wurde, um die BOS-Komponenten auf die Eigenschaften und Erfordernisse von kristallinen Modulen abzustimmen und zu optimieren, sodass hier nur noch ein begrenztes Kostensenkungspotential vorhanden ist. Die Dünnschichttech-

nologien bei einem bestimmten Dünnschicht-Modul (Glas-Glas, rahmenlos, 1 000 Vdc Systemspannung) und die damit seit 2005 erreichten Kostensenkungen.

3.1 Unterkonstruktion

Die Anordnung mit zwei quer übereinander liegenden Modulen, Abb.4, wurde auf der Grundlage von Design-Modifikationen und Optimierungen abgeändert; nun liegen vier querformatige Module übereinander, Abb.1, siehe Artikelanfang. Die Kosteneinsparungen betragen

haben. Im Grunde konnten die meisten erst für 2010 erwartet werden, nicht auf den Wirkungsgrad (oder auf die Standfläche) bezogenen Kostensenkungen, Abb.3, bei diesem speziellen Dünnschicht-Modul bereits verwirklicht werden.

4. FAZIT UND AUSBLICK

Wir haben das Kostensenkungspotential im Bereich der BOS-Kosten bei Freiflächen-PV-Großanlagen für die „typischen“ kristallinen Module sowie für ein Dünnschichtmodul ermittelt. Da die BOS-Kosten bei Dünnschichtanlagen einen höheren Anteil an den Gesamtsystemkosten ausmachen als bei Anlagen mit kristallinen Modulen und die BOS-Technik für Dünnschicht-Systeme noch ganz am Anfang der Optimierungsphase steht, werden die BOS-Kostensenkungen bei TF-Anlagen erheblich höher sein als bei c-Si-Anlagen.

Andererseits zwingt das EEG durch jährliche Senkungen bei der Einspeisevergütung für die jeweiligen Neuanlagen zu erheblichen Kosteneinsparungen. Es ist zu erwarten, dass sich bald immer mehr Markteinführungs-Maßnahmen ähnlicher Methoden bedienen werden. Dadurch entsteht ein beträchtlicher Kostensenkungsdruck, vor allem bei Freiflächen-Anlagen in Deutschland, wo bis 2010 Einsparungen in Höhe von 1300 €/kWp erforderlich werden (ca. 1/3 der gegenwärtigen System-Kosten bei Freiland-Anlagen).

Wie wir anhand eines bestimmten Dünnschichtmoduls aufzeigten, ist es uns bereits gelungen, durch technische Design-Optimierungen sowohl im Bereich der Module (höhere Systemspannung durch verbesserte Modulversiegelung) als auch bei der BOS-Technik Einsparungen von 420 €/kWp zu verwirklichen. Wir sind überzeugt, dass infolge weiterer Kostensenkungen durch einen verbesserten Modulwirkungsgrad oder weitere Design-Änderungen wie einer Vergrößerung der Module usw. bis spätestens 2010 BOS-Kosteneinsparungen von wenigstens 650 €/kWp möglich sein werden. Die Kostensenkungen dürften zwar bei anderen Typen von TF-Modulen leicht abweichen, doch sind wir überzeugt, dass auch bei

allen anderen Dünnschichtmodulen Kostensenkungen zu erzielen sind. Bei kristallinen Modulen halten wir das BOS-Kostensenkungspotential (€/kWp) aus folgenden zwei Gründen für wesentlich niedriger: Erstens ist der Anteil der BOS-Kosten geringer als bei TF-Anlagen und zweitens wurde das Kostensenkungspotential bei c-Si-Anlagen in den vergangenen 15 Jahren bereits zu einem guten Teil ausgeschöpft.

Da das BOS-Kosteneinparpotential bei c-Si-Modulen bedeutend niedriger (250 €/kWp) ist als bei Dünnschichtmodulen (650 €/kWp), müssen die Modulkosten im Vergleich zu 2005 bei kristallinen Modulen um 1050 €/kWp, bei TF-Modulen dagegen (nur) um 650 €/kWp gesenkt werden, damit kristalline Module für den Einsatz in Großanlagen in Deutschland wettbewerbsfähig bleiben können.

Durch die Degression von 6,5 % bei der Einspeisevergütung für Freiflächen-PV-Anlagen entsteht in Deutschland sowohl bei den Herstellern von Modulen und BOS-Komponenten als auch bei Anlagenentwicklern und Installateuren ein erheblicher Druck, die Gesamtsystemkosten herabzusetzen. Dies führt zu einer hohen Innovationsrate – viele Entwicklungen in letzter Zeit wären ohne diesen Preisdruck nicht zustande gekommen. Andererseits glauben wir, dass sich Anlagenentwickler und Installateure, die in diesem Marktsegment erfolgreich sind, in Zukunft mit zu den konkurrenzfähigsten Firmen in der Photovoltaik-Industrie entwickeln werden.

Autor

*Manfred Bächler, Vorstand Technik
Phönix SonnenStrom, Sulzemoos
Fotos und Grafiken: SonnenStrom
www.SonnenStromAG.de*

Literatur

- [1] Manfred Bächler, et al., „Cost Comparison of Large Scale crystalline and Thin-Film PV Systems“, 20th European PV Solar Energy Conference and Exhibition, 06-10 June 2005, Barcelona, Spain
- [2] Heribert Schmidt, et al., „Welcher Wechselrichter für welche Modultechnologie“, 21th PV Symposium Staffelstein, 06-08 März 2006, Staffelstein, Germany

Rentabel



Der neue SMC 8000TL

Keiner amortisiert sich schneller

Über 98 % Wirkungsgrad und der niedrigste spezifische Preis am Markt garantieren Ihnen die derzeit schnellste Amortisation für Wechselrichter.

Abgestufte Leistungsklassen mit 8, 7 und 6 kW sowie die freie Kombination aller Familienmitglieder gewährleisten höchste Flexibilität bei der Anlagenplanung.

Laden Sie das technische Datenblatt von unserer Website www.SMA.de und prüfen Sie noch heute die Vorteile des neuen SMC 8000TL.



Freecall 0800 SUNNYBOY
Freecall 0800 78669269
info@SMA.de



www.solar-is-future.de

Was Sie schon immer über Solarstrom wissen wollten ...

Die Welt ist keine Scheibe - Ihre Anzeigen auch nicht [...]



innovatools

Werkzeuge für den Erfolg

Fach.**Journal**

Fachzeitschrift für Erneuerbare Energien & Technische Gebäudeausrüstung

[Hier mehr erfahren](#)



innovapress

*Innovationen publik machen
schnell, gezielt und weltweit*

Filmproduktion | Film & Platzierung | Interaktive Anzeige | Flankierende PR | Microsites/Landingpages | SEO/SEM | Flashbühne