



## PHOTON TESTERGEBNISSE

Unabhängige Tests belegen Tigo Energy's führende Rolle  
hinsichtlich Technologie und Wirkungsgrades

Dezember, 2010

Tigo Energy Inc.  
420 Blossom Hill Road  
Los Gatos, Kalifornien 95032 U.S.A.

Unabhängige Tests belegen Tigo Energy's Überlegenheit hinsichtlich Technologie und Wirkungsgrades

“In Anlagen, auf die stetig der Schatten eines Mastes fällt, können die Leistungsoptimierer deutliche Ertragsgewinne liefern:... in langen Strings fast 21 Prozent (Testsieger: Module Maximizer von Tigo.)

PHOTON”

### EINLEITUNG

*Das ideale Solardach sieht so aus: Es ist hoch, es ist breit, es hat keine Aufbauten, wie Schornsteine, Gaube und Antennen, und es ist weder verwinkelt noch gebogen. Andere Häuser und Bäume stehen so weit entfernt, dass sie keinen Schatten auf die Solarmodule werfen. Das ideale Solardach ist demnach eher Wunsch als Wirklichkeit. Denn in der Praxis müssen Anlagenbetreiber mit dem vorliebnehmen, was sie haben- und das wirft Schatten, lässt Module aus unterschiedlichen Winkeln zur Sonne gucken und sorgt so für Ertragseinbußen.*

*Die meisten modernen Solarmodule sind so konzipiert, dass ein vergleichsweise kleiner Schatten zu vergleichsweise großen Minderleistungen führt. In einem Sonnensimulatorversuch des PHOTON-Labors reduzierte beispielsweise der Schatten eines Antennenmastes die tatsächliche Leistung einer Anlage im Sonnensimulator von rund 1.700 Watt auf weniger als 1.400 Watt- über die Zeit führte das zu einer Ertragseinbuße von mehr als zwanzig Prozent. Dabei bedeckte der Schatten weniger als fünf Prozent der Generatorfläche. Die Ursache dieser Diskrepanz ist einfach. Nicht nur das verschattete Modul liefert weniger Strom. Auch die anderen, unverschatteten Module werden dadurch gedrosselt. Denn in der Serienschaltung eines Strings gilt, dass das Modul mit dem geringsten Strom den Strom aller anderen Module begrenzt. Das gleiche Problem tritt auf, wenn Solarmodule unterschiedlich stark von der Sonne beschienen werden- zum Beispiel, weil sie nicht identisch ausgerichtet sind oder wenn die unterste Reihe des Solargenerators schon im Schatten liegt, während noch Sonnenlicht auf die oberen Reihen fällt. [1]*

- Übersetzung von PHOTON

Der Einsatz von Photovoltaik-Anlagen zur Stromerzeugung befindet sich weltweit in einem deutlichen Aufwärtstrend. Dieser fördert innovative Entwicklungen in Schlüsselbereichen mit dem Ergebnis, dass der Wirkungsgrad der Anlagen bei gleichzeitiger Kostensenkung konstant ansteigt. Besonders erwähnenswert sind in diesem Zusammenhang die jüngsten Durchbrüche in der BoS Elektronik, die Gleichstromoptimierung, Sicherheitsfunktionen und ein modernes Managementsystem für Solaranlagen eingeführt haben. Unlängst führte die Zeitschrift PHOTON Labortests durch, in denen Vorteile von fünf verschiedenen Optimierungssystemen miteinander verglichen wurden. Die Ergebnisse demonstrieren deutlich den positiven Einfluss von Tigo Energy Maximizer System auf die Energieerzeugung und unterstreichen den unübertroffenen Gesamtwert des Maximizer Systems. Tigo Energy hat sich von dem konventionellen Ansatz der DC-DC-Spannungswandlung gelöst und eine patentierte Technologie der Impedanzanpassung entwickelt. Möglich wird die höhere Energieausbeute dank eines Wirkungsgrades von 99,6% und einer unübertroffenen Genauigkeit der modulnahen MPP Kontrolle, durch die sich die Impedanzanpassung auszeichnet. Tigo Energy erzeugte 3,5 Mal mehr Energie auf nicht verschatteten Solaranlagen als die anderen getesteten Technologien. Diese Testergebnisse bestätigen die Position von Tigo Energy als klarer Marktführer im Bereich der Gleichstromoptimierer und erklärt, warum sich das Produkt weltweit so schnell durchsetzen konnte.

## TIGO ENERGY LIEFERT HÖCHSTE ENERGIEERTRÄGE IN TESTS OHNE VERSCHATTUNG

Der Ertragstest ohne Verschattung ist der wichtigste Hinweis zur Beurteilung der Leistung von modulnahen Regelungstechnologien. Die angewandten Testbedingungen entsprachen daher weitgehend den Parametern unter denen eine neue, professionell geplante Anlage in Stunden der Spitzenleistung arbeitet. Dieser Test ist ein wichtiges Maß sowohl für die Präzision der jeweiligen Methode zur MPP-Kontrolle als auch für den Wirkungsgrad der Modulelektronik. Nur wenn die Technologie keine zusätzlichen Wandlungsverluste im BoS verursacht, liefert sie als Ergebnis eine deutliche Ertragsverbesserung, selbst wenn die Solaranlage unter keinen wesentlichen Beeinträchtigungen leidet (z.B. durch Verschattung). Alle Systeme im Test konnten eine deutlich höhere Energieausbeute erzielen, wenn eine Verschattung durch eine Antenne, einen Baum oder eine Dachgaube vorlag. Bei gut geplanten Aufdachanlagen oder bei großen Freiflächenanlagen treten solche Verschattungen aber nur sehr selten auf. Viel wichtiger ist deshalb, wie viel ein System bei voller, gleichmäßig verteilter Sonneneinstrahlung produziert.

Für den PHOTON-Test haben unabhängige Ingenieure einen kompletten Testaufbau nach Labormaßstäben benutzt. Die Bedingungen waren ähnlich wie bei einer neuen, nicht verschatteten und professionell konfigurierter PV-Anlage:

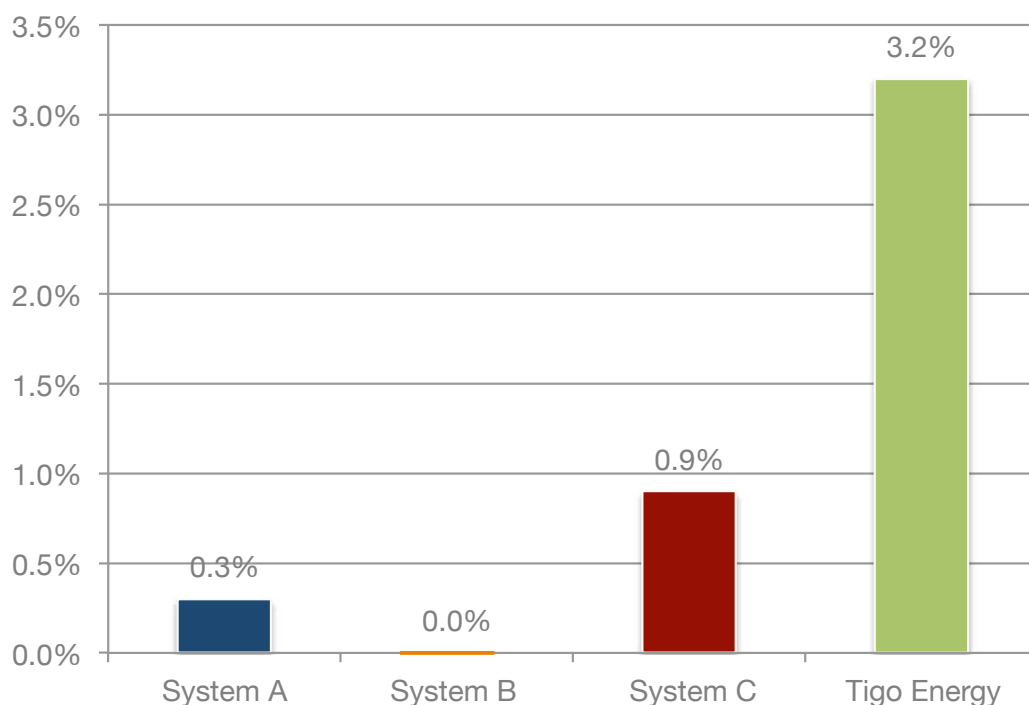
- Keine direkte Verschattung
- gleiche Module desselben Modells
- Sauberes Frontglas
- Einstrahlung im rechten Winkel (Lampe)

Die Testergebnisse zeigen Ertragssteigerung im Vergleich zum Ausgangszustand- bei dem gleiche Module in einem Strings an einen Zentralwechselrichter angeschlossen sind (die heute übliche Architektur). Tigo Energy setzte sich deutlich von der Konkurrenz ab und lieferte 3,2% mehr Leistung im Vergleich zu vernachlässigbarer oder gar keiner Ertragszunahme der übrigen Versuchsteilnehmer. Tigo Energy erzeugte 3,5 Mal größeren Leistungszuwachs als der zweitbeste getestete Mitbewerber.

Da auch perfekte PV-Anlagen in ihrem Umfeld Staub, Temperaturunterschieden und Siliziumalterung ausgesetzt sind, stellen die hier angegebenen Zahlen einen konservativen Ausgangspunkt für die Energiezunahme dar, die Anlagenbetreiber vom Tigo Energy Maximizer System erwarten können. Da sich die Abweichungen im Laufe der Zeit- bedingt durch zunehmende Verschmutzung und Alterung der Photovoltaikanlage - verstärken, wird auch der auf Korrektur basierende Energiezuwachs von Jahr zu Jahr zunehmen.

Die niedrigeren Ergebnisse der übrigen getesteten DC-DC-Wandlungstechnologien waren prognostizierbar und lassen sich einfach erklären. Standardansätze für modulnahe MPP-Kontrolle basieren auf DC-DC-Wechselrichterschaltkreisen (boost oder buck-boost). Diese Bauteile benötigen Transformatoren, die den Wirkungsgrad reduzieren und Systemgesamtkosten erhöhen. Solche Systeme mit einem niedrigen Wirkungsgrad verbrauchen 2-3% des Anlagenenertrages, was ein großer Teil der Gewinne ist, die ein solches Optimierungssystem aufgrund von Mismatchkorrekturen erwirtschaften kann. Daher haben diese Technologien ausschließlich bei Verschattungsszenarien einen echten ökonomischen Mehrwert. Im Gegensatz dazu wurden die Tigo Energy Maximizer erst entwickelt, nachdem ein Forscherteam eine umfassende Analyse von realen Bedingungen, unter denen Solaranlagen betrieben werden, durchgeführt hatte. Das Ergebnis ist eine Impedanzanpassungstechnologie, die zu einer deutlichen Ertragssteigerung sowohl bei verschatteten als auch bei nicht verschatteten Systemen führt. Die Ergebnisse der PHOTON Labortests demonstrieren, weshalb sich Tigo Energy in Hunderten von Hausaufdach-, Freiflächen- und gewerblichen Anlagen durchsetzen konnte.

**Grafik A: Energieausbeute im Testszenario ohne Verschattung**



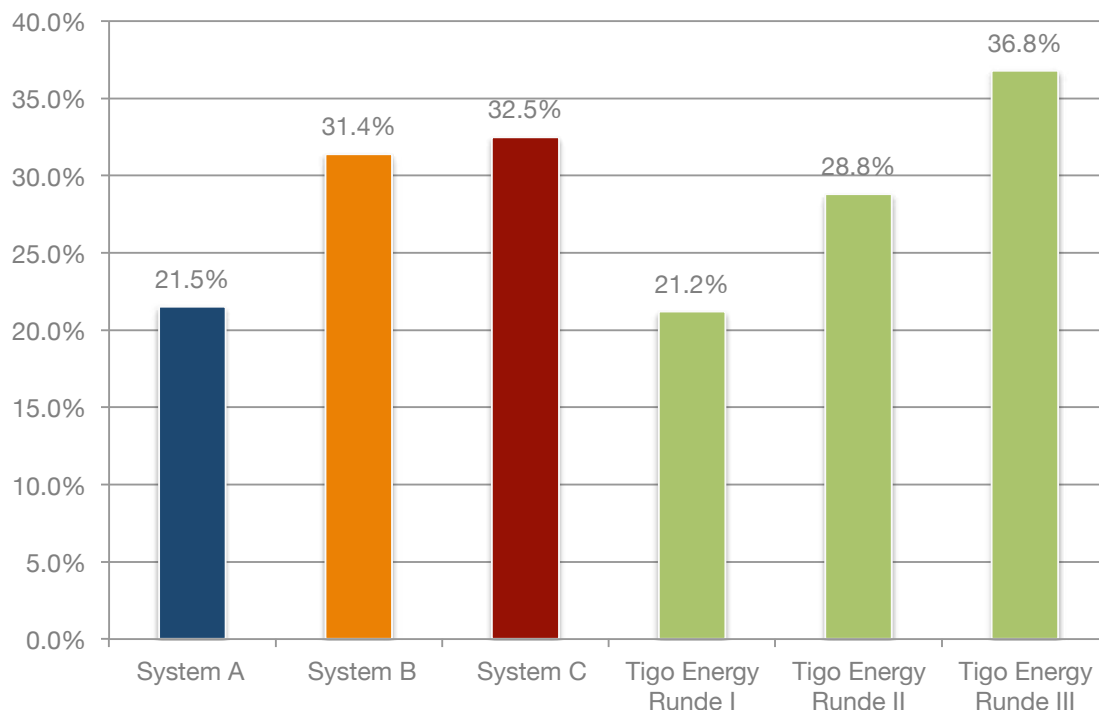
## ALGORITHMUSANPASSUNG ERMÖGLICHT HÖCHSTE ENERGIEAUSBEUTE IN VERSCHATTUNGSTESTS

In der zweiten Phase des PHOTON-Leistungstests wurden Energiezuwächse nach Einsatz der verschiedenen Leistungsoptimierer in diversen Schattensituation getestet. Die Testmodule wurden dabei entweder horizontal, von einem Pfosten oder einer Dachgaube verschattet. Bei den Tests zeigte sich Tigo Energy's volloptimierter Tracking-Algorithmus den anderen Ansätzen deutlich überlegen.

Tigo's raffinierter Steuerungsalgorithmus befindet sich in der Tigo Energy Maximizer Management Unit. Er reguliert die Strom- und Spannungskurven und berechnet den individuellen MPP für jedes einzelne Modul in Echtzeit. Im Gegensatz dazu verwenden andere PV-BoS Lösungsansätze wie die Versuch-und-Irrtum Methode des MPP-Tracking. Diese Perturb-and-Observe (P&O) Anwendungen oszillieren häufig um den MPP eines einzelnen Moduls und bedingen so Leistungsverluste. Der Software-Algorithmus und die Backend-Analytik von Tigo Energy lernen hingegen ständig von "Grenzbedingungen" (seltene, ungewöhnliche Ereignisse) und optimieren die Kontrollberechnungen für eine Leistungserweiterung. Offensichtlich wurde dies während des PHOTON-Tests mit horizontaler Verschattung.

Beim horizontalem Schattentest wurden das schattenwerfende Element über den Modulen positioniert und die Strahler auf volle Leistung geschaltet. Wegen der künstlichen Beschaffenheit sowohl der Einstrahlung als auch des direkten Schattens (welche unter realen Bedingungen nicht vorkommen) waren die Tigo Energy Module Maximizer im Verlauf des ersten Tests nicht vollständig kalibriert. Als Ergebnis generierte das System eine Ertragssteigerung von 21% - ein ökonomisch positives Resultat, aber noch kein Optimales. Weil das Tigo Energy System auf einem iterativen selbstlernenden Algorithmus basiert, konnte es während des 2. und 3. Testverlaufs auf erlernten Daten aufbauen und software-bezogene Verbesserungen einbringen. Ergebnis davon waren signifikante und kontinuierliche Ertragssteigerungen.

**Grafik B: Höhere Erträge im Test mit horizontaler Verschattung**



Quelle: PHOTON, November 2010  
Hinweis: Runde III wurde nicht veröffentlicht, aber von PHOTON geprüft.

Im zweiten Test lag der Energieertrag um 29% höher als im Ausgangsszenario (ohne Optimierung) und im dritten Test sogar um 36%. Das demonstriert eindrucksvoll den Wert des selbstlernenden Algorithmus, der sich eigenständig an beliebige vorherrschende Standortbedingungen innerhalb der ersten Tage der Inbetriebnahme anpasst. Algorithmusoptimierungen werden in regelmäßigen Zeitabständen an installierte Tigosysteme übertragen, um kontinuierliche Leistungsverbesserungen zu gewährleisten.

Mit über 36% Ertragssteigerung im horizontalen Schattentest liegt Tigo erneut mit 3% vor seinen Mitbewerbern. Das beweist den fundamental wirkungsvolleren und effizienteren Ansatz zur Leistungsoptimierung durch Impedanzanpassung.

## TIGO ENERGY LIEFERT DIE KOMPLETTE LÖSUNG

Während sich der Großteil der PHOTON-Studie und ähnlicher Artikel hauptsächlich mit der Frage nach höheren Erträgen dank modulnahen Leistungsoptimierern befassen, weist der Autor darauf hin, dass dies lediglich ein Vorteil von vielen in einer holistischen Anwendung ist. Das Tigo Energy Maximizer System steigert nicht nur die Erträge einer Solaranlage, es beinhaltet auch fortschrittliche Kommunikations- und Kontrollfunktionen. Diese Funktionen ermöglichen, im Notfall die Spannung eines jeden Moduls auf die Leerlaufspannung zu reduzieren, wodurch Systemsicherheit deutlich verbessert wird. Das Tigo Energy System ermöglicht eine präzise Anlagenüberwachung auf Modulebene und bietet fortschrittliche Analysetools für maximale Systemverfügbarkeit. Gleichzeitig senkt es die Kosten für Inbetriebnahme, Betrieb und Wartung sowie Fehlersuche. Das Tigo Energy Überwachungssystem liefert einzigartige synchrone Daten von jedem Modul - Informationen, die effektive Fehlersuche und automatisierte Analyse ermöglichen.

Die PHOTON hat anerkannt, dass die meisten der verfügbaren Technologien zur modulnahen Leistungsregelung nicht die gleiche Fülle von Vorteilen bieten können, wie das Tigo Energy System und deshalb auch nicht die wirtschaftlichen Vorteile, die eine sichere Marktstellung garantieren, wie sie Tigo Energy sich erworben hat.

*“Eine Zukunft dürften die Leistungsoptimierer jedoch aus einem ganz anderen Grund haben: Sie ermöglichen die Überwachung und Steuerung der Anlage auf Modulebene. Damit können sie im Falle eines Brandes die Photovoltaikanlage in kürzester Zeit stromlos schalten. Außerdem ist es prinzipiell möglich, fehlerhafte Module sehr schnell zu entdecken. Voraussetzung dafür sind aktiv kommunizierende Systeme wie das von Tigo...” [2]*

Während andere getestete Technologien bereits vorhandene Systemelemente (MPPT oder Wechselrichterbooststufe) lediglich auf- und verteilen, stellt die Impedanzanpassung von Tigo Energy einen neuen und innovativen Ansatz dar. Die semiverteilte Leistungsregelung mit einer zentralisierten Intelligenz reift schnell und unter kontinuierlicher Verbesserung aus. Tigo Energy bietet den Vorteil der verteilten elektronischen Intelligenz mit optimierter Wandlungseffizienz und Anwendungskosten.

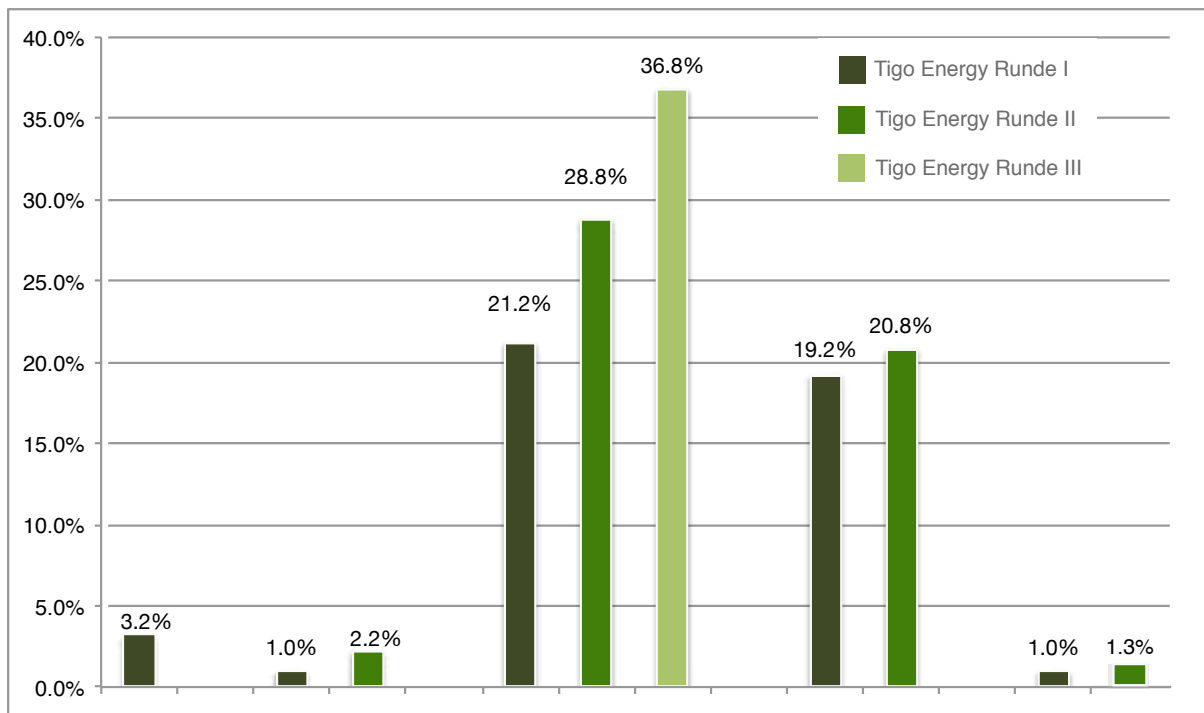
---

[ 2 ] Quelle: ibid.

Da Mikrowechselrichter und DC-DC-Wandlungstechnologien das Leistungstracking (P&O MPPT) und Wechselrichter ganzheitlich verteilen und auf die gleiche Anzahl wie die der Module vervielfältigen, lassen sich solche Lösungsansätze leicht per Energiezufuhr und in Simulatoren testen. Die vollständige Verteilung dieser Funktionen wirkt sich aber nachteilig auf Kosten und Wirkungsgrade aus. Um einen bisher unerreichten Wirkungsgrad zu erzielen, setzt Tigo Energy's Impedanzanpassung einen Maximizer pro Modul auf dem MPPT-Pfad des Wechselrichters voraus. Daher wird das Maximizer System beim Testen weder als ein unabhängiges Teilsystem noch mit Energiezufuhrsimulatoren funktionieren. Die Leistungsregelung wird stets in Bezug zum besten Modul eines Strings angewandt und funktioniert daher auch in meisten neuen oder bestehenden on-grid und off-grid (Laderegler) Anlagen.

Modulnahe Leistungsoptimierer haben längst Marktreife erlangt, so dass ihr Mehrwert (hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Wirkungsgrades) objektiv überprüft und beurteilt werden kann. Die PHOTON-Tests repräsentieren wichtigen Fortschritt bei der objektiven Bewertung der verfügbaren Technologien. Wenn Werbeversprechen der Hersteller durch unabhängig überprüfte Fakten und Daten ersetzt werden, wird der Kunde besser informiert und kann diejenige Technologie mit den für sein PV-Projekt größten Vorteilen wählen.

**Grafik C: Energieertrag in den verschiedenen Testsituationen**



Quelle: PHOTON, November 2010  
Hinweis: Runde III wurde nicht veröffentlicht, aber von PHOTON geprüft.

# ANHANG

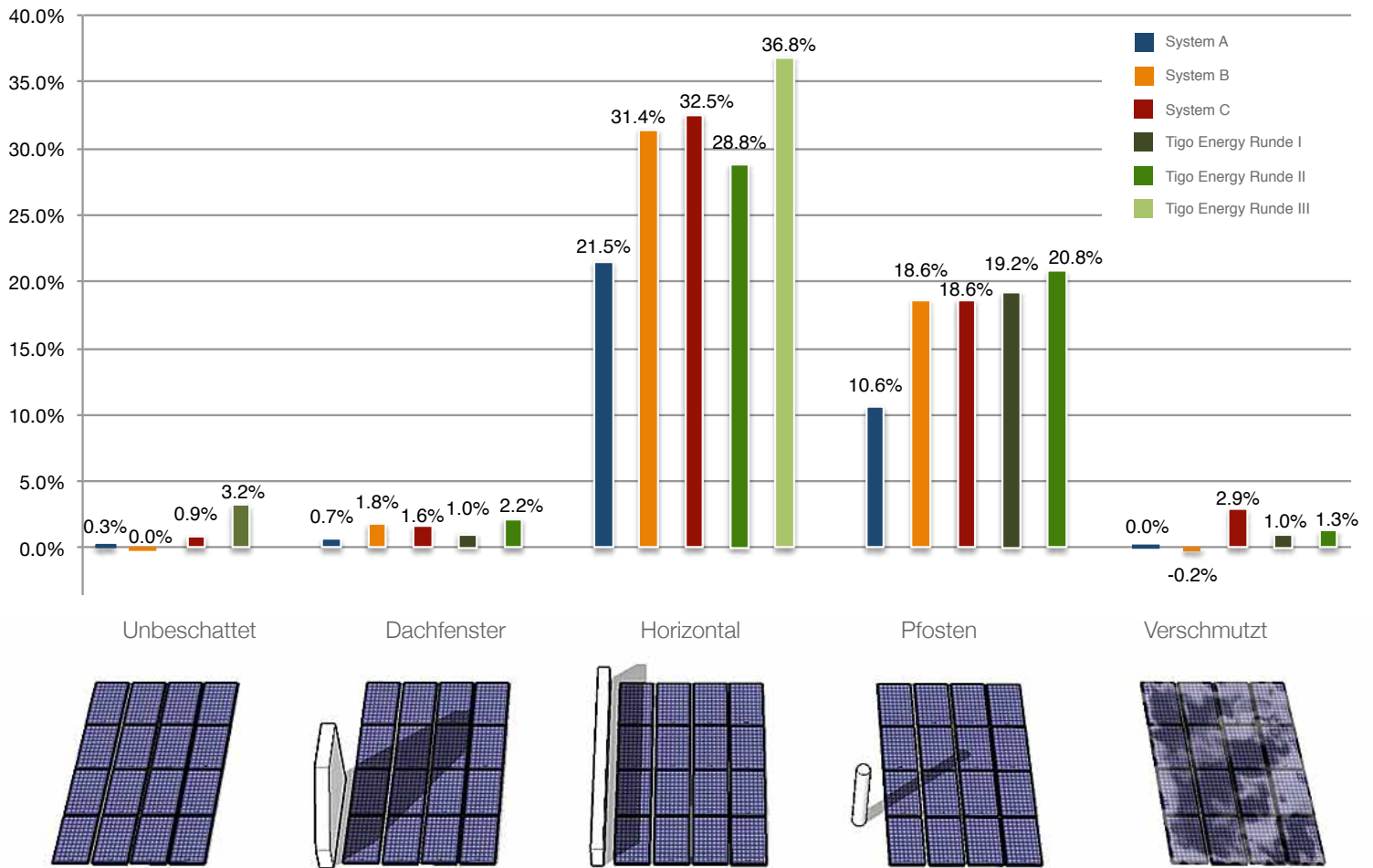
Testaufbau:

Anlagengröße: 2,5 kW

Module: 180 W Module eines TIER1 Herstellers

Wandler: Handelsüblicher Sunways AT2700 Wechselrichter. Der gleiche Wechselrichter wurde auf der Referenzanlage verwendet. Es wurden keine Änderungen der Wechselrichtereinstellungen oder Verkabelung durchgeführt.

**Grafik D: Alle Testergebnisse der Verschattungstests**



Quelle: PHOTON, November 2010  
Hinweis: Runde III wurde nicht veröffentlicht, aber von PHOTON geprüft.

**Tigo Energy, Inc.**  
P: +1.408.402.0802  
F: +1.408.358.6279  
www.tigoenergy.com

**Hauptsitz:**  
420 Blossom Hill Road  
Los Gatos, Kalifornien U.S.A.

**Niederlassungen:**  
Frankfurt, Deutschland  
Paris, Frankreich  
Monza, Italien  
Tokio, Japan  
Tel Aviv, Israel