



STRINGWECHSELRICHTER ODER DOCH OPTIMIZER?

Nach wie vor gibt es wenig Informationen zu einer Gegenüberstellung dieser beiden Systeme. Deshalb fördert das BFE ein Projekt zu dieser Fragestellung mit dem Ziel, quantitativ untermauerte Aussagen und Empfehlungen für die Praxis abzuleiten. Die Fachgruppe für Photovoltaik-Systeme an der ZHAW IEFÉ ist daran, die Zahlen zusammenzutragen.

Jahrelang waren Stringwechselrichter der Standard bei Installationen von Photovoltaik-Anlagen. Auf Basis der Dachgeometrie, Ästhetik, technischen Anforderungen und Abschattungssituationen werden die entsprechende Anzahl Photovoltaik-Module geplant und auf dem Dach installiert. Dabei werden die für das Dach ausgelegten Photovoltaik-Module in Serie zu einem String verbunden und je nach Anzahl Strings, an einen oder mehrere Stringwechselrichter angeschlossen.

Sind dezentrale DC/DC-Wandler eine Alternative?

Eine Alternative zu dieser Topologie mit Stringwechselrichtern, die den optimalen Arbeitspunkt (Maximum Power Point MPP) pro String einstellen, sind die dezentralen Optimizer (DC/DC-Wandler). Sie stellen den MPP pro Modul ein, wobei ein bis zwei Photovoltaik-Module an einen Optimizer angeschlossen werden. Die Optimizer werden in Serie verbunden und an einen kompatiblen Wechselrichter angeschlossen. Je nach Hersteller müssen entweder alle Module oder aber nur gewisse ausgewählte Module mit einem Optimizer ausgerüstet werden.

Welches System ist effizienter?

In den letzten Jahren haben die Optimizer-Systeme deutlich an Marktanteilen zugelegt, speziell bei Einfamilienhäusern. Dafür gibt es diverse Gründe wie zum Bei-

spiel Verschattungssituationen, individuelles Modulmonitoring, Brandschutz und einfachere Planung. Dafür zahlt der Endkunde einen höheren Preis für die Photovoltaik-Anlage infolge der zusätzlichen Elektronik. Den Kunden wird meist mitgeteilt, der Optimizer sei immer die technisch effizienteste Lösung. Stimmt dies auch? Für Kunden, Planer, Installateure und Wissenschaft ist von zentraler Bedeutung, wann jetzt genau mit welchem System, Stringwechselrichter oder Optimizer Mehrerträge im Jahresmittel entstehen. Um eine Antwort darauf zu geben, gibt es kaum Studien und Untersuchungen, die dann auch noch reproduzierbar sind. Einfache Vergleichsmessungen von realisierten Anlagen sind nicht verfügbar, da die zwei Systemvarianten in der Praxis bei gleichen Abschattungsvarianten nicht vorliegen und andere Unsicherheiten zusätzlich zu beachten sind, wie etwa tatsächliche Nennleistung der Module. Deshalb untersucht die Fachgruppe für Photovoltaik-Systeme an der ZHAW IEFÉ in einem vom BFE geförderten Projekt¹ diese Fragestellungen, unter anderem mit dem Ziel, quantitativ untermauerte Aussagen und Empfehlungen für die Praxis abzuleiten. Die Simulationen unter ver-

schiedenen Abschattungsbedingungen werden wiederum mit Labormessungen verifiziert.

Welches System bringt welchen Ertrag?

Fällt ein Schatten infolge von Laub oder Objekten auf die Solarzellen eines Photovoltaik-Moduls (siehe Abbildung 1), produzieren die betroffenen Solarzellen weniger Strom. Die Stromabnahme pro Solarzelle ist proportional zur verschatteten Fläche. Dieser Fakt führt dazu, dass ein Solarmodul aufgrund der integrierten Bypass-Dioden einen effizientesten Arbeitspunkt hat und bis zu zwei weiteren Arbeitspunkten, in denen weniger Ertrag produziert wird. Die Optimizer finden dabei den effizientesten Arbeitspunkt in jedem Modul, während der Stringwechselrichter den optimalen Arbeitspunkt für den ganzen String anfährt. Das bedeutet, dass die am Stringwechselrichter angeschlossen Solarmodule entweder gleich viel Strom produzieren (gleicher Arbeitspunkt in beiden Systemen) oder weniger als Photovoltaik-Module mit Optimizern. Ein wesentlicher Einflussfaktor, der oft aus Mangel an Detailkenntnissen übersehen wird, sind die tatsächlichen Wirkungsgrade der Wechselrichter und Optimizer im realen Arbeitspunkt und nicht jene im Datenblatt.

¹ BFE-Projekt: EFFPVSHADE – Effizienzanalyse von dezentraler Photovoltaik Leistungselektronik bei Teilbeschattung (SI/502247-01)



Abb. 1: Beispiele von typischen Abschattungssituationen auf Dächern.

Performancevergleich zwischen den Systemen

Die Tabelle 1 zeigt den Performancevergleich zwischen Stringwechselrichter- und Optimizer-Systemen aufgeteilt in einphasige bzw. dreiphasige Systeme. Untersucht wurden der unverschattete Fall sowie zwei Verschattungssituationen (Kamin und Baum) über ein Jahr.

Die prozentuale Performance deckt den Wirkungsgrad der Leistungselektronik und die Effizienz des Systems bezüglich Verschattung ab. Bei keiner oder geringer lokaler Verschattung (Kamin) ist das Stringwechselrichter-System besser. Die ändert sich im Fall von starker Beschattung durch einen Baum direkt vor der Anlage.

Simulierter Ertrag

Abbildung 2 zeigt den Tagesverlauf des simulierten Ertrages für den 1. Juni einer nachgebildeten Photovoltaik-Anlage und zwei Zeitpunkte mit Verschattung und entsprechender IV-Kennlinie der markierten Module. In der linken Verschattungssituation kurz vor 9 Uhr morgens liegt die maximale Verschattung bei 25 Prozent

TABELLE 1: PERFORMANCEVERGLEICH ZWISCHEN DEN SYSTEMEN

Konfiguration	Photovoltaik-Module	Stringwechselrichter-System	Optimizer-System	
			Wechselrichter	Optimizer
Wechselrichter 1-phasig (< 3,6 kWp)	400 W (60 Zellen und 3 Bypass-Dioden)	Huawei SUN2000-3.68KTL-L1 (ηEU 97,3 %)	Solaredge SE3500H (ηEU 98,8 %)	Solaredge P370 (ηEU 98,8 %)
Wechselrichter 3-phasig	400 W (60 Zellen und 3 Bypass-Dioden)	Fronius Symo 10 kW (ηEU 97,4 %)	Solaredge SE10k (ηEU 97,6 %)	Solaredge P370 (ηEU 98,8 %)

Verschattungssituation	System	Wechselrichter 1-phasig	Wechselrichter 3-phasig	
		12 Photovoltaik-Module	21 Photovoltaik-Module	14 Photovoltaik-Module
Nicht verschattet	String	97,7 %	96,9 %	96,7 %
	Optimizer	96,5 %	95,4 %	93,0 %
Kamin	String	96,7 %	96,3 %	95,7 %
	Optimizer	96,5 %	95,4 %	94,5 %
Baum	String	95,1 %	94,9 %	94,0 %
	Optimizer	96,4 %	95,3 %	94,4 %

Vergleich verschiedener Stringwechselrichter- und Optimizer-System (ηEU-Werte entnommen aus den Datenblättern) für drei Verschattungssituationen. Die Prozentwerte beinhalten die Effizienz des Systems unter Berücksichtigung des Wirkungsgrads der Leistungselektronik und das Finden des effizientesten Arbeitspunktes bei Verschattung (Quelle: A. Bänziger und A. Schneider, Poster-Präsentation 20. Nationale Photovoltaik Tagung Swissolar, Bern, März 2022).

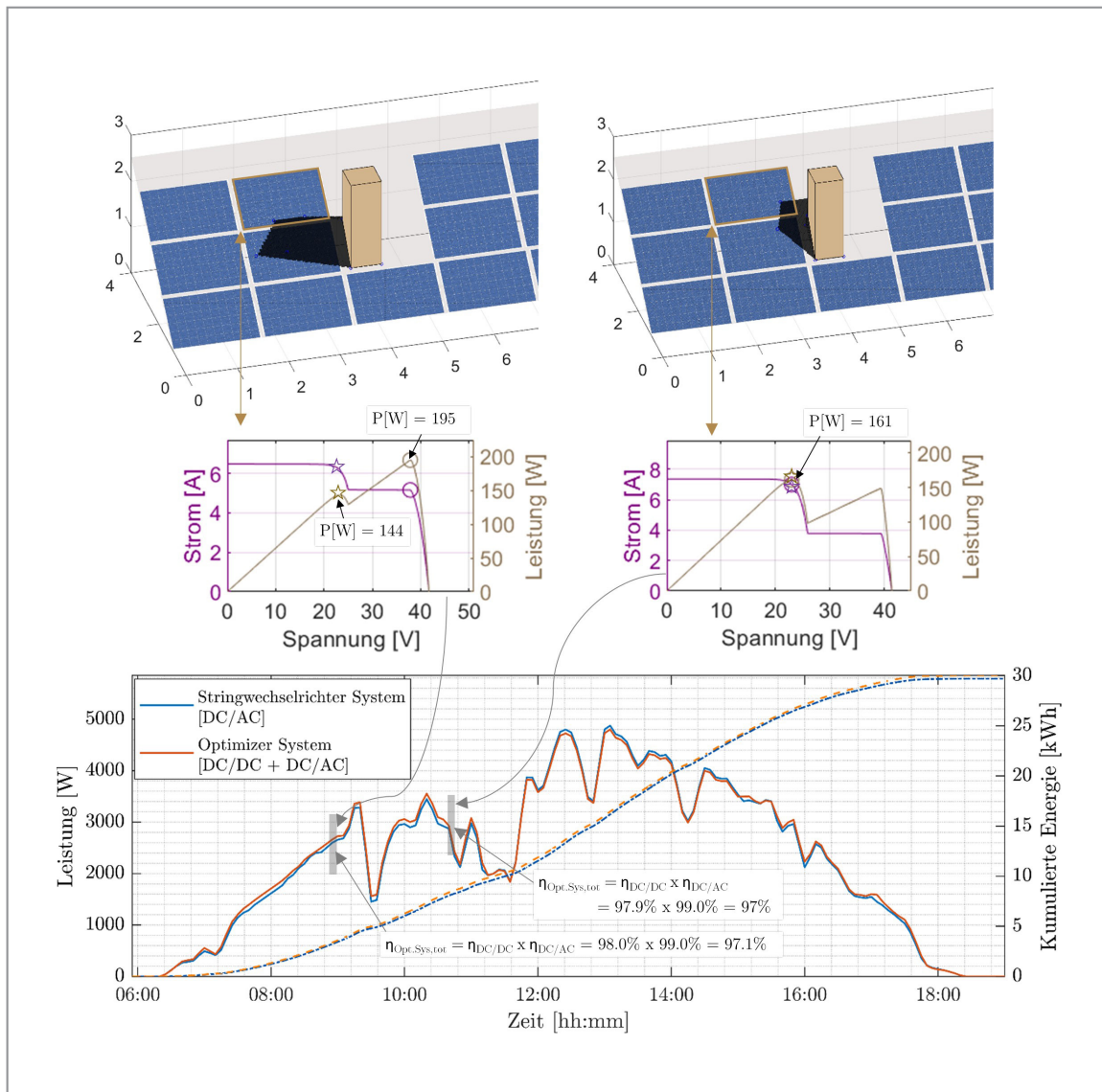


Abb 2: Vergleich der Tagesverläufe (1. Juni) der Leistung zwischen einer PV-Anlage mit 13 PV-Modulen mit Stringwechselrichter bzw. Optimizern. Die beiden mittleren Graphen zeigen die IV-Kennlinie des markierten Solarmoduls zu unterschiedlichen Zeitpunkten, wobei im zweiten Zeitpunkt (rechts) eine höhere Einstrahlung herrschte.

EMPFEHLUNGEN FÜR SOLAR-PLANENDE

- Optimizer-Systeme sollten dort eingesetzt werden, wo starke Verschattungen auftreten. Ein einzelner Schornstein zählt nicht dazu, wenn die Solarmodule genügend weit davon entfernt sind. Bei geringer oder nur sehr lokaler starker Abschattung sollte also der Solar-Planer aktiv werden.
- Es sollte in Betracht gezogen werden, die betroffenen Photovoltaik-Module entweder wegzulassen, weiter entfernt vom Verschattungsobjekt zu installieren (sofern möglich) oder aber mit einer Kombination beider Systeme zu planen. Dann könnte auch ein konventioneller Stringwechselrichter zur gleichen Performance führen.
- Verbleibt jedoch eine relevante Verschattung für wenige Solarmodule am frühen Nachmittag, können genau dort lokal einzelne Optimizer für diese Module eingesetzt werden, ohne die ganze Solaranlage damit auszustatten. Dabei ist darauf zu achten, dass die richtigen Optimizer ausgewählt werden, die diese Mischkonfiguration zulassen.
- Neben der rein ertragsbasierten Entscheidung für ein System spielen, wie anfangs erwähnt, auch andere Kriterien eine Rolle. Tabelle 2 zeigt die Vor- und Nachteile der Optimizer-Systeme und soll weitere Anhaltspunkte für die Entscheidungsgrundlage liefern.
- Es gibt leider aktuell keine Plattform, auf der Empfehlungen abgeholt werden können, ob Stringwechselrichter oder Optimizer eine bessere Performance haben oder ob eine Mischlösung beider Systeme von Vorteil ist.
- Es laufen zurzeit Abklärungen im Umfeld unserer Forschungsgruppe für eine diesbezüglich mögliche Umsetzung, um dies für Kunden, Installateure und Planer ganz praktisch anbieten zu können. Voraussetzung sind aber die genauen geometrischen Daten von Dach und Verschattungsobjekten.

im unteren Zellstring, womit der Optimizer das Modul bei 195 W (Kreis) betreibt. Dazu reduziert der Stringwechselrichter die Spannung, wobei die Bypass-Diode aktiviert wird und das betroffene PV-Modul nur noch 144 W (Stern) zur Ertragsproduktion beisteuert. Im rechten Fall rund zwei Stunden später beträgt die maximal auftretende Zellabschattung 100 Prozent der direkten Einstrahlung, was dazu führt, dass beide Systeme im gleichen Arbeitspunkt arbeiten.

Wirkungsgrad

Heutzutage erreichen die effizientesten Wechselrichter Euro-Wirkungsgrade zwischen 96,5 und 97,5 Prozent. In den Datenblättern der Optimizer sind Werte um die 99 Prozent oder höher verzeichnet, was aber nur die maximal möglichen Wirkungsgrade sind, die in der Praxis fast nie vorliegen, kann doch dann keine Spannungswandlung erfolgen. Im reinen Optimizer-System ist DC Stringspannung fix und wird auf die einzel-

nen Optimizer aufgeteilt. Das heisst, die optimale Auslegung ist dann erreicht, wenn die Photovoltaik-Modulspannung gleich der Stringspannung dividiert durch die Anzahl Optimizer ist. Weicht dies stark ab oder liegt eine Abschätzung vor, muss der Optimizer hoch- oder tiefer stellen. In diesen Betriebsmodi treten höhere Verluste auf, wobei sich dann bei den Optimizern Wirkungsgrade zwischen 97,5 und 98,5 Prozent ergeben. Die Jahresertragsberechnung der in Ab-

TABELLE 2: VOR- UND NACHTEILE VON OPTIMIZER-SYSTEMEN FÜR DEN KUNDEN, DIE INSTALLATEURE UND DIE PLANER.

	Vorteil Optimizer-System	Nachteil Optimizer-System
Kunde	Bei starker Beschattung relevanter Mehrertrag	Investment höher, da mehr Material und längere Installationszeiten nötig (Längere Amortisationszeit).
	Bei Stromunterbruch des Modulstroms ist der Ertrag des Reststrings gewährleistet.	Kein wirtschaftlicher Vorteil bei geringer Verschattung, aber höherem Ausfallrisiko wegen zusätzlicher Elektronik im Outdoorbetrieb (Temperaturen auf dem Dach).
	Geringere lokale Übertemperatur im Modul (Hotspot) bei Verschattung am Mittag, erhöht Modullebensdauer.	Die Austauschkosten trägt der Endkunde, auch wenn im Garantiefall die Optimizer gratis ersetzt werden.
	Die Optimizer arbeiten bei einem Moduldefekt mit einer Schutzspannung von 1V, was die Lichtbogen- bzw. Brandgefahr reduziert.	Mehr Module werden verbaut, die dann einen geringeren spezifischen Ertrag haben.
	Modulanordnung und Anzahl hat mehr Freiheitsgrade, um gestalterischen Wünschen zu genügen.	Das grosse Spektrum der Anzahl Optimizer im String kann zu höheren DC/DC-Umwandlungsverlusten führen.
	Das Dach kann komplett belegt werden, um AC-Output zu maximieren trotz geringerem spezifischem Ertrag.	Zeitaufwand bei der Kontrolle und Bewertung jedes einzelnen Moduls im Web.
	Module unterschiedlicher elektrischer Kenndaten können kombiniert werden.	Kosten, wenn nur der Optimizer defekt ist, z. B. Hardware- oder Kommunikationsfehler.
	Ertragskontrolle einzelner Module kann lokale Verschmutzung oder Defekte sichtbar machen bzw. Hinweise für Modulreinigung liefern.	Die Anzahl der Stecker verdreifacht sich, was zu einem höheren Ausfallrisiko führt.
		Zusätzliche Komponenten wie Optimizer, insbesondere unter hohen Temperaturen und wechselnden Witterungsbedingungen, erhöhen die Ausfallwahrscheinlichkeit.
Installateur und Planer	Geringere Gefährdung der Installateure durch hohe DC-Spannung bei der Montage.	Mehr Zeitaufwand, da jeder Optimizer zusätzlich montiert und lokal korrekt erfasst werden muss.
	Zeitersparnis bei Stringplanung	Höherer Zeitaufwand für Kundengespräche, wenn keine Module ausgetauscht werden und der Kunde nur geringe Leistungsunterschiede zwischen Modulen reklamiert.
	Einfachere elektrische Fachplanung für die Stringauslegung.	Die Stecker am Modul, Optimizer und der Verbindung zum Wechselrichter müssen vom gleichen Typ und vom gleichen Hersteller sein, da Kreuzverbindungen unterschiedlicher Steckerhersteller und -typen nicht erlaubt sind. Bei falscher Planung entsteht ein Mehraufwand fürs Ersetzen der Stecker.

bildung 2 gezeigten Anlage ergibt einen Mehrertrag für das Optimizer-System von 1,7 Prozent, ohne Berücksichtigung der zusätzlichen Verluste in der Leistungselektronik und nur 0,6 Prozent bei deren Berücksichtigung.

Autoren

Fabian Carigiet
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Fachgruppe Photovoltaik
Institut für Energiesysteme und
Fluid-Engineering IEFE ZHAW

Cyril Allenspach
Wissenschaftlicher Assistent
Fachgruppe Photovoltaik
Institut für Energiesysteme und
Fluid-Engineering IEFE ZHAW

Franz Baumgartner
Studiengangleitung
Energie- und Umwelttechnik
Dozent für Photovoltaik-Systeme
Fachgruppe Photovoltaik
Institut für Energiesysteme und
Fluid-Engineering IEFE ZHAW

IEA TASK13

Weitere detaillierte technische Infos zu diesem Thema werden in der Arbeitsgruppe IEA Task 13 publiziert. Der unten stehende QR-Code leitet Sie direkt auf das Youtube-Video «Ertragsvorteil von Photovoltaik Optimizer zu Stringinverter in der Praxis» von Franz Rudolf Baumgartner.

