

# Solarstrom auch bei Stromausfall

## Praxistest eines Fotovoltaik-Backupwechselrichters

Konventionelle Wechselrichter für Fotovoltaikanlagen müssen bei Stromausfall automatisch vom Netz getrennt werden. Eine Fotovoltaikanlage erhöht deshalb die Versorgungssicherheit eines Gebäudes nicht, selbst wenn sie genügend Energie zur Deckung der angeschlossenen Lasten ins Netz einspeisen könnte. Abhilfe kann da ein Backupwechselrichter schaffen. In einem Projekt wurde ein solcher Backupwechselrichter getestet.

**Christof Bucher, Peter Toggweiler**

Viele Betreiber einer Fotovoltaikanlage (PV-Anlage) wünschen sich nebst grünem Strom auch eine höhere Versorgungssicherheit. Beides ist heute erreichbar, allerdings in der Regel nur mit zwei unabhängigen Systemen. Ist ein Gebäude mit einer PV-Anlage ausgerüstet, so wäre es wünschenswert, dass diese Anlage das Gebäude in sonnigen Zeiten auch bei Netzunterbruch mit Energie versorgen könnte. Konventionelle Wechselrichter sind jedoch nur darauf ausgelegt, Strom in ein stabiles und starkes Netz einzuspeisen. Detektiert ein Wechselrichter Unregelmässigkeiten wie Frequenzschwankungen, unzulässige Spannungen oder gar Netzausfall, so schaltet er sich und somit die PV-Anlage sofort aus.

Backupwechselrichter stellen dazu eine Alternative dar, denn sie können ein Netz autonom betreiben. Neben der Möglichkeit, den Strom aus der PV-An-

lage direkt ins Netz resp. in einen Haushalt einzuspeisen, können sie überschüssige Energie in Batterien speichern und bei Bedarf zur Verfügung stellen. Somit kann das Notnetz auch in der Nacht bei einem Stromausfall eine gewisse Zeit lang Strom liefern.

Backupwechselrichter werden in der Schweiz bisher kaum eingesetzt. Dies ist einerseits auf die sehr hohe Zuverlässigkeit des Stromnetzes zurückzuführen, andererseits auf die fehlenden Referenzanlagen. Im vom BFE und EWZ finanziell unterstützten Pilot- und Demonstrationsprojekt «Praxistest Backupwechselrichter» [1] hat die Enecolo AG (heute Basler & Hofmann AG) ein solches Gerät ein Jahr lang getestet.

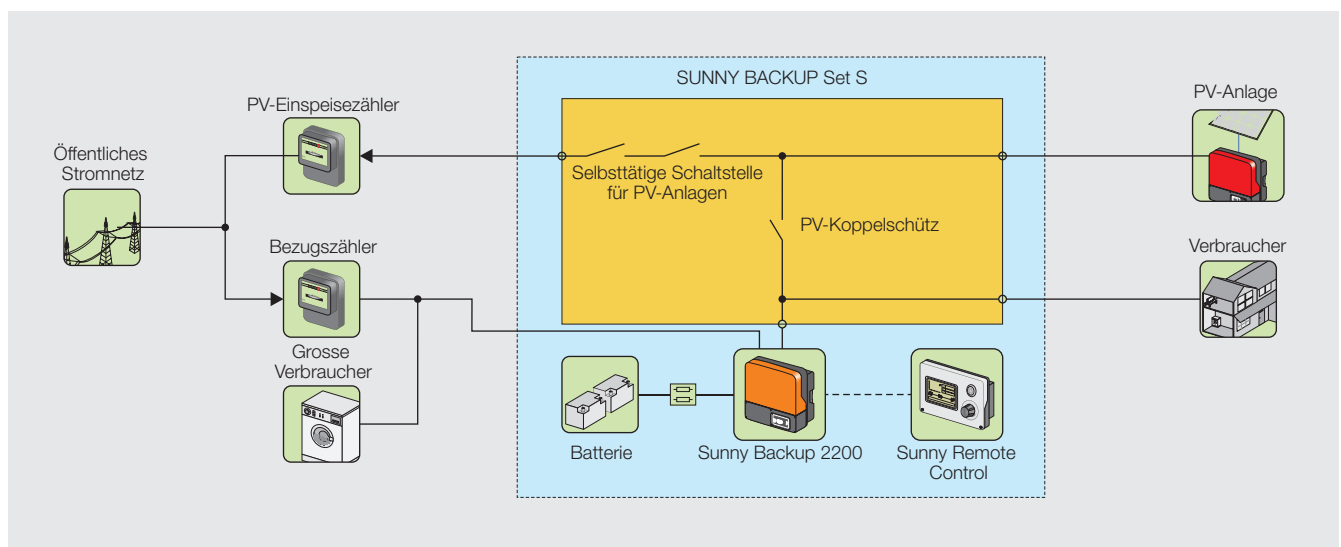
### Die Pilotanlage

Zum Zeitpunkt des Projektstarts waren mit Conergy, SMA und Studer Inno-

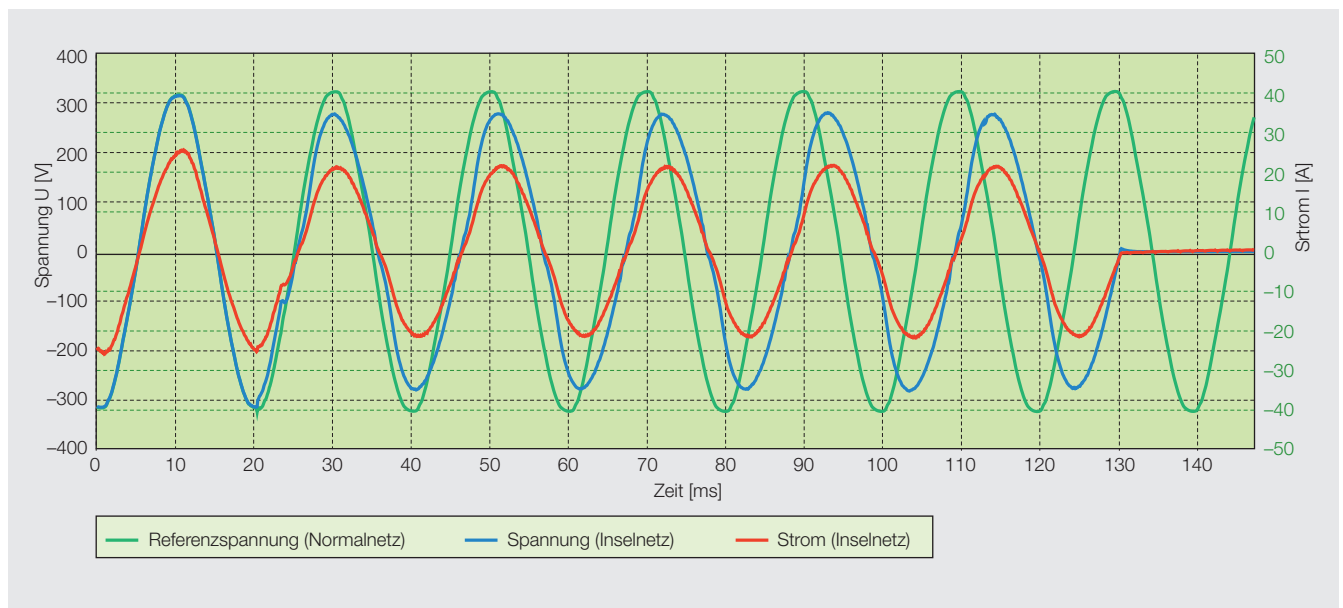
tec nur drei Hersteller von PV-Wechselrichtern mit Backupfunktion bekannt. Das ursprünglich für den Test vorgesehene All-in-One-Gerät ISA 3000 von Conergy erwies sich als unzuverlässig und fehleranfällig, weshalb es nach angekündigtem Vertriebsstopp des Herstellers vom Praxistest ausgeschlossen wurde.

Als zweites System wurde das modulare «Sunny Backup Set S» der deutschen Firma SMA eingesetzt. Dieses System hat nebst einem konventionellen PV-Wechselrichter, wie er auch in der Schweiz schon tausendfach eingesetzt wurde, eine Backup Einheit «Sunny Backup 2200» (SBU), siehe Bild 1. Das Anlagekonzept ist einfach: Der PV-Wechselrichter speist im Normalbetrieb direkt ins Stromnetz (im Folgenden «Normalnetz» genannt) ein. Bei einem Stromausfall trennt die SBU die PV-Anlage vom Netz und baut mithilfe der angeschlossenen Batterien ein Inselnetz auf, an welchem die PV-Anlage automatisch angeschlossen wird.

Die SBU bildet das Kernstück des Backupsystems. Nebst der Frequenzvorgabe im Inselbetrieb und der damit verbundenen Frequenzanpassung bei der Netzsynchonisierung hat sie die Aufgabe des Energiemanagements, der Netzüberwachung und der Auslösung aller Schalthandlungen im System. Der Umschaltvorgang vom Normal- auf Inselbetrieb soll laut Hersteller maximal 50 ms dauern (bei grösseren Systemen wird diese Zeit mit 20 ms angegeben), die



**Bild 1** Systemübersicht des getesteten Backupsystems «Sunny Backup Set S».



**Bild 2** Umschaltung vom Normalnetz auf das Inselnetz bei ca.  $t = 20$  ms. Rückspeisung in das mit einer resistiven Last simulierte Normalnetz bis ca.  $t = 130$  ms. Referenzphase und Phase des Inselnetzes fallen ausser Tritt.

Rückschaltung auf Normalbetrieb erfolgt unterbrechungsfrei.

Die 32 PV-Module der Pilotanlage à 85 W Spitzenleistung ergeben eine Maximalleistung von 2,72 kW. Zur Umwandlung des von den PV-Modulen gelieferten Gleichstroms in netzkonformen Wechselstrom wurde in der Pilotanlage der PV-Wechselrichter «Sunny Boy 2500» von SMA verwendet. Wie Kraftwerke, die an der Primärregelung in einem herkömmlichen Stromnetz teilhaben, kommunizieren die beiden Wechselrichter über die Netzfrequenz. Erhöht die SBU die Netzfrequenz, so verschiebt der Sunny Boy den Arbeitspunkt der PV-Anlage aus dem Optimum und senkt somit deren Einspeiseleistung. Dadurch wird verhindert, dass die Batterien an einem sonnigen Tag mit wenig eingeschalteten Lasten im Inselbetrieb überladen werden.

Folgende Betriebszustände des Backupsystems sind möglich:

- **Netzbetrieb:** Die PV-Anlage ist mit dem Netz verbunden. Der Backupwechselrichter arbeitet synchronisiert im Parallelbetrieb (Bereitschaftsmodus).
- **Inselbetrieb:** Die Momentanleistung der PV-Anlage ist **größer** als die am System angeschlossene Last: Der Backupwechselrichter gibt die Netzfrequenz vor und lädt mit der überschüssigen Energie der PV-Anlage die Batterien. Sind diese voll, erhöht er die Netzfrequenz, bis die Leistung der PV-Anlage genau der Last im Inselnetz entspricht.
- **Inselbetrieb:** Die Momentanleistung der PV-Anlage ist **kleiner** als die am System

angeschlossene Last: Der Backupwechselrichter gibt die Netzfrequenz vor und entnimmt die zum Versorgen der Verbraucher notwendige Energie den Batterien.

### Tests und Resultate

Die Tests an der Pilotanlage gliedern sich in drei Kategorien: erstens die Funktions- und Eigenschaftstests, zweitens Langzeittests zur Ermittlung von Wirkungsgraden und Zuverlässigkeit und drittens Tests der Netzqualität sowie des Umschaltverhaltens zwischen Netz- und Inselbetrieb.

#### Funktionstest

Grundsätzlich bestätigen die Funktionstests den soliden ersten Eindruck von der Inbetriebnahme der Anlage. Das Umschalten von Netzbetrieb auf Inselbetrieb (simuliert durch Trennen des laufenden Systems vom Netz) funktioniert einwandfrei, alle Schaltvorgänge wirken zuverlässig und sauber. Bei Überlast schaltet die SBU automatisch aus, muss danach aber manuell gestartet werden. Dieser Umstand kann für den Betreiber inakzeptabel sein, wenn mit dem Backupsystem z.B. ein Aufzug (Lift im Treppenhaus, Rollstuhllift o.Ä.) betrieben wird, der dem Betreiber der Anlage im Extremfall den manuellen Neustart nicht möglich macht. Allerdings liefert der Backupwechselrichter bei einer Dauerleistung von 2,2 kW (Spitzenleistung von 3,8 kW während 1 min) im Test 3 s lang sogar 4 kW – genügend also, um die Startleis-

tung für Lasten mit hohen Anlaufströmen aufzubringen.

#### Umschaltung als Herausforderung

Der PV-Wechselrichter schaltet sich bei der Umschaltung auf Inselbetrieb jeweils ordnungsgemäss automatisch aus. Nach der Verbindung zum Inselnetz schaltet er sich wieder ein, jedoch erfolgt die Synchronisation zum Inselnetz beim getesteten Gerät nicht zuverlässig. Dies deutet auf eine grundsätzliche Problematik hin: Ein Wechselrichter im Netzbetrieb darf nur dann Energie ins Netz einspeisen, wenn er sicherstellen kann, dass das Netz intakt ist. Nach DIN VDE 0126-1-1 und E-VDE AR-N 4105 (nicht anwendbar in der Schweiz, jedoch von jedem bekannten PV-Wechselrichterhersteller berücksichtigt) muss er regelmässig eine Netzimpedanzmessung vornehmen. Weil diese im Inselnetz fehlschlagen würde, muss sie deaktiviert werden. Dies wiederum ist nur dann zulässig, wenn ein anderes Gerät (in diesem Fall der Backupwechselrichter) die Netzüberwachungsaufgaben übernimmt.

Die Tatsache, dass ein Inselnetz meist nicht so leistungsstark wie das normale Stromnetz ist, scheint dem PV-Wechselrichter das Synchronisieren auf ein Inselnetz zu erschweren. Für den Betreiber eines Backupsystems kann das bedeuten, dass er zwar dank den Batterien auch bei Netzerbruch Strom hat, dass seine PV-Anlage jedoch in dieser Zeit keinen Strom liefert.

Keht die Netzspannung wieder zurück, dauert es rund eine Minute, bis der Backupwechselrichter vom Inselbetrieb zum Normalbetrieb zurückkehrt. Die Synchronisation mit dem Netz erfolgt zuverlässig.

### Wirkungsgrad des Backupsystems

Der Wirkungsgrad bzw. der Eigenverbrauch des Systems fällt negativ auf. Die im Rahmen von Langzeittests während rund 6 Monaten ermittelten Wirkungsgrade können wie folgt zusammengefasst werden:

### Eigenverbrauch Backupwechselrichter

Der Eigenverbrauch des Backupwechselrichters beträgt gemittelt über die Messperiode (ca. 6 Monate) 35,9 W. Dies entspricht einem Jahresverbrauch von 315 kWh resp. dem Energieertrag einer 330-W-PV-Anlage in der Schweiz. Wer also seinen Energieertrag in der Jahresbilanz trotz Backupwechselrichter nicht reduzieren möchte, benötigt zusätzlich 2 m<sup>2</sup> PV-Module.

### Wirkungsgrad Netzeinspeisung PV-Anlage

Weil der PV-Wechselrichter im Normalbetrieb direkt am Netz angeschlossen ist, hat das Backupsystem keinen Einfluss auf den Wirkungsgrad der Netzeinspeisung. In der Messperiode wurde ein für heutige Verhältnisse tiefer Wirkungsgrad von 93,8% gemessen.

### Systemwirkungsgrad Netzeinspeisung Backupsystem

Hochgerechnet auf ein ganzes Jahr beträgt die von der Pilotanlage eingespeiste Energie 2065 kWh, die von den PV-Modulen gelieferte Energie 2201 kWh.

Wird die vom Backupwechselrichter bezogene Bereitschaftsenergie (35,9 W während 8760 h im Jahr) vom Energieertrag abgezogen, so resultiert ein Wirkungsgrad von nur noch rund 80%. Diese Berechnung ist aber zu relativieren: Der Energieverbrauch der SBU ist unabhängig von der PV-Anlage. Wird somit die Grösse der PV-Anlage verändert, ändert sich automatisch auch der Systemwirkungsgrad.

Der hohe Eigenbedarf des Backupsystems fällt negativ auf, insbesondere im Zusammenhang mit dem heute noch eher teuren Solarstrom.

### Netzqualität, Umschaltverhalten

Die Umschaltung auf Inselbetrieb erfolgt präzise und zuverlässig (Bild 2). Dabei fallen besonders zwei Eigenheiten auf:

- Die Umschaltung bei  $t = 20$  ms erfolgt echt unterbrechungsfrei. Dies ist nur möglich, weil der simulierte Netzunterbruch hochohmig erfolgt ist. Das Netz wurde nach Unterbrechen der Netzsicherung einzig durch eine resistive Last dargestellt. Bei einem niederohmigen Netzunterbruch wurden Unterbrechungszeiten von bis zu 80 ms gemessen.
- Der Backupwechselrichter speist während 110 ms Energie zurück ins Netz (repräsentiert durch die erwähnte resistive Last). Erst dann werden Primär- und Sekundärseite des Backupwechselrichters voneinander getrennt.

Die Spannungsqualität im Inselnetz nimmt zwar gegenüber dem Normalnetz ab, bleibt aber immer noch in einem akzeptablen Bereich. Insbesondere werden die Grenzwerte nach EN 50160 bei

## Résumé De l'électricité solaire même en cas de panne d'électricité

### Test pratique sur un onduleur backup pour installations photovoltaïques

Les onduleurs conventionnels pour installations photovoltaïques doivent être automatiquement séparés du réseau en cas de panne d'électricité. C'est pourquoi une installation photovoltaïque n'augmente pas la sécurité d'un bâtiment en termes d'approvisionnement, même lorsqu'elle peut injecter dans le réseau suffisamment d'énergie pour couvrir les charges raccordées. Un onduleur backup constitue une aide en la matière.

Une recherche sur le comportement d'un onduleur backup a été effectuée dans le cadre d'un projet pilote. Elle a permis d'établir que le système ayant fait l'objet de la recherche présentait un bon comportement de commutation. La consommation propre était relativement élevée. Par ailleurs, il a été établi qu'on ne peut pas éviter l'alimentation sans coupure (ASC) des consommateurs exigeants (serveurs, PC, etc.). Mais les exigences posées par le test à l'onduleur backup ont été principalement remplies. No

einer Momentaufnahme der Oberschwingungen nicht überschritten.<sup>1</sup> Bild 3 zeigt die Oberschwingungen des Inselnetzes und des Normalnetzes (öffentliches Stromnetz).

Auch das Zu- und Wegschalten von grossen Lasten beeinträchtigt die Inselnetzqualität nicht. Beim Anschluss einer nicht zulässigen Überlast schaltet sich der Wechselrichter nach direktem Spannungseinbruch innert 3 s aus.

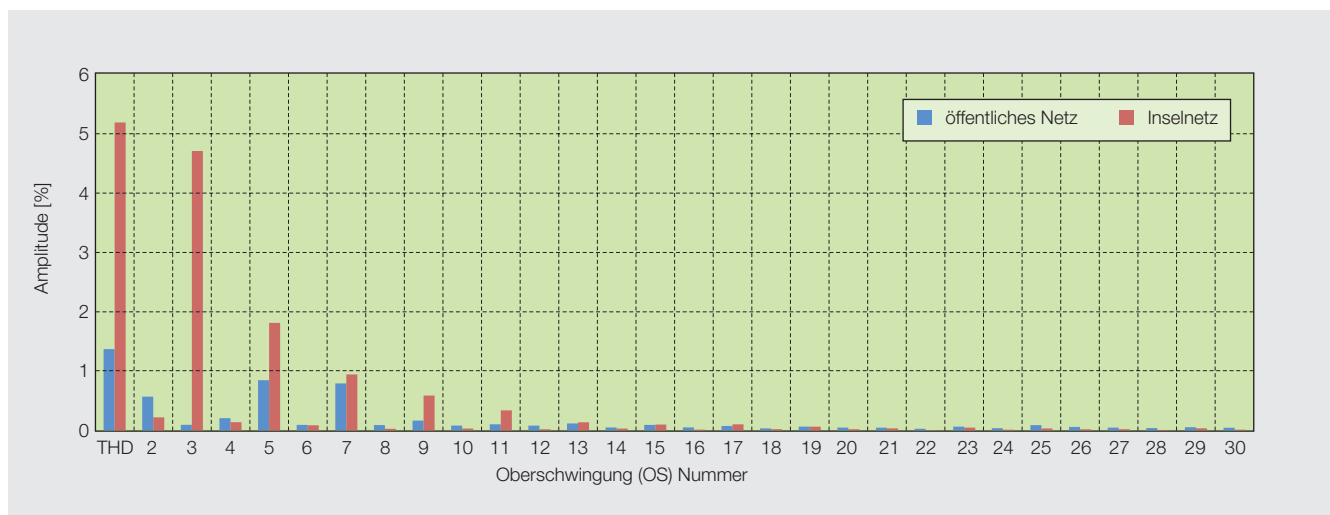


Bild 3 Momentaufnahme der Oberschwingungen des Normalnetzes (öffentliches Netz) und des Inselnetzes.

### Fazit und Ausblick

Das in der Pilotanlage getestete System «Sunny Backup Set S» erfüllt die Erwartungen weitgehend. Es unterscheidet sich jedoch in einem zentralen Punkt von herkömmlichen Notstrom-Systemen: Es garantiert keine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV). Wer Kühlschrank, Fernseher und Staubsauger auch bei einem Stromausfall nutzen möchte, ist mit den getesteten Systemen bestens bedient. Wer hingegen anspruchsvolle Geräte wie Computer vor Netzunterbrüchen schützen will, benötigt spezifische USV-Geräte.

In den vergangenen Monaten hat sich im Bereich Backupwechselrichter einiges getan. Nicht zuletzt wegen den Bemühungen Deutschlands (nach wie vor PV-Markt Nr. 1 weltweit), den Eigenver-

brauch der PV-Anlagebesitzer zu fördern, hat die Kombination von Fotovoltaik und lokalem Batteriespeicher starken Aufwind erhalten. Die diesjährige Augustausgabe des Solarstrommagazins «Photon» [2] stellte eine ganze Reihe von neuen Produkten vor, die Backupfunktionen übernehmen können. Nebst der reinen Backupfunktion fällt eine weitere Funktion auf: Künftige Backupwechselrichter werden nicht nur Stromausfälle überbrücken können, sondern in das Energiemanagement eines Haushalts eingreifen und damit die Möglichkeit bieten, die Verteilnetze zu entlasten.

### Referenzen

[1] Ch. Bucher, C. Schönenberger, P. Toggweiler, S. Stettler: Praxistest eines Photovoltaik-Backup-Wechselrichters in der Schweiz, BFE-Projektnummer 153047, Bern, 2011.

[2] Photon – das Solarstrom-Magazin, Aachen (Deutschland), Ausgabe August 2011, S.114 ff.

### Angaben zu den Autoren

**Christof Bucher**, MSc ETH ETIT, ist externer Doktorand am Institut für Elektrotechnik und Informationstechnologie (ITET) der ETH Zürich, wo er die Netzintegration von Fotovoltaikanlagen untersucht. Angestellt bei Basler & Hofmann, ist er seit drei Jahren in der Planung von Fotovoltaikanlagen tätig.

**Basler & Hofmann AG, 8032 Zürich**  
christof.bucher@baslerhofmann.ch

**Peter Toggweiler** arbeitet seit rund 30 Jahren als Fachplaner, Forscher und Entwickler auf dem Gebiet der Fotovoltaik. Viele Jahre davon war und ist er aktives Mitglied vom TK 82, 2008 übernahm er als Nachfolger von Markus Real den Vorsitz. Seit 2009 arbeitet er als leitender Experte bei Basler & Hofmann.

**Basler & Hofmann AG, 8032 Zürich**  
peter.toggweiler@baslerhofmann.ch

<sup>1</sup> Auf die von EN 50160 verlangten Oberschwingungsmessungen über eine längere Zeitdauer wurde bei diesem Projekt verzichtet.

Anzeige



**Die einfache Lösung für Ihr NISV-Problem**  
– wir reduzieren die Felder an der Quelle  
auf ein Minimum.

**RAUSCHER**  
**STOECKLIN**

**Rauscher & Stoecklin AG**  
Reuslistrasse 32, CH-4450 Sissach  
T +41 61 976 34 66, F +41 61 976 34 22  
info@raustoc.ch, www.raustoc.ch