

# Felderfahrung mit AC-gekoppelten Hybridsystemen

Der Sunny Island ist der erste modulare Inselnetzwechselrichter, bei dem die Kopplung von verschiedensten Einspeisern (Photovoltaikanlagen, Windenergieanlagen, Stromerzeugungsaggregaten, Blockheizkraftwerken, Kleinstwasserkraftwerken) auf der Wechselspannungsseite (AC-Kopplung) vorgesehen ist. Den konzeptionellen Unterschied zur Zusammenschaltung auf der Gleichspannungsseite (DC-Kopplung) im Aufbau der Systeme zeigt Abbildung 2.

Neu ist ebenfalls die Möglichkeit, die Sunny Islands oder auch 3-phasige Systeme auf der AC-Seite spannungsgeregelt parallel zu schalten [1]. Dies ist gelungen durch ein neues, in Kooperation mit dem Institut für solare Energieversorgungstechnik e.V. (Iset) entwickeltes Verfahren (Droop-Mode) zum kommunikationslosen Parallelbetrieb von Stromrichtern mit Spannungsquellencharakteristik.

Hierfür wurde das für die Kopplung von Synchronmaschinen typische regelungstechnische Verhalten den Stromrichtern mittels einer sehr schnellen, digitalen Regelung eingepreßt. Bei diesem Verfahren ist die Wirkleistung über eine Statik von der Netzfrequenz und die Blindleistung von der Netzspannung abhängig. Den genauen Zusammenhang gibt Abbildung 3 wieder. Der Parallelbetrieb ermöglicht, diese Systeme in der Leistung beliebig zu skalieren und bei steigender Verbraucherleistung einfach zu erweitern.



Dipl.-Ing.  
Martin Rothbert

Anschrift der Autoren:  
SMA Regelsysteme  
GmbH,  
Hannoversche Str. 1 - 5,  
34266 Niestetal,  
Tel. 0561/9522-322,  
Fax 0561/9522-104,  
E-Mail:  
martin.rothbert@SMA.de



Abbildung 1: Ein Teil der PV-Anlage eines Hybrid-Systems auf der griechischen Insel Kythmos

Die Vorteile der AC-Kopplung sowie der Parallelschaltung von mehreren modularen Inselnetzwechselrichtern auf der AC-Seite sind vor allem:

- Struktur 100 Prozent kompatibel zum öffentlichen Netz,
- einfache Installation, da Standardkomponenten (Verbraucher, Installationstechnik etc. für 230 V AC) aus der Hausinstallation verwendet werden können,
- Leistungsaddition aller ins Netz einspeisender Komponenten,
- beliebig skalierbar und auch für größere Systeme (von 3 kW bis in den Megawatt Bereich) einsetzbar,
- problemlos auf allen Ebenen erweiterbar,

- mit netzparallelen und netzbildenden Energieerzeugern (Dieselaggregaten, Kleinwasserkraftwerken, Windenergieanlagen etc.) kombinierbar,
- Aufbau von verteilten Systemen und
- höchste Zuverlässigkeit durch redundanten Systemaufbau.

## 100 installierte Hybridsysteme

Bis heute laufen über 100 Anlagen in 14 unterschiedlichen Ländern verteilt auf vier Kontinente. Bei den bisher installierten Anlagen handelt es sich zu zirka 90 Prozent um reine Inselnetzsysteme, bei den restlichen 10

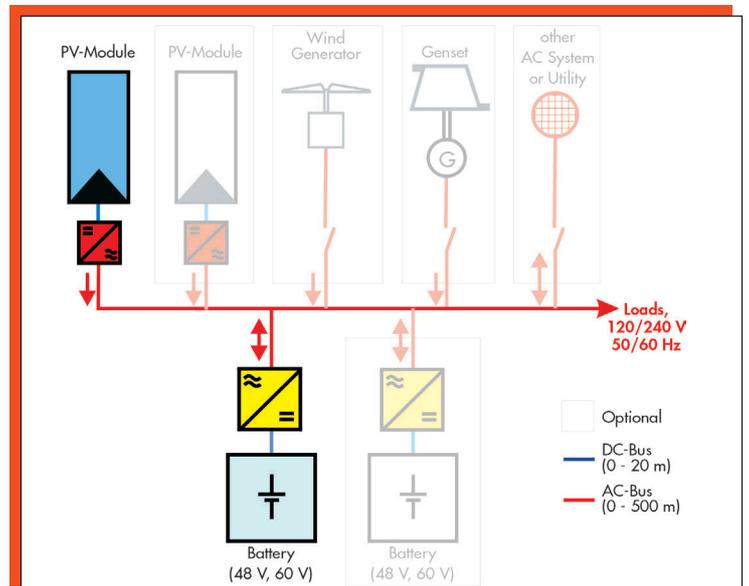
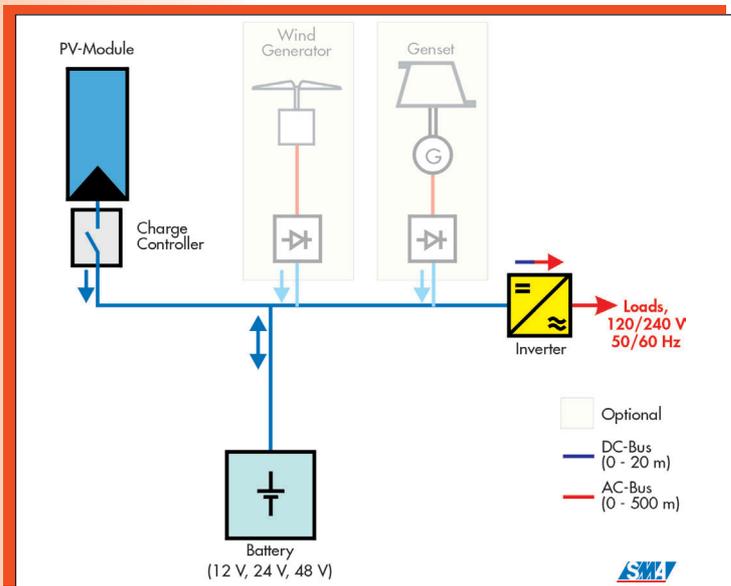


Abbildung 2: Blockschaltbild für ein DC-gekoppeltes (links) und ein AC-gekoppeltes (rechts) Hybrid-System

Prozent wird entweder ein nur selten vorhandenes öffentliches Netz mit in das Hybridsystem eingebunden, oder es handelt sich um so genannte Netzersatzanlagen. In zirka 75 Prozent aller Fälle wird ein Dieselaggregat genutzt. Etwa die Hälfte aller Systeme sind 3-phasig aufgebaut und bei bereits acht Prozent der Anlagen wird zusätzlich Wind zur Stromerzeugung verwendet.

Eine erste 3-phasige Anlage auf einer Alpenhütte (Kemptner Hütte) gekoppelt mit einer 10-kW-Wasserturbine ist seit Anfang Juli 2003 erfolgreich in Betrieb. Dabei wird der Sunny Island im Droop Mode parallel mit dem Synchrongenerator des Wasserkraftwerks betrieben. Reichen die 10 kW des Wasserkraftwerkes nicht aus, alle Lasten zu versorgen, liefert der Sunny Island aus den Batterien zusätzliche Energie ins Netz. Können auf der anderen Seite nicht die vollen 10 kW des Wasserkraftwerkes von den Verbrauchern genutzt werden, lädt der Wechselrichter seine Batterien wieder auf. Neben dem Vorteil der deutlich höheren Nennleistung des Systems durch die Leistungsaddition des Wasserkraftwerks und der drei Batteriestromrichter ist es gelungen, die Stabilität bei Lastsprüngen deutlich zu verbessern. Zirka 80 bis 90 Prozent der Leistung bei Lastsprüngen wird nun vom Sunny Island mit seiner hohen Überlastfähigkeit geliefert, so dass große Lastsprünge nicht mehr zu einem Abschalten der Turbine mit Unterfrequenz führen. Die Leistungsaufteilung zwischen Wechselrichter und dem Wasserkraftwerk sowie die resultierende Netzfrequenz und Spannung wird vom Sunny Island geregelt. Ergebnisse zeigt Abbildung 4. Dabei ist zu beachten, dass aufgrund der langanhaltenden Trockenheit in diesem Sommer das Wasserkraftwerk am Tag der Messung nur noch über eine Leistung von zirka 3,5 kW verfügte. Tagsüber musste deshalb für einige Stunden ein Dieselgenerator zusätzlich genutzt werden. Nach Regenfällen in den letzten Wochen stehen jetzt die 10 kW von der Wasserturbine wieder zur Verfügung, so dass die Hütte auch vollkommen ohne Dieselgenerator mit elektrischer Energie versorgt werden kann.

Der Sunny Island zeichnet sich auch durch ein Batteriemanagement aus, das neben einer genauen Ladezustandsanzeige und einem optimierten Lademanagement auch die Berechnung des Batteriezustandes – einer Misch-

größe aus Lade- und Gesundheitszustand – durchführt. Auf diesen Informationen aufbauend kann er Lastzu- oder -abschaltungen, Start oder Stopps von externen Generatoren, Abschaltungen von weiteren Einspeisern (zum Beispiel Windenergieanlagen), Regelung der Photovoltaik-Leistung und einiges mehr selbst steuern. Die Managementfunktionen haben dabei sowohl auf die Anlagenperformance als auch auf die Zuverlässigkeit des Systems einen hohen Einfluss. Vorteile dieser Managementfunktionen sind zum Beispiel ein sicherer Anlagenbetrieb auch beim Ausfall einer Komponente wie dem Dieselgenerator oder auch eine deutlich verlängerte Batterielebensdauer.

### Die Zukunft der ländlichen Elektrifizierung

Um entlegene ländliche Gebiete zu elektrifizieren, hat sich die Solarenergie in den letzten Jahren immer stärker als Alternative zu einem Netzausbau oder reinen Dieselstromerzeugern durchgesetzt. Schwierig war allerdings bislang, dass kaum ein Photovoltaik- oder Hybridsystem alle Anforderungen an Flexibilität, Zuverlässigkeit und Erweiterbarkeit erfüllen konnte. So wurden häufig viele kleine Systeme installiert, statt die elektrische Versorgung zu bündeln und kleine Versorgungsnetze aufzubauen. Dies ist hauptsächlich auf die bislang fehlenden technischen Möglichkeiten zurückzuführen. Die neue Systemtechnik der AC-Kopplung zusammen mit dem kommunikationslosen Parallelbetrieb von spannungsgeregelten Energieerzeugern (Droop-

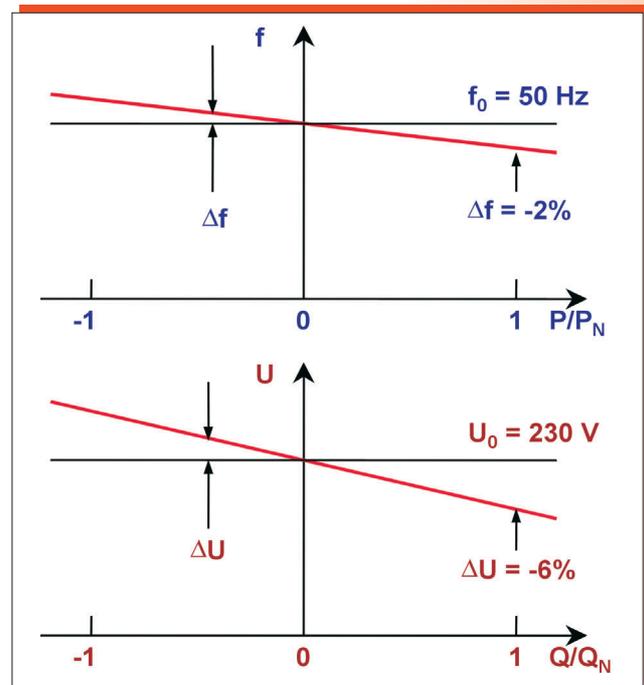


Abbildung 3: Frequenz- und Spannungsstatik für den Parallelbetrieb

Mode) setzen hier neue Maßstäbe. Diese Systeme können fast beliebig skaliert, später einfach erweitert und mit vielen unterschiedlichen Energieerzeugern kombiniert werden. Auch bei einem späteren Netzausbau behalten sie ihren Wert, da sie dann mit Funktionen wie Netzstützung und Netzersatz weiter sinnvoll betrieben werden können. Neben der Versorgung mit elektrischer Energie für Licht, Radio und Fernsehen, können sie zum Beispiel auch die Versorgung von Werkstätten, Krankenhäusern und öffentlichen Einrichtungen übernehmen. Hierdurch lässt sich in den Dörfern selber eine Wertschöpfung erzielen, die mit vielen einzelnen Solar-Home-Systemen nicht erreichbar ist.

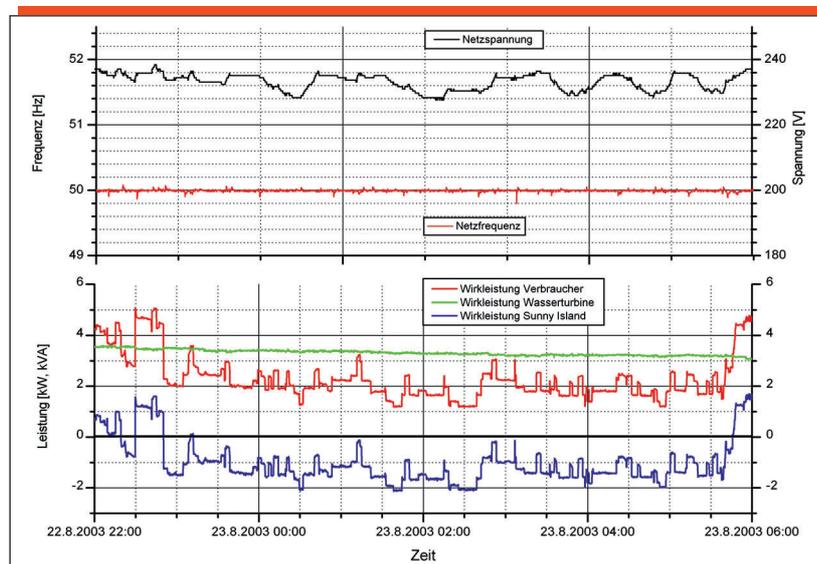


Abbildung 4: Messergebnisse von der Kemptner-Hütte (3-phasiges Sunny Island System mit einer 10-kW-Wasserturbine)

## Auslegung von Hybridsystemen

Der Einfluss der Systemauslegung auf die Stromgestehungskosten von Hybridsystemen soll exemplarisch an der Abbildung 5 kurz dargelegt werden. Die wichtigsten Auslegungsparameter sind die benötigte Speichergröße und die solare Deckungsrate für ein Hybridsystem. Bei unterschiedlichen Auslegungen dieser Parameter im durchaus üblichen Rahmen von 0,5 bis 5 Tagen Autonomie mittels Batteriespeicher und einer solaren Deckungsrate von 60 bis 100 Prozent variieren die Stromgestehungskosten bei diesem System bereits zwischen 0,8 €/kWh und 1,4 €/kWh. Dies bedeutet für ein falsch ausgelegtes System bis zu 75 % höhere Stromgestehungskosten als bei einer Auslegung nach einer wirtschaftlichen Optimierung. Im Moment erfordert die richtige Systemauslegung noch viel Erfahrung und ein gewisses Expertenwissen. Deshalb wird zur Zeit an einem einfachen computergestützten Auslegungstool gearbeitet, um eine wirtschaftlich optimale Systemauslegung deutlich zu vereinfachen.

Mit der Einführung der so genannten Sunny Island System Kits im Juni diesen Jahres ist jetzt die Planung von Hybridsystemen wesentlich vereinfacht worden. Alle für ein Hybridsystem notwendigen Komponenten wurden hierfür optimal aufeinander abgestimmt und können nun aus einer Hand bezogen werden. Neben der vereinfachten Planung lässt sich so auch der Zeitaufwand für die Installation und die Inbetriebnahme reduzieren. Aus vier Basispaketen und verschiedenen Erweiterungen können über 16 unterschiedliche Versorgungssysteme zusammengestellt werden. Ein System Kit besteht dabei immer aus dem Sunny Island, einer Batterie sowie den notwendigen Installationskomponenten. Zwei Kits enthalten zusätzlich bereits einem Dieseldieselgenerator oder ein Blockheizkraftwerk.

## Ausblick

Die AC-Kopplung hat sich in den letzten Jahren in vielen Systemen weltweit bewährt und die Vorteile dieser Technik für unterschiedlichste Anwendungen aufgezeigt. Speziell werden auch die Anforderungen, der ländlichen Elektrifizierung an eine zukunftssichere und flexible Stromversorgung erfüllt. Durch den Einsatz von über 80 Sunny Island in einem neuen Projekt zur Dorfstromversorgung von 27 unter-

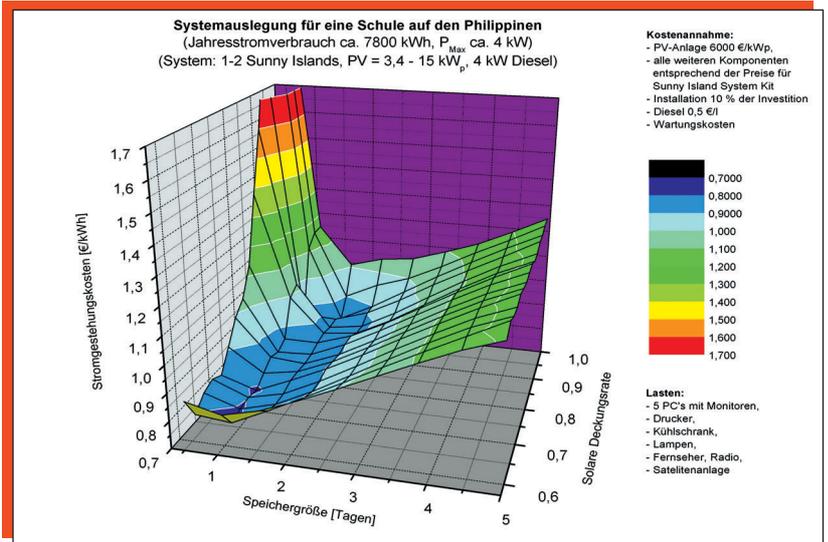


Abbildung 5: Ergebnisse einer beispielhaften, wirtschaftlich optimierten Systemauslegung

schiedlichen chinesischen Dörfern wird dies bestätigt. Viele weitere geplante oder in der Diskussion befindliche internationale Projekte zeigen, dass diese Systemtechnik ihre Stellung in den nächsten Jahren noch deutlich ausbauen wird. Durch die Modularität ist es dabei einfacher geworden, die Systeme optimal auf eine Anwendung abzustimmen, und somit die Stromgestehungskosten signifikant zu senken.

## Zusammenfassung

Ziel der Entwicklung war, eine neue Generation eines Batteriestromrichters zu entwickeln, der optimal für den Einsatz in Hybridsystemen und Dorfstromversorgungen geeignet ist. Dabei wurde mit dem Konzept der AC-Kopplung ein völlig neuer Weg beschritten. Zwei Jahre nach der Markteinführung und mehr als 100 realisierten Systemen in 14 Ländern weltweit, konnten die Vorteile dieser neuen Generation von

Hybridsystemen belegt werden. Die Flexibilität, die Zuverlässigkeit, die in diesem kleinen Leistungsbereich neue Systemsteuerung und Überwachungsfunktionalität, machen dieses Hybridsystem zu einer zukunftssicheren und wirtschaftlichen Investition. Durch das neue Konzept und die vielfältigen und einfachen Erweiterungsmöglichkeiten ergeben sich heute vollkommen neue technische Möglichkeiten im Bereich der ländlichen Elektrifizierung.

Dipl.-Ing. Günther Cramer,  
Dipl.-Ing. Martin Rothert ■

## Literatur

[1] Engler, A.; Hardt, C.; Bechtel, N.; Rothert, M.; Next Generation of AC Coupled Hybrid Systems – 3 Phase Parallel Operation of Grid Forming Battery Inverters; 2nd European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference; Kassel Sep. 2003



Dipl.-Ing.  
Günther Cramer