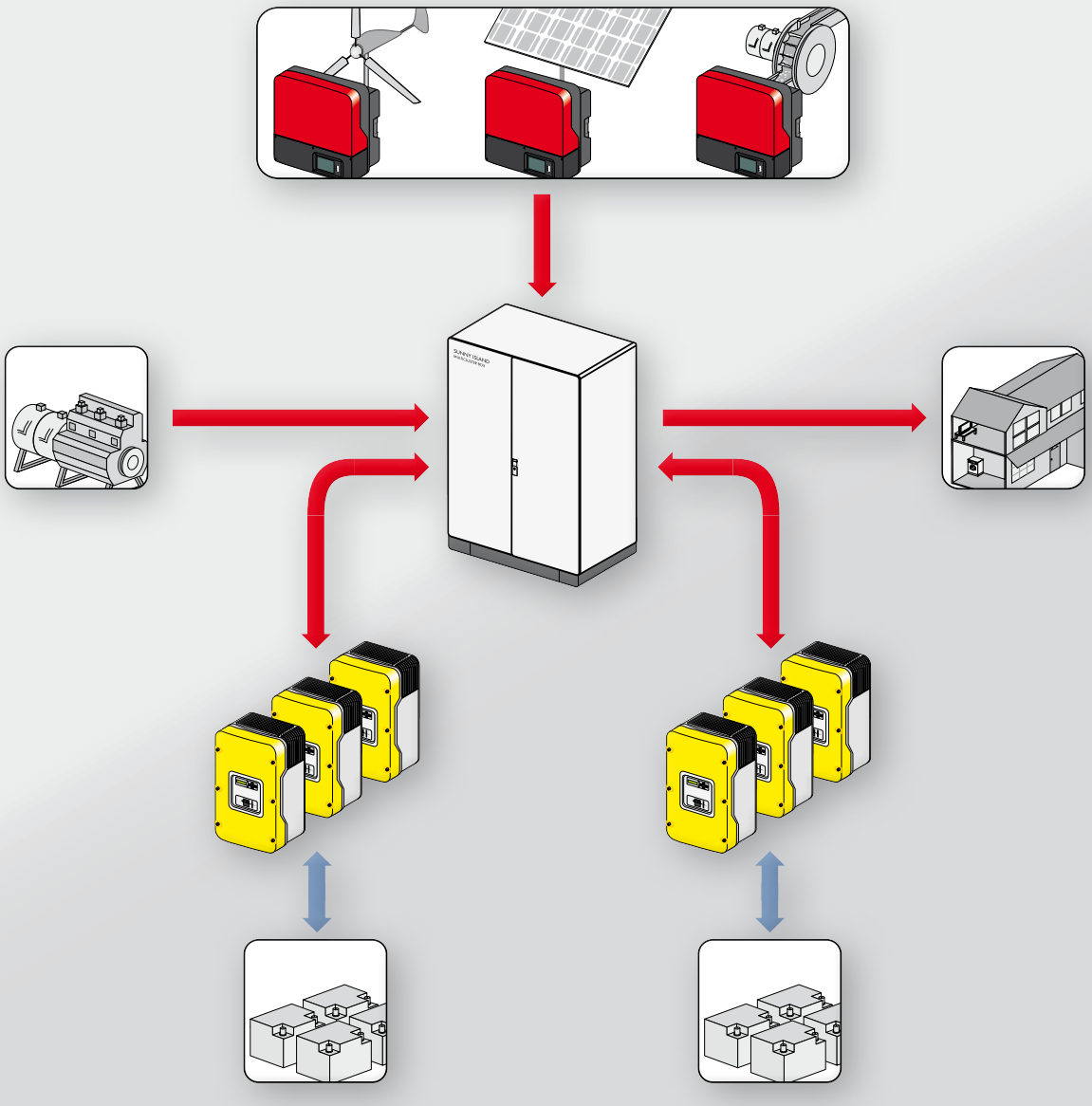
SMA Multicluster-Technologie



Der Weg zum eigenen Stromnetz

Kurzfassung

Inselsysteme auf Wechselstrom-Basis eröffnen die Möglichkeit, völlig unabhängig vom Verbundnetz eine stabile und leistungsfähige Energieversorgung aufzubauen. Ein solches Inselstromnetz bietet nicht nur die von großen Verbundnetzen gewohnte Versorgungsqualität. Durch den modularen Aufbau lässt es sich auch sehr einfach installieren und nahezu beliebig erweitern. Durch die Integration erneuerbarer Energiequellen, die Brennstoffkosten vermeiden und zudem laufend wirtschaftlicher werden, sind solche Systeme insgesamt schon heute günstiger als eine rein konventionelle Versorgung mit Dieselgeneratoren. Die vorliegende Broschüre erläutert die technischen Grundlagen der Inselstromversorgung und zeigt Aufbau und Funktionsweise am Beispiel eines großen Hybridsystems mit rund 270 kW installierter Erzeugungsleistung.

Warum Wechselstrom?

Basis der modularen Inselstromversorgung von bis zu 300 kW ist die sogenannte AC-Kopplung. Im Gegensatz zur DC-Kopplung sind hierbei sämtliche Energiequellen und -verbraucher über ein Wechselstromnetz verbunden, was eine Reihe von Vorteilen bietet: Verbraucherseitig können handelsübliche und damit preiswertere Wechselstromgeräte eingesetzt werden. Auf der Erzeugungsseite lassen sich beliebige erneuerbare oder konventionelle Energiequellen einbinden. Wechselstromnetze kann man ohne spezielles Fachwissen und aus überall verfügbaren Standardkomponenten aufbauen. Und nicht zuletzt sind diese wesentlich günstiger, denn verglichen mit Komponenten für Gleichstromnetze, müssen sie in der Regel zwar höhere Spannungen, aber deutlich geringere Stromstärken verkraften. Es gibt auch erheblich mehr Freiheitsgrade bei der Planung, da selbst größere räumliche Distanzen zwischen Erzeugern, Speichern und Verbrauchern unproblematisch realisierbar sind. Hinzu kommt, dass der Anschluss von Erzeugern und Verbrauchern in Wechselstromnetzen de facto an beliebigen Anschlusspunkten möglich ist – optimale Bedingungen für eine nachträgliche Erweiterung.

Sunny Island: Der Netz- und Batteriemanager

Zentrale Komponente des Inselstromnetzes ist der Batterie-Wechselrichter Sunny Island. Als Netzbildner und Netzmanager ist er für die Stabilität des AC-Netzes verantwortlich und hält Spannung und Frequenz ständig innerhalb der zulässigen Grenzwerte. Überschüssige Energie speichert er in der Batterie, im umgekehrten Fall versorgt der Sunny Island das Netz mit Batteriestrom. Es handelt sich also um einen bidirektionalen Batterie-Wechselrichter, häufig auch als Wechselrichter/Batterielader-Kombigerät bezeichnet. Derartige Geräte sind besonders wirtschaftlich, da beide Funktionen durch dieselben Leistungshalbleiter gewährleistet werden.

Neben dem Netzmanagement verfügt der Sunny Island auch über ein hochentwickeltes Batteriemanagement – Überwachungsfunktionen inklusive. So kennt er jederzeit den genauen Ladezustand und trifft als Systemmanager auch weitergehende Entscheidungen. Bei leeren Batterien und gleichzeitig geringer Erzeugungsleistung kann er eine jederzeit verfügbare Backup-Energiequelle (z. B. einen Dieselgenerator) aktivieren oder auch bestimmte Verbrauchslasten abschalten. Zudem bestimmt er die optimale Strategie für das Laden der Batterie und verlängert so ihre Lebensdauer. Darüber hinaus bietet das kompakte Gerät spezielle Funktionen, die auf die besonderen Anforderungen von Inselstromnetzen abgestimmt sind.

Automatische Blindleistungskompensation

Mit einer möglichen Phasenverschiebung von −90 Grad bis +90 Grad (Verschiebungsfaktor von 0 bis $1_{\text{induktiv/kapazitiv}}$) kann der Sunny Island bei Bedarf seine gesamte Nennleistung in Blindleistung umsetzen. Damit ist er in der Lage, Phasenverschiebungen im Inselnetz auszugleichen, die durch induktive bzw. kapazitive Lasten (z. B. Motoren, Transformatoren, Kabelstrecken) verursacht werden.

Erzeugungsmanagement per Fernsteuerung

Bei vollen Batterien und geringem Strombedarf drosselt der Sunny Island die Stromproduktion aller erneuerbaren Erzeuger – ob Solarstrom-, Wasser- oder Windkraftanlagen. Einzige Voraussetzung: Bei den Wechselrichtern handelt es sich um SMA Geräte und ihr Inselnetz-Modus ist aktiviert. In diesem Fall trennen sich die Geräte bei steigender Frequenz nicht mehr vom Netz, sondern reduzieren stufenlos ihre Leistung. Als Netzmanager, der die Frequenz im Inselnetz vorgibt, kann der Sunny Island so die Leistung sämtlicher Erzeuger begrenzen und das Netz jederzeit im energetischen Gleichgewicht halten – ohne zusätzliche Kommunikationsleitungen.

Extreme Überlastfähigkeit

Beim Einschalten bestimmter Verbrauchslasten fließen oft hohe Anlaufströme, die den eigentlichen Betriebsstrom deutlich übersteigen können. Hinzu kommt, dass einige Verbraucher lediglich für einen kurzen Moment sehr viel Energie benötigen, also kurze Spitzen auf dem Lastprofil bilden. Für die Dimensionierung von Inselsystemen ist die hohe Überlastfähigkeit der Batteriewechselrichter extrem wichtig, denn damit lassen sich solche Lastspitzen problemlos abfangen. Der Sunny Island 5048 leistet für 30 Minuten 6,5 kW, für eine Minute 8,4 kW und für drei Sekunden sogar 12 kW – also etwa das Zweieinhalbfache seiner Nennleistung.

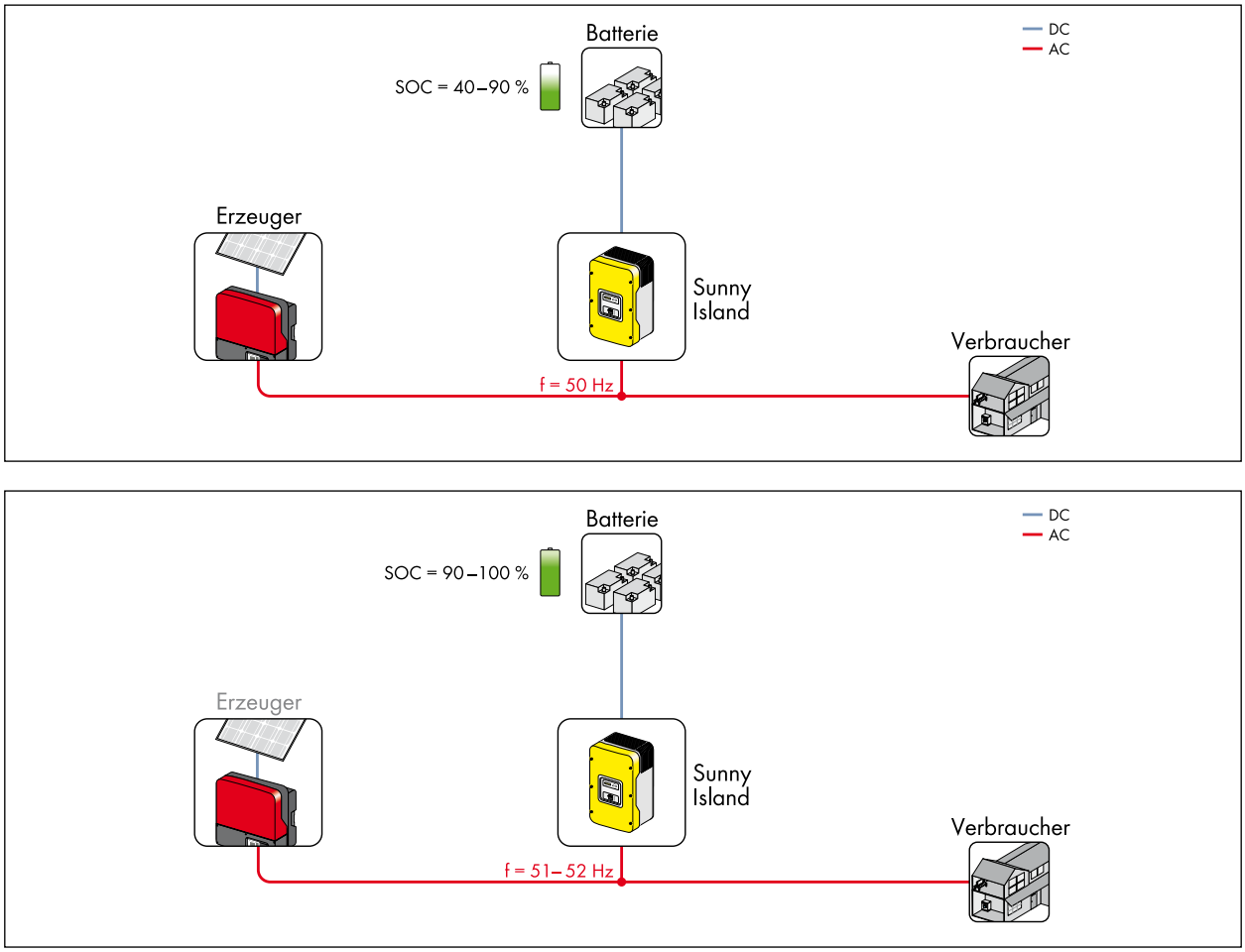


Abb. 1: Bei einem Ladezustand unter 90 Prozent können Leistungsüberschüsse jederzeit mit der Batterie aufgefangen werden. Bei voll geladener Batterie und Leistungsüberschüssen erhöht der Sunny Island die AC-Frequenz. Die Erzeuger reduzieren daraufhin stufenlos ihre Leistung.

Drei Phasen, kein Problem

Zur Übertragung größerer Leistungen in Wechselstromnetzen hat sich ein dreiphasiger Aufbau bewährt – das gilt für große Verbundnetze ebenso wie für Inselnetze. Der Vorteil: Durch die Überlappung der phasenverschobenen Einzelleistungen steht dreiphasigen Verbrauchern eine quasi kontinuierliche Leistung zur Verfügung. Auch die Generatoren in Dieselaggregaten oder Windkraftanlagen geben ihre Leistung meist dreiphasig ab.

Zwar lassen sich auch einphasige Systeme bis 20 kW Batterie-Wechselrichter-Leistung realisieren (Parallelschaltung von vier Sunny Island 5048 auf einer Phase). Bei größeren Leistungen kommen aber generell dreiphasige Inselnetze zum Einsatz. Dazu werden je drei Sunny Island-Wechselrichter zu einem dreiphasigen Cluster verbunden. Ein Gerät gibt als Master die Frequenz vor, die beiden „Slaves" richten sich nach dieser Frequenz und arbeiten exakt um 120 bzw. 240 Grad phasenverschoben. Die Synchronisation erfolgt über eine spezielle Kommunikationsverbindung zwischen den Geräten. Ein weiterer Vorteil dieser Verbindung ist, dass die Konfiguration des gesamten Clusters allein über den Master-Wechselrichter erfolgen kann. Ist das System fertig verkabelt und konfiguriert, funktioniert ein dreiphasiges Inselnetz ebenso problemlos wie die einphasige Variante. Auch eine asymmetrische Netzbelastung durch einphasige Verbraucher wird automatisch ausgeglichen, indem der Wechselrichter der stärker belasteten Phase entsprechend mehr Leistung aus der Batterie zieht.

Selbst ein völlig asymmetrischer Betrieb ist möglich, zum Beispiel Solarstromeinspeisung auf Phase 1 und Verbrauch auf Phase 3. Da die Energie in diesem Fall zusätzlich zwei Sunny Island-Wechselrichter durchlaufen muss, ist eine möglichst symmetrische Aufteilung von Lasten und Erzeugern aus Effizienzgründen dennoch vorteilhaft.

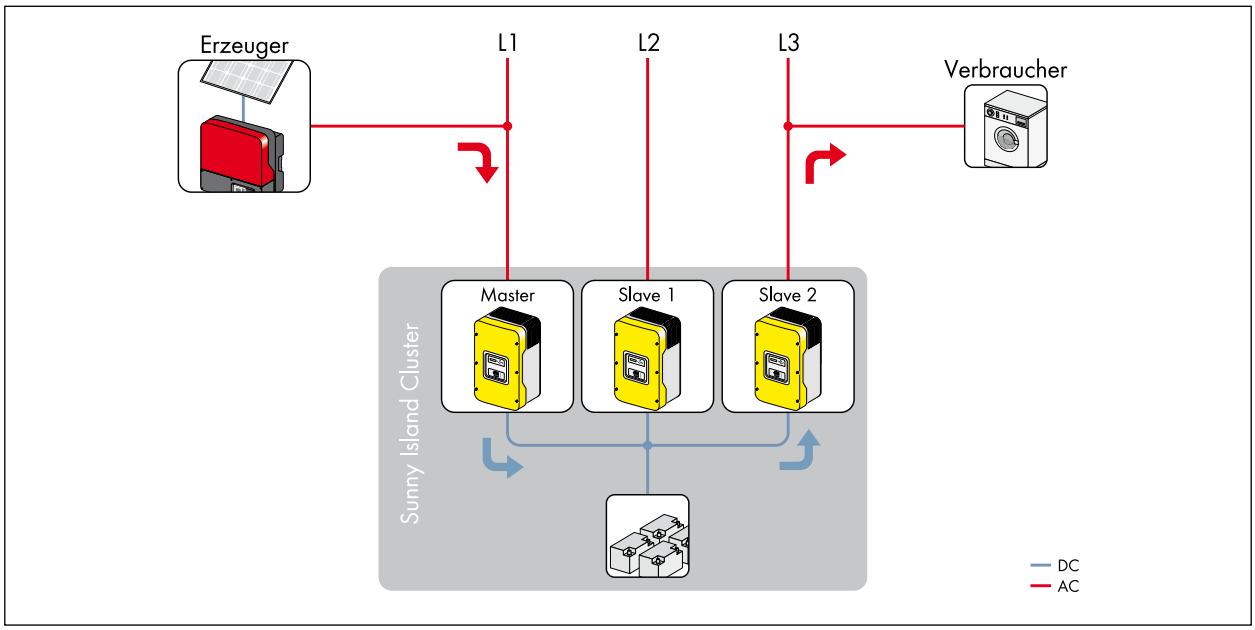


Abb. 2: Problemlos möglich ist die asymmetrische Belastung des dreiphasigen Netzes

Kleiner Aufwand für große Systeme

Der besondere Vorteil der Off-Grid-Systemtechnik von SMA liegt in ihrem modularen Konzept: Anlagen jeder Leistungsklasse werden aus vergleichsweise kleinen und einfach handhabbaren Komponenten aufgebaut. Transport und Montage sind daher selbst an abgelegenen Standorten unproblematisch zu bewerkstelligen. Durch die Aufteilung der Wechselrichter-Leistung in Cluster, also Gruppen aus jeweils drei Geräten, ist der Planer bei der Systemleistung hoch flexibel: Sie lässt sich durch Parallelschaltung mehrerer Cluster nahezu beliebig skalieren, eine nachträgliche Erweiterung des Inselsystems ist ebenfalls einfach möglich. Da der grundsätzliche Aufbau identisch und die eingesetzten Geräte immer die gleichen sind, können einmal geschulte Servicekräfte Anlagen jeder Größe konfigurieren, bedienen und warten.

Kernelement der modularen Systeme ist neben dem Batterie-Wechselrichter Sunny Island die Multicluster Box: Sie sorgt für die einfache Verschaltung sämtlicher Komponenten zu einem speichergestützten Wechselstromnetz mit unterschiedlichsten Stromerzeugern. Die Multicluster Box ist in drei Leistungsklassen erhältlich, fertig verdrahtet und enthält alle notwendigen Schaltorgane und Überwachungseinrichtungen. Damit lassen sich Inselsysteme in einem Leistungsbereich von 15 kW bis 300 kW realisieren.

Leistung nach Maß: Die Multicluster Box

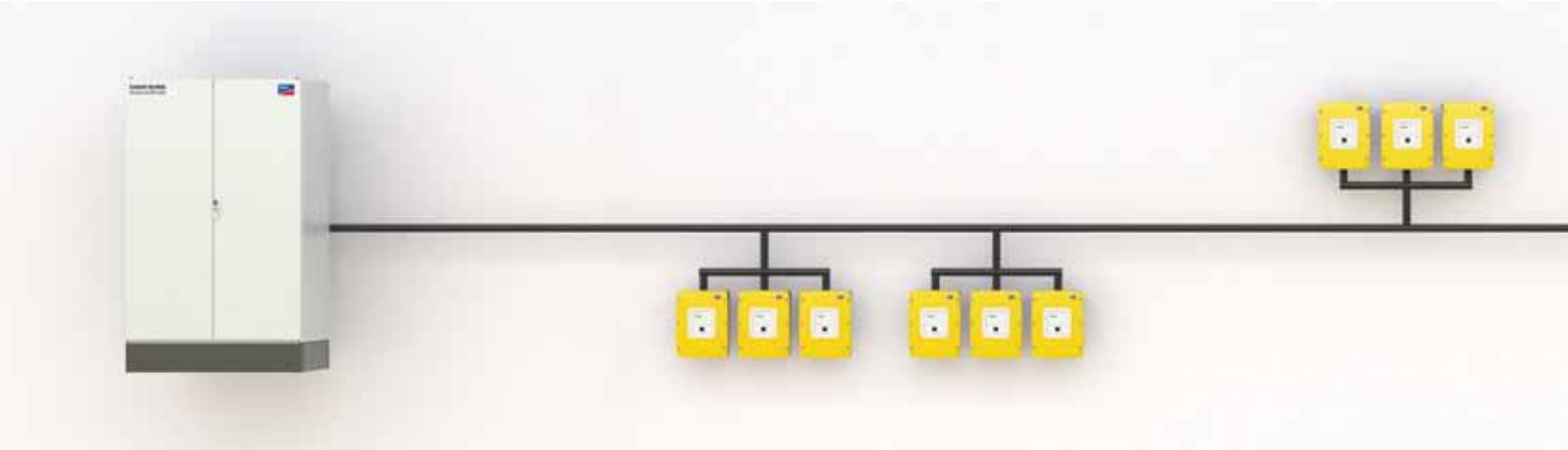
Zentrales Element der Multicluster-Technologie ist die in drei Leistungsklassen erhältliche Multicluster Box. Als vorkonfigurierte AC-Verteilung ermöglicht sie die einfache Verbindung sämtlicher AC-Komponenten des Inselstromnetzes: Generator, erneuerbare Erzeugungsanlagen (z. B. Photovoltaik, Windkraft, oder Wasserkraft), Verbraucher sowie zwei bis zwölf Cluster aus jeweils drei Sunny Island-Wechselrichtern. Die unterschiedlichen Multicluster Boxen unterscheiden sich lediglich in der Anzahl der anzuschließenden Cluster und einer entsprechend stärkeren Auslegung aller stromführenden Bauteile. Der Aufbau ist übersichtlich: Es gibt Anschlüsse für jeden Sunny Island-Wechselrichter sowie Hauptanschlüsse für einen Generator, die erneuerbare Erzeugungsanlage und die Verbraucher. Für die beiden letzteren sind meist noch Unterverteilungen nötig, die jedoch individuell zu planen sind.

Mehrfache Sicherheit: Generator- und Lastabwurfschütz

Sowohl für den Verbraucher- als auch für den Generatoranschluss ist bereits ein Leistungsschütz in die Verteilung integriert. Das Generatorschütz dient zum Aufschalten netzbildender Generatoren, wie sie zum Beispiel in leistungsstärkeren Dieselaggregaten oder Blockheizkraftwerken zum Einsatz kommen. Im Gegensatz zu netzparallel arbeitenden Erzeugern können sie sich nicht auf ein vorhandenes Netz synchronisieren, daher gibt in diesem Fall der Generator die Netzparameter vor. Der Clusterverband der Sunny Island-Wechselrichter passt sich entsprechend an – sobald Spannung und Frequenz vor und hinter dem Generatorschütz übereinstimmen, wird die Verbindung hergestellt.

Bei einem Ausfall oder der Abschaltung der Sunny Island-Cluster schließt das Generatorschütz selbst-

Multicluster Box 6 für maximal 2 Cluster **MC-Box 12 für 3 ...**

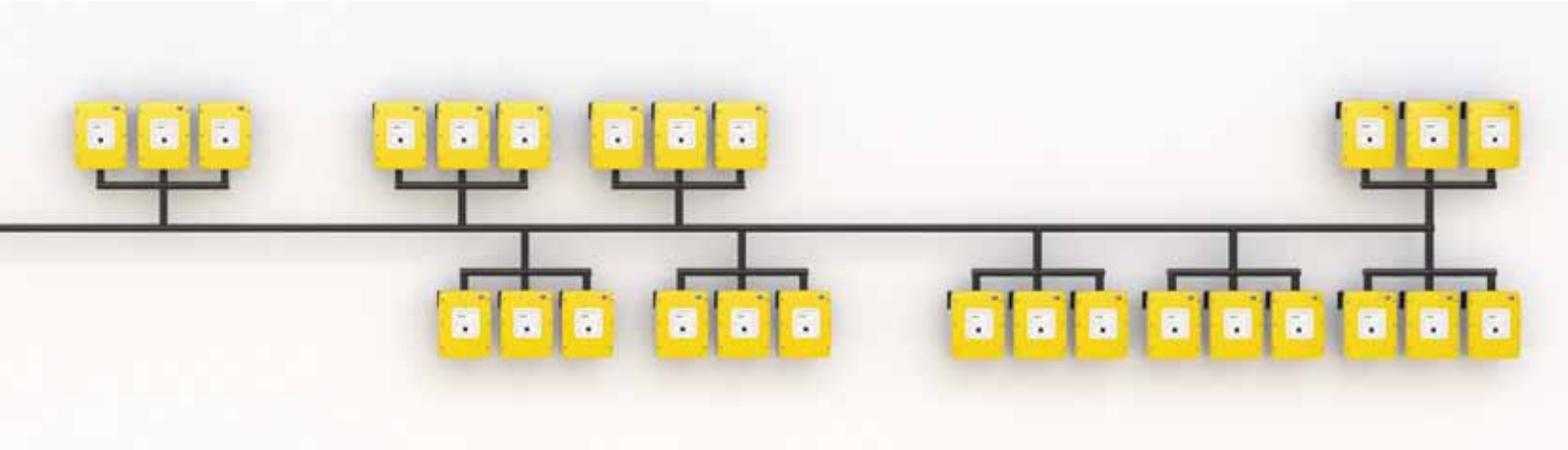


tätig, so dass der Generator direkt mit den angeschlossenen Verbrauchern verbunden ist. Bei einem Generatorfehler trennt sich das System hingegen blitzschnell und hält die Versorgung mit Batteriestrom und den verfügbaren erneuerbaren Erzeugern aufrecht. Somit ist auch bei Ausfall einer Komponente ein sicherer Betrieb gewährleistet.

Wenn es zu einem längerfristigen Generatorausfall kommt und die regenerativen Quellen nicht ausreichend Energie für eine vollständige Versorgung der Verbraucher liefern, wird zunächst die in der Batterie gespeicherte Energie genutzt. Beim Erreichen einer unteren Entladeschwelle öffnet das Schütz auf der Verbraucherseite und schaltet die Leitung frei, so dass eine Tiefentladung der Batterien und das Abschalten des Clusterverbandes sicher verhindert werden. Stattdessen bleibt das System aktiv und nutzt die anfallende Sonnen-, Wind- oder Wasserenergie zum Nachladen der Batterie. Erst bei ausreichend hohem Ladezustand werden die Verbraucher automatisch wieder zugeschaltet. So sind selbst bei einem größeren Fehler die maximale Versorgungssicherheit sowie der Schutz der Batterie gewährleistet.

Ein Lastmanagement, etwa zur Vermeidung unnötiger Spitzenlasten, lässt sich hingegen über die Multifunktionsrelais der Sunny Island-Wechselrichter realisieren: An jedem Gerät des Main Clusters stehen zwei Relais zur Verfügung, denen über das Gerätemenü eine von 17 Funktionen zugeordnet werden kann. Neben dem Starten des Generators bei niedrigem Batterieladezustand ist es auch möglich, einzelne Verbraucher über ein separat zu installierendes Schütz zu schalten.

... oder 4 Cluster | **MC-Box 36 für 5, 6, 7, 8 ...** | **... 9, 10, 11 oder 12 Cluster**



Flache Hierarchie: Wechselrichter im Clusterverband

Bei bis zu 36 Sunny Island-Wechselrichtern im Inselnetz ist eine ordnende Struktur unverzichtbar, um die effektive Steuerung des Inselnetzes zu gewährleisten. Wie schon erwähnt, besteht jeder der maximal zwölf Cluster aus drei Wechselrichtern – einem Master und zwei Slaves. Jedem dieser dreiphasig arbeitenden Cluster ist eine eigene Teilbatterie zugeordnet, die von ihm kontrolliert und überwacht wird.

Darüber hinaus ist einer der Cluster als Main Cluster definiert. Das entsprechende Main Master-Gerät steuert das gesamte System und kommuniziert dazu auch mit der Multicluster Box. Unterstützt wird der Main Cluster von bis zu elf Extension Clustern, die wiederum aus jeweils einem Master und zwei Slaves bestehen. Insgesamt unterscheidet man also vier Hierarchieebenen (Geräteanzahl in Klammern): Main Master (1), Main Slave (2), Extension Master (1–11) und Extension Slave (2–22).

Messen und Steuern: Kommunikationsverbindungen

Neben den Schützen beinhaltet die Multicluster Box auch zwei Kommunikationsschnittstellen für die Verbindung mit dem Main Cluster. Einserseits werden Stromstärke, Spannung und Frequenz am Generatoranschluss an die drei Wechselrichter des Main Clusters übertragen. Benötigt werden die Daten unter anderem für die Synchronisation der Sunny Island-Cluster auf den Generator.

Zur Ansteuerung der Schütze ist die Multicluster Box andererseits an den internen Kommunikationsbus des Main Clusters angeschlossen. Darüber hinaus sind sämtliche Master-Wechselrichter des Systems noch miteinander verbunden. Über diesen Multicluster-Bus werden Informationen über die jeweilige Cluster-Leistung, den Batterieladezustand und die Sollfrequenz ausgetauscht.

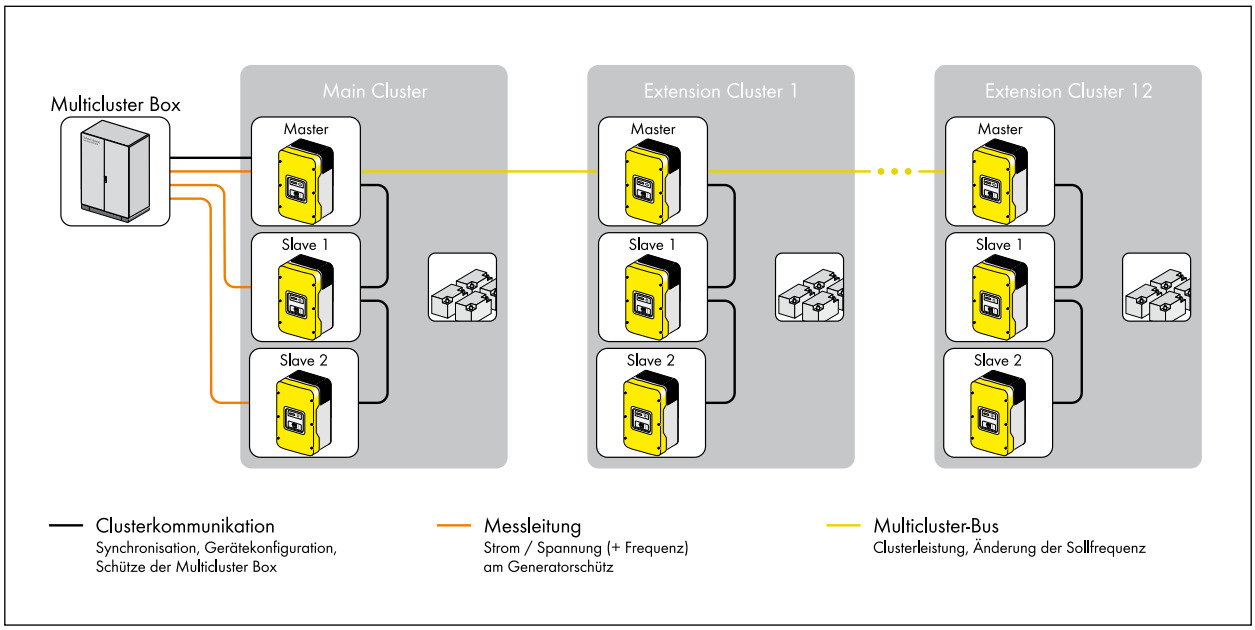


Abb. 3: Hierarchie und Kommunikationsverbindungen im Clusterverband

Flexibel im laufenden Betrieb

Das modulare Konzept der Inselsysteme führt zu einer enormen Flexibilität, die nicht nur bei der Planung, sondern auch bei der Erweiterung oder im Wartungsfall Vorteile bringt. So ist es problemlos möglich, jedes kleine System schrittweise auszubauen und zu erweitern. Jederzeit können zusätzliche Cluster an die Multicluster Box angeschlossen werden, und auch einer bedarfsgerechten Vergrößerung der erneuerbaren Erzeugungsleistung steht nichts im Wege.

Limitierende Faktoren sind lediglich die Anzahl der Sunny Island-Anschlüsse der jeweiligen Multicluster Box und die Stromtragfähigkeit ihrer Schalteinrichtungen (siehe technische Daten der Multicluster Boxen). Doch auch die Verfügbarkeit des Gesamtsystems erhöht sich durch den modularen Aufbau aus kompakten Seriengeräten: Mit Ausnahme des Main Clusters ist die Wartung oder der Austausch einzelner Sunny Island-Wechselrichter auch im laufenden Betrieb möglich – lediglich die Gesamtleistung des Systems ist in dieser Zeit entsprechend geringer.

Gleiches gilt für die einzelnen Teilbatterien, die ja den unterschiedlichen Sunny Island-Clustern zugeordnet sind. Das intelligente Batteriemanagement des Clusterverbandes sorgt anschließend dafür, dass binnen kurzer Zeit wieder alle Teilbatterien den gleichen Ladezustand haben.

Einfache Wartung durch ortsansässige Servicekräfte

Die regelmäßige Wartung der Sunny Island-Wechselrichter beschränkt sich auf das Reinigen der Lüftungsgitter. Die einzelnen Batterie-Einheiten müssen einmal im Jahr gewartet werden, was aufgrund der DC-seitig verwendeten Schutzkleinspannung ebenfalls ohne Spezialkenntnisse und im laufenden Betrieb möglich ist. Bei Ausfall eines Sunny Island-Wechselrichters ist jede von SMA geschulte Servicekraft in der Lage, einen Gerätetausch vorzunehmen. Und selbst im noch unwahrscheinlicheren Fall einer Störung in der Multicluster Box ist der Aufwand gering: Es muss keineswegs der ganze Schrank getauscht werden, ein Komponententausch durch eine Servicekraft vor Ort genügt.

Die Insel-Lösung: Moderne Stromversorgung auf Eigg Island

Ein Beispiel für eine leistungsstarke, netzunabhängige Stromversorgung findet sich auf Eigg Island. Die Insel gehört zu den schottischen Hebriden, ist etwa 30 km² groß und hat rund 90 Einwohner. Bis heute ist sie nicht mit dem öffentlichen Stromnetz des rund 16 Kilometer entfernten Festlands verbunden – die Kosten dafür liegen deutlich zu hoch. Bis zum Jahr 2008 wurde die Insel daher ausschließlich über Dieselgeneratoren versorgt. Diese Versorgung war immer noch sehr teuer, hinzu kamen Abschaltungen wegen der nächtlichen Lärmbelästigung sowie der vollständige Ausfall der Stromversorgung im Falle von Wartungsarbeiten.

Das eigene Stromnetz

Seit 2008 genießen die Inselbewohner den Komfort eines modernen dreiphasigen Stromnetzes, das außerdem zu rund 95 Prozent aus erneuerbaren Energien gespeist wird. Das hybride Inselsystem integriert mit Wasserkraft, Windkraft und Photovoltaik drei erneuerbare Energiequellen – lediglich zur Überbrückung erzeugungsarmer Zeiten wird ein Dieselgenerator genutzt. Und obwohl elektrische Energie nun rund um die Uhr in Netzqualität zur Verfügung steht, sind die Kosten für die Inselbewohner um mehr als 60 Prozent gesunken.

Zentrales Element des Inselstromnetzes ist ein Verband aus vier Sunny Island-Clustern, der über eine Multicluster Box 12 mit den verschiedenen Erzeugern und Verbrauchern verbunden ist: Drei Wasserturbinen mit insgesamt 110 kW, vier Kleinwindanlagen mit 24 kW sowie eine Solarstromanlage mit 10 kW Peakleistung (soll in 2011 auf 32 kW erweitert werden) sorgen für

umweltfreundlichen Strom. Damit stehen den Sunny Island-Wechselrichtern mit 60 kW Nennleistung rund 144 kW erneuerbare Erzeugungsleistung gegenüber. Dieses Leistungsverhältnis ist typisch für Inselsysteme, da die Maximalleistungen der unterschiedlichen Erzeuger nur selten gleichzeitig zur Verfügung stehen. Zwei Dieselgeneratoren mit jeweils 64 kW Nennleistung dienen als Backup, falls die erneuerbare Erzeugungsleistung nicht ausreichen sollte. In Betrieb ist jedoch immer nur eines der Aggregate, bei Wartungsarbeiten oder Störungen wird auf das andere umgeschaltet. Die Batteriebank speichert 212 kWh – allein damit kann die Insel rund zwölf Stunden lang versorgt werden. Um Übertragungsverluste aufgrund der mehrere Kilometer auseinanderliegenden

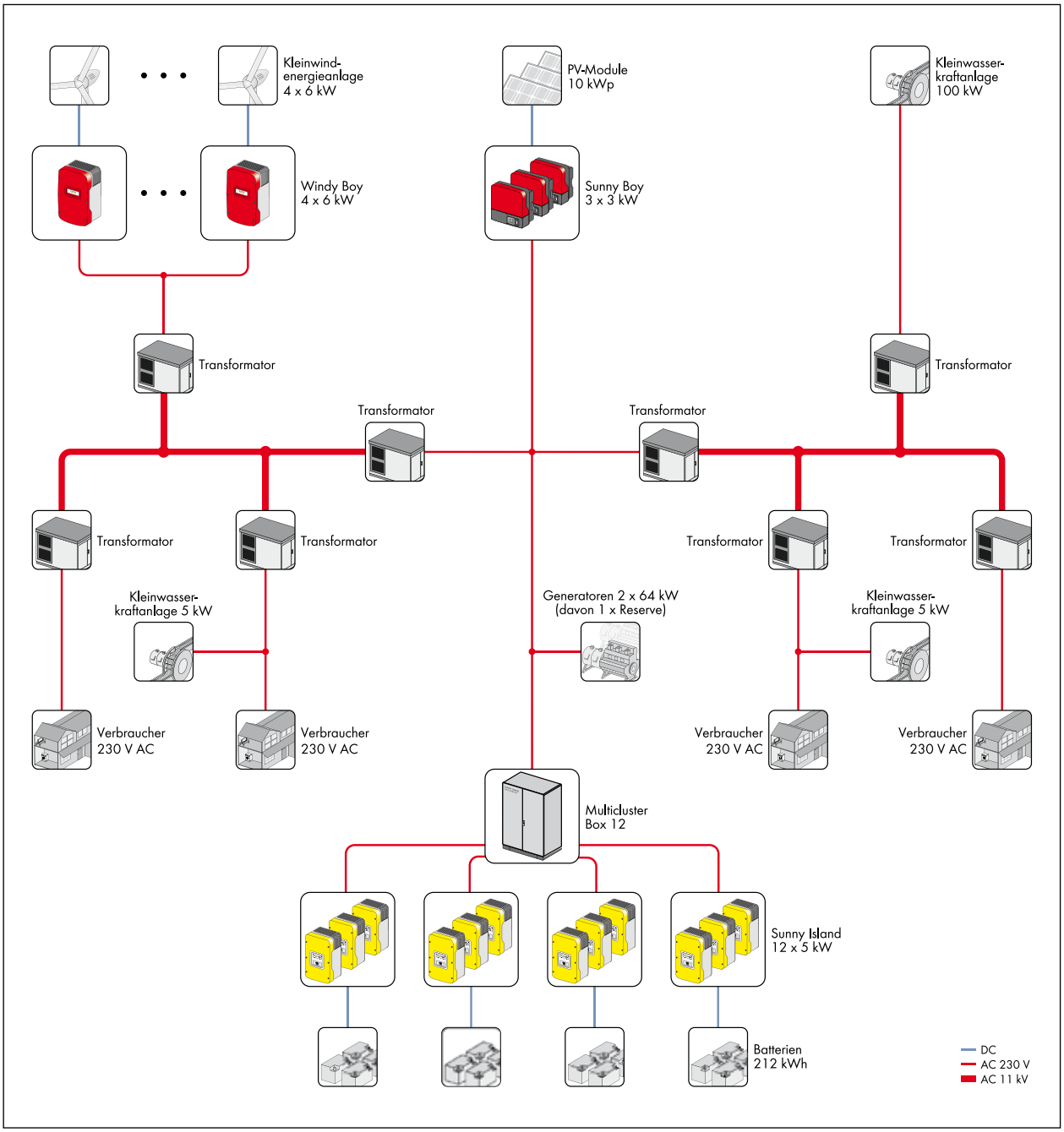


Abb. 4: Schematischer Aufbau der Stromversorgung auf Eigg Island

Verbraucher und Erzeugungsanlagen zu vermeiden, arbeitet das lokale Stromnetz zum Teil auf einem Mittelspannungsniveau von 11 kV. Die dezentrale Erzeugung entlastet das Verteilnetz zusätzlich, da ein gewisser Anteil der Energie schon im lokalen Umfeld verbraucht wird.

Funktionsweise

Im laufenden Betrieb steuert der Main Master der Sunny Island-Wechselrichter das gesamte Netz und sorgt jederzeit für eine ausgeglichene Energiebilanz: Wenn die Erzeugungsleistung aus den erneuerbaren Quellen den aktuellen Bedarf (15–60 kW) übersteigt, wird der Überschuss in der Batterie gespeichert.

Bei vollständig geladener Batterie beginnt der Main Master, geringfügig die Netzfrequenz zu erhöhen. Damit aktiviert er einerseits fernsteuerbare elektrische Raumheizer in öffentlichen Gebäuden. Andererseits reduzieren die erneuerbaren Erzeuger frequenzgesteuert ihre Leistung. Reicht die erneuerbare Erzeugungsleistung nicht aus, stehen die 60 kW Leistung der Sunny Island-Wechselrichter unterstützend zur Verfügung, wobei die Energie der Batterie entnommen wird.

Erst wenn deren Ladezustand unter 60 Prozent gesunken ist, startet der Main Master den Dieselgenerator. In diesem Fall wird die Netzfrequenz durch den Diesel vorgegeben, die Sunny Island-Cluster synchronisieren sich auf dessen Netzparameter. Dabei sorgen sie auch jetzt noch für einen kontinuierlichen Ausgleich der Energiebilanz: Bei Aktivierung oder Deaktivierung großer Verbrauchslasten ändert sich an der Belastung des Generators zunächst nichts – die Wechselrichter können die Lastschwankung durch blitzartige Änderung ihres Lade- oder Entladestroms ausgleichen.

Einen wichtigen Beitrag dazu leistet auch die enorme Überlastfähigkeit der Geräte: Für drei Sekunden stellen sie dem Netz immerhin 144 kW Batterieleistung zur Verfügung. Als Netzmanager wägt der Main Cluster ab zwischen dem möglichst effizienten Betrieb des Diesels mit seiner Nennleistung und dem Laden der Batterie mit dem jeweils optimalen Ladestrom (hier spielt auch der aktuelle Ladezustand eine Rolle).

Im Ergebnis läuft der Generator seltener im ineffizienten Teillastbetrieb und wird weniger durch unnötige, kurze Start/Stopp-Zyklen belastet. Weil Lastsprünge von den Sunny Island-Wechselrichtern abgefangen werden, lassen sich übrigens auch Generatoren sicher betreiben, die im Verhältnis zu den Verbrauchslasten nur eine geringe Leistung haben.

Häufige Fragen

Sind DC-gekoppelte Systeme nicht grundsätzlich effizienter?

Keineswegs, im Gegenteil: Rechnet man mit realistischen Wirkungsgraden, liegen AC-gekoppelte Systeme etwa gleichauf oder sind sogar geringfügig besser. Für die AC-Kopplung sprechen außerdem die Vorteile der Flexibilität (Einspeisung und Verbrauch an nahezu beliebigen Stellen im AC-Netz), der günstigeren Netzinfrastruktur sowie die breite Auswahl an günstigen Verbrauchern (so ist z. B. kein exotischer DC-Kühlschrank notwendig, jedes Standardgerät kann verwendet werden).

Um den Systemwirkungsgrad zu berechnen, wird der Tagesverlauf in drei Zustände eingeteilt, die mit jeweils unterschiedlichen Wirkungsgraden verbunden sind. Diese werden mit entsprechender Gewichtung zu einem Gesamtwirkungsgrad verrechnet. Zustand A: Der Verbrauch ist durch die Erzeugung gedeckt (Direktverbrauch). Zustand B: Energieüberschüsse werden in der Batterie gespeichert. Zustand C: Der aktuelle Energiebedarf wird aus der Batterie gedeckt. Im Zustand A ergibt sich ein Vorteil für die AC-Kopplung, da hier nur ein Wandlungsschritt (PV-Wechselrichter) nötig ist, gegenüber zwei Wandlungsschritten bei der DC-Kopplung (Laderegler plus Insel-Wechselrichter). Die DC-Kopplung hat im Zustand B einen Vorteil (Laderegler anstatt PV-Wechselrichter plus Insel-Wechselrichter), während es bei C keine Unterschiede gibt.

Welches System besser ist, hängt daher vom mengenmäßigen Verhältnis von direktverbrauchter und zwischengespeicherter PV-Energie ab. Bei hoher zeitlicher Korrelation zwischen Erzeugung und Verbrauch (z. B. bei Nutzung von Klimaanlagen oder der gewerblichen Nutzung) ist die AC-Kopplung in der Regel effizienter. Für Systeme, die fast ausschließlich zu Beleuchtungszwecken genutzt werden, ist die DC-Kopplung von Vorteil: Hier muss nahezu sämtliche PV-Energie zwischengespeichert werden, damit

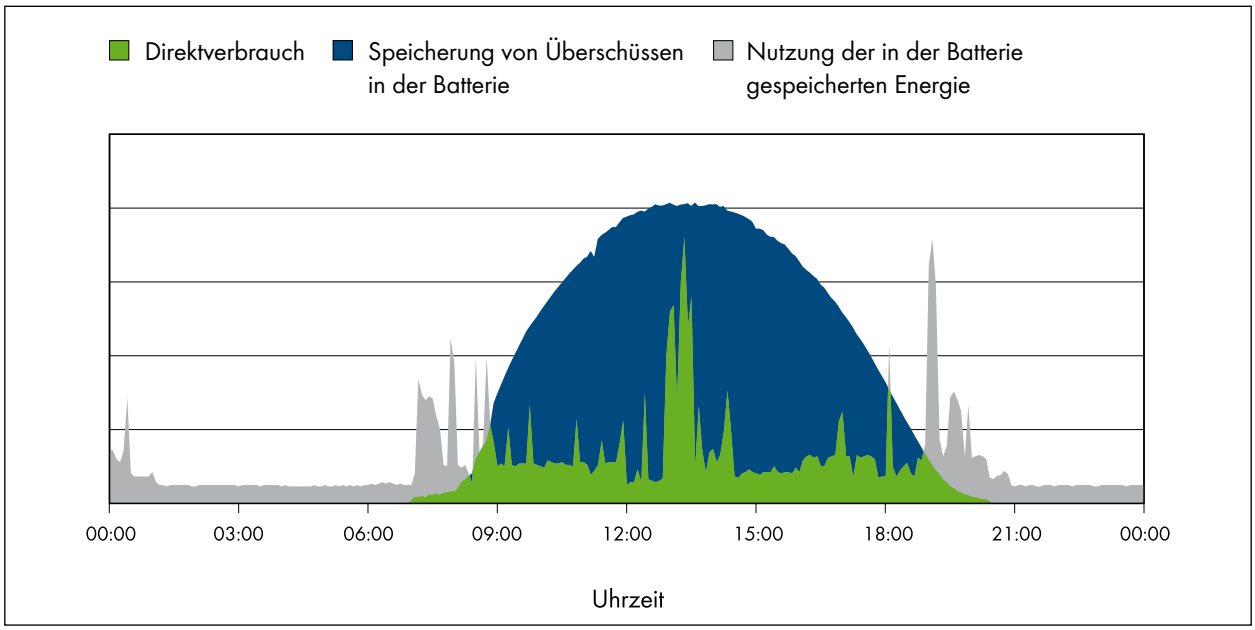


Abb. 5: Beispielhafte Tagesübersicht der drei möglichen Energiezustände eines Off-Grid-Systems

sie abends und nachts zur Verfügung steht. Das theoretische Maximum erzielt man übrigens mit einer AC-DC-Hybridanlage. Die erneuerbaren Erzeuger, deren Energie unmittelbar verbraucht wird, speisen direkt in das AC-Netz ein. Lediglich die Erzeuger, deren Energie in der Batterie zwischengespeichert wird, werden DC-seitig mit der Batterie gekoppelt. Der Wirkungsgradunterschied zwischen den unterschiedlichen Kopplungsarten ist in der Regel aber gering, so dass die Wirtschaftlichkeit mehr durch die Systemkosten für Planung, Installation und Service beeinflusst wird, als durch die Effizienzunterschiede. Zudem kommt auch die schon eingangs erwähnte Unflexibilität der DC-Kopplung wieder zum Tragen: Sie setzt ja voraus, dass Erzeuger und Batterie in räumlicher Nähe liegen.

Ist ein modulares System nicht teurer als eines mit zentraler Systemtechnik?

Die Frage stellt sich in ähnlicher Form auch bei netzgekoppelten PV-Anlagen: Ist ein leistungsfähiges, zentrales Gerät die bessere Wahl oder die „dezentrale Lösung", also ein Verband aus vielen Wechselrichtern mit geringerer Leistung? Was die Herstellungskosten angeht, gibt es zwei konkurrierende Skaleneffekte: Einerseits sinken die spezifischen Kosten bei zunehmender Geräteleistung, andererseits profitieren kleinere Wechselrichter von den Kostensenkungen durch hohe Stückzahlen und weitgehend automatisierte Fertigung. Der Breakeven liegt zwischen 200 kW und 500 kW Anlagenleistung, das modulare Konzept ist also für nahezu alle Off-Grid-Anwendungen kostengünstiger.

Davon abgesehen sind dezentrale Anlagenstrukturen immer dann vorteilhaft, wenn die Infrastruktur zum Bau (Straßen, Transportwege, schwere Maschinen) und zur Wartung (kurzfristige Erreichbarkeit durch Spezialisten im Falle eines Fehlers) nicht den optimalen Bedingungen entspricht. Wenn allein das letzte Stück der Transportstrecke über 30 Kilometer unbefestigte Schotterpiste führt oder mit Lasttieren bewältigt werden muss, sind große, schwere und sperrige Komponenten wenig hilfreich – von den Kosten ganz zu schweigen. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Tatsache, dass zwar die Fehlerwahrscheinlichkeit mit der Anzahl der Komponenten zunimmt, die

Wahrscheinlichkeit eines gleichzeitigen Ausfalls vieler Geräte jedoch gegen Null tendiert. Die gerade bei Off-Grid-Anwendungen entscheidende Verlässlichkeit der Energieversorgung ist beim modularen Konzept also grundsätzlich besser. Und nicht zuletzt sorgt das modulare Systemkonzept für hohe Flexibilität sowohl in der Planungsphase, als auch bei eventuellen Erweiterungen zu einem späteren Zeitpunkt.

Wie lässt sich eine Notversorgung nur mit dem Generator sicherstellen?

Sofern ein Generator vorhanden ist, ist diese automatisch sichergestellt. Denn für den unwahrscheinlichen Fall, dass das gesamte Sunny Island-System ausgefallen sein sollte, schließt das Generatorschütz selbsttätig und verbindet den Generator mit den Verbrauchern. Es muss also nur der Generator gestartet werden.

Ist die Installation modularer Systeme nicht äußerst aufwändig?

Die Installation ist vor allem eines: Einfach und unkompliziert. Die einzelnen Komponenten sind an jedem Ort der Welt problemlos handhabbar und zudem äußerst robust. Durch die Möglichkeit der einfachen Wandmontage sind auch keine besonderen Vorarbeiten am Installationsort nötig. Die Konfiguration und die Bedienung erfordern keine Spezialkenntnisse, sondern können nach einer ein- bis zweitägigen Schulung in der Regel von jeder technisch versierten Person übernommen werden – unabhängig von der Größe des Systems. Und durch die übersichtlich aufgebaute und bereits fertig verdrahtete Multicluster Box als zentrale AC-Verteilung ist auch der naturgemäß größere Verkabelungsaufwand völlig unproblematisch.

Wenn einer der Sunny Island-Wechselrichter ausfällt, bleibt dann alles stehen?

Nein, und genau darin liegt einer der Vorteile des modularen Systemaufbaus: Sollte ein Gerät eines Extension Clusters ausfallen, steht lediglich dieser Cluster nicht mehr zur Verfügung. In einem System auf Basis der Multicluster Box 12 (z. B. Eigg Island) entspricht das einer um 25 Prozent reduzierten Gesamtleistung der Batterie-Wechselrichter – die Erzeugungsleistung bleibt vollständig erhalten.

Der betroffene Wechselrichter kann nun im laufenden Betrieb des Inselnetzes instandgesetzt oder getauscht werden. Wenn die Gerätekonfigurationen der vier möglichen Hierarchiestufen zuvor auf SD-Karten gesichert wurden, kann die passende Version per Knopfdruck auf das Austauschgerät übertragen werden. Damit ist das System in weniger als einer Stunde wieder in vollem Umfang verfügbar.

Nur in dem unwahrscheinlichen Fall, dass der Main Master ausfällt, wäre kurzzeitig das gesamte System betroffen. Hier kann zunächst eine Notversorgung über den Generator hergestellt werden. In einem zweiten Schritt definiert man einen beliebigen Extension Cluster als neuen Main Cluster – wobei lediglich die vier Kommunikationsleitungen zur Multicluster Box umgesteckt werden müssen. Alternative: Das ausgefallene Gerät mit einem beliebigen Wechselrichter aus einem der Extension Cluster tauschen, entsprechend konfigurieren und das System wieder starten. Selbst der ungünstigste Fehlerfall lässt sich also problemlos beheben. Deutlich wird auch, dass durch Bereithalten eines einzigen Reserve-Wechselrichters eine nahezu perfekte Absicherung gegen Ausfälle möglich ist.

Was passiert bei einem Ausfall der Multicluster Box?

Ein Ausfall der Multicluster Box ist generell äußerst unwahrscheinlich. Es handelt sich im Wesentlichen um einen AC-Verteiler, der zudem aus robusten Komponenten besteht und über eine hohe Schutzklasse verfügt. Solange nicht das Generator- oder das Lastabwurfschütz defekt sind, ist ein Notbetrieb (die direkte Kopplung von Generator und Verbrauchern) in jedem Fall möglich. Aufgrund ihres modularen Aufbaus lassen sich sämtliche Komponenten der Multicluster Box durch eine geschulte Servicekraft vor Ort tauschen.

SMA Solar Technology AG

www.SMA.de

Sonnenallee 1
34266 Niestetal
Tel.: +49 561 9522-0
Fax: +49 561 9522-100
E-Mail: info@SMA.de

Fotos: Seite 1 und Seite 13: Catriona Hellwell, Isle of Eigg

MULTICLUSTER-ADE112012 Gedruckt auf chlorfrei hergestelltem Papier. Änderungen, die dem technischen Fortschritt dienen, bleiben vorbehalten.