



## **HYBRIX - Aufbau eines Baukastensystems für Hybridsysteme**

J. Reekers  
SMA Regelsysteme GmbH  
Hannoversche Straße 1-3, D-34266 Niestetal,  
Tel.: (0561) 9522-0, Fax: 9522-100  
email: reekers@sma.de

C. Hardt, P. Strauß  
Institut für Solare Energieversorgungstechnik e.V.  
Königstor 59, 34119 Kassel  
Tel.: (0561) 7294-0, Fax: (0561) 7294-100  
email: chardt@iset.uni-kassel.de

R. Klöckner  
BP Solar  
Sachsenkamp 1-3, 20097 Hamburg  
Tel.: (040) 236112-0, Fax: (040) 236112-50  
email: kloeckr@bp.com

### **1 Kurzübersicht**

Die in der Vergangenheit errichteten Hybridsysteme zeichneten sich mehrheitlich durch ihren Prototypcharakter aus und sind somit als Einzelanfertigungen zu betrachten, die oftmals nur mit großem technischen Aufwand und von speziell geschultem Personal zu errichten, bzw. zu erweitern sind.

Das Hauptziel des HYBRIX-Projektes ist die Vorbereitung einer neuen Generation wechselspannungsseitig gekoppelter PV/Wind/Batterie/Diesel – Systeme zur Einführung in den weltweiten Markt der ländlichen Elektrifizierung. Zu diesem Zweck ist der Aufbau eines Baukastensystems für Hybridsysteme vorgesehen, in dem die an der Energieerzeugung beteiligten Komponenten hinsichtlich ihrer zu erfüllenden Eigenschaften genau spezifiziert sind. Diese Spezifikation umfaßt u.a. die elektrischen und mechanischen Kennwerte sowie die notwendigen Datenschnittstellen. Als Fernziel wird die Definition eines Standards für Hybridsystemkomponenten, eventuell in Form eines Gütesiegels, angestrebt, der eine möglichst einfache Kombination der jeweiligen Bausteine ermöglicht.

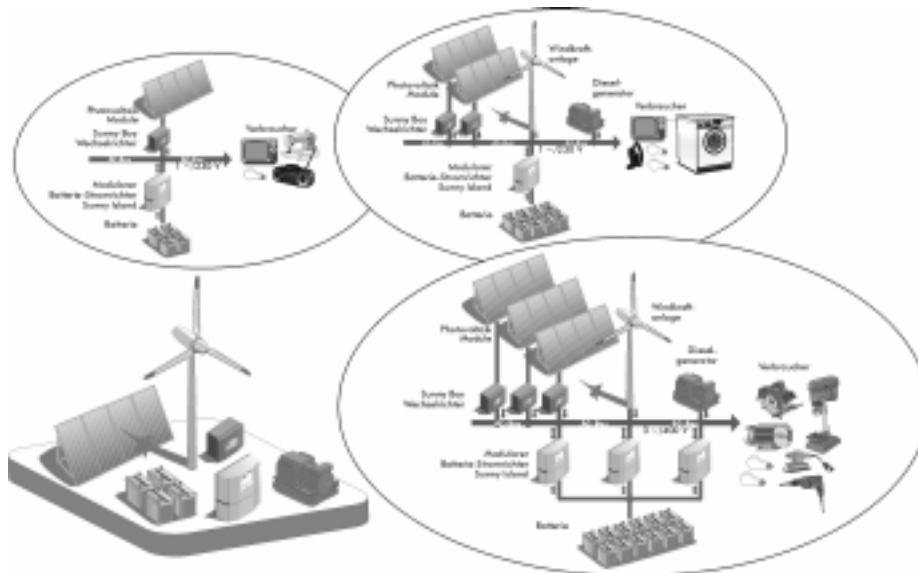


Abb. 1: Baukasten für Hybridsysteme

## 2 Das HYBRIX-Projekt

Erfahrungsgemäß steigt bei Systemen zur ländlichen Elektrifizierung der Bedarf bezüglich Leistung und Energiedurchsatz mit der Zeit an. Gründe hierfür sind besonders im sozioökonomischen Bereich zu finden. Die erhöhte Verfügbarkeit von elektrischer Energie weckt die Nachfrage beim Endverbraucher.

Um diesen wachsenden Leistungs-, bzw. Energiebedarf auch zukünftig decken zu können, sollte eine Anlage auf möglichst einfache Weise nachträglich erweiterbar sein. Hierzu hat sich eine Technologie durchgesetzt, die unter dem Schlagwort „Modulare Systemtechnik“ bekannt geworden ist /KLEINKAUF 1994/.

Innerhalb des HYBRIX („Hybrid Bricks“-Projekt) soll die Modularität der einzelnen Komponenten genauer spezifiziert werden. Ziel des Projektes ist die Definition eines Baukastens (s. Abb. 1), aus dessen Bestandteilen sich mit einfachen Mitteln Hybridsysteme verschiedenster Größen aufbauen lassen. Dabei werden sowohl einphasige als auch dreiphasige Systeme betrachtet.



Abb. 2: Modulare Bausteine im Hybridsystem

### 3 Anforderungen an die Bausteine

Die hier verwendete modulare Gestaltung von Hybridsystemen beruht auf der ausschließlich parallelen Kopplung aller Komponenten. Als Voraussetzung für eine einfache Netzanbindung sind somit die weltweit üblichen Wechsel-/ und Drehstromstandards zur Netzkonformität (z.B. 230V/400V, 50Hz) einzuhalten.

In einem ersten Schritt müssen zunächst die einzelnen Bausteine definiert werden:

#### I.) Batteriestromrichter und Batterie

Da in einem regenerativen Hybridsystem die Erzeugung und der Verbrauch von Energie oftmals nicht miteinander korrelieren, wird zur Zwischenspeicherung ein Kurzzeitspeicher benötigt. Diese Aufgabe übernimmt ein „Baustein“ bestehend aus einer Batterie und Batteriestromrichter oder einem System von drei Batteriestromrichtern (dreiphasig).

Auf dem Markt sind derzeit eine Reihe von Batteriezellen erhältlich, die speziell auf photovoltaische Anwendungen zugeschnitten sind, so daß die elektrochemische Speicherung von elektrischer Energie mittels Blei-Säure-, bzw. Blei-Gel-Batterien als ausgereifte, robuste und vor allem preiswerte Technologie bezeichnet werden kann.

Der Batteriestromrichter übernimmt im System die wichtige Aufgabe der netzbildenden Einheit. Dies bedeutet, daß er wechsellspannungsseitig eine netzkompatible Spannungsquelle darstellt, die weitestgehend den Spezifikationen konventioneller Niederspannungsnetze entspricht. Er kontrolliert Spannung, Frequenz, Wirk- und Blindleistung im Netz und nutzt dazu die Batterie als Puffer.



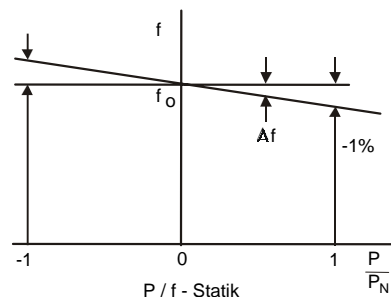
Im Sinne der Modularität muss eine bestehende Anlage auch bezüglich der Stromrichter erweiterbar sein. Die sich hieraus ergebende Forderung nach Parallelbetrieb von Stromrichtern stellt einen wichtigen Aspekt des HYBRIX-Projektes dar. Folgende Operationsmodi sollen hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit untersucht werden:

a. Master / Slave Verfahren

Ein Stromrichter übernimmt die Rolle des Masters. Er arbeitet als Spannungsquelle und kontrolliert die Spannung sowie die Frequenz im gesamten System. Die Slave-Stromrichter erhalten vom Master über eine separate, schnelle Datenverbindung Sollwerte und speisen als Stromquellen die angeforderte Leistung ein. Den Vorteilen relativ einfacher Regelungsalgorithmen in den Komponenten steht der hohe Aufwand für externe Kommunikation gegenüber. Gerade in dezentralen Systemen überwiegt dieser Nachteil.

b. Wirkleistungs-Frequenz- bzw. Blindleistungs-Spannungsregelung

Dieses Verfahren bildet die klassische, von der Kraftwerksregelung her bekannte Primärregelung auf Batteriestromrichter ab /RAPTIS 1994/. Abb. 3 zeigt eine Wirkleistungs / Frequenz Statik.



**Abb. 3: Wirkleistung / Frequenz -Statik**

Die Leistungsabgabe, bzw. Leistungsaufnahme eines Stromrichters wird in Abhängigkeit von der Netzfrequenz selbständig geregelt.

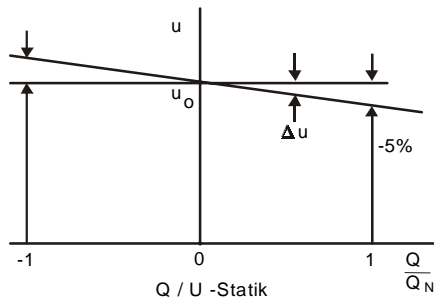
$$P = f(f_{AC})$$

Auf diese Weise stellt sich auf das gesamte Netz bezogen stets die Frequenz ein, bei der ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen Erzeugung und Verbrauch vorliegt.

Das gleiche Verfahren kann auch für die Blindleistungsregelung herangezogen werden. In diesem Fall wird die Blindleistungsabgabe, bzw. Blindleistungsaufnahme in Abhängigkeit von der Spannung geregelt.



$$Q = f(U_{AC})$$



**Abb. 4: Blindleistung / Spannung - Statik**

Für den stabilen Betrieb des Systems ist somit keine schnelle und dadurch teure Kommunikation zwischen den Komponenten nötig. Bei einem möglichen Ausfall der Kommunikation kann ein auf diese Weise aufgebautes Netz weiterhin betrieben werden, was zu einer erheblichen Erhöhung der Verfügbarkeit von Hybridsystemen führt.

Das Verfahren bietet weiterhin die Möglichkeit, Stromrichter ohne weiteres in bestehende Netze zu integrieren. Dies ist gerade im Bezug auf die verstärkte Einbindung erneuerbarer Energien in vorhandene Diesel-Netze von großem Interesse.

Weitere Vorteile:

- keine schnelle Kommunikation nötig
- Redundanz der Komponenten (n-1 Prinzip)
- dezentrale Energieerzeugung
- einfache Erweiterbarkeit durch Modularität

Erste Versuche zur Parallelschaltung von Batteriestromrichtern wurden am ISET erfolgreich durchgeführt /ENGLER 2000/.



**Abb. 5: Batteriestromrichter Sunny Island**

## II.) PV-Wechselrichter und PV-Generator

Der PV-Wechselrichter hat die Funktion, die vom PV-Generator erzeugte Energie netzkonform einzuspeisen. Um eine möglichst kostensparende Integration in Hybridanlagen zu ermöglichen, werden PV String-Wechselrichter verwendet, wie sie bereits für netzgekoppelte Anlagen verfügbar sind. Die String-Technologie ermöglicht hierbei eine optimale Effizienz jedes PV-Feldes und stellt ein hohes Maß an Flexibilität sicher. Die Dimensionierung einer Anlage hinsichtlich der solaren Deckungsrate (Verhältnis aus photovoltaisch erzeugter Energie bezogen auf die gesamte erzeugte Energie) kann durch Wahl der Leistungsklasse und Anzahl der verwendeten PV-Stränge beeinflusst werden. Zur Anpassung an die im Inselnetz höheren Spannungs- und Frequenzfluktuationen sind Parametermodifikationen am Wechselrichter vorgesehen.

## III.) Windkraftanlage

Einen weiteren Bausteintyp regenerativer Hybridsysteme bilden Windkraftanlagen (WKA). Innerhalb des HYBRIX-Projektes werden speziell die Anforderungen an WKA mit Asynchron-Generatoren untersucht. Diese Untersuchungen schließen unter anderem das Anlaufverhalten (z.B. Synchronisierung auf das Netz) sowie Auswirkungen auf die Netzstabilität ein. Die Abregelbarkeit im Falle eines Überangebotes an elektrischer Energie ist ein weiterer Punkt, der betrachtet wird. Im einfachsten Fall kann dies durch den Einsatz einer Dump-Load oder das Abschalten des Windgenerators geschehen.



#### IV.) Dieselgenerator

Der Dieselgenerator, die klassische Komponente in der netzfernen Energieversorgung, zeichnet sich durch relativ niedrige Anschaffungskosten aus, jedoch stehen diesem Vorteil die hohen Betriebskosten für Wartung, Reparatur sowie Treibstoff inkl. dessen Transport gegenüber. Durch die Kombination von Dieselaggregaten mit PV-, Wind- und Batteriesystemen können die Laufzeiten der Generatoren beträchtlich reduziert werden. Im Falle niedriger Ladezustände des Batteriespeichers und einer Unterversorgung mit regenerativer Energie übernimmt der Dieselgenerator die Rolle einer Backup-Komponente. Bei höherem Leistungsbedarf wird das Aggregat zur Spitzenlastdeckung eingesetzt.

Zur Integration in ein netzfernes Hybridsystem sind spezielle Anforderungen bezüglich der Netzqualität sowie notwendiger Kommunikationsschnittstellen zur Fernsteuerung zu stellen. Da Reparatur und Wartung durch lokales Personal durchgeführt werden sollten, wäre es vorteilhaft, wenn diese Maßstäbe auch von Geräten des lokalen Marktes erfüllt werden können.

### **4 Anforderungen an die Betriebsführung**

Neben den bereits erwähnten Spezifikationen hinsichtlich der Leistungsschnittstelle ist ebenso die Kommunikationsschnittstelle von großem Interesse. Hierzu soll untersucht werden, inwieweit bei kleinen Systemen Kontrollmechanismen in Komponenten (z.B. den Batteriestromrichter) integriert werden können und unter welchen Voraussetzungen eine übergeordnete und erweiterte Betriebsführung benötigt wird.

Die Integration von Betriebsführungselementen in den Batteriestromrichter ist sicherlich bei räumlich geringfügig ausgedehnten Anlagen eine interessante, weil preiswerte Option. Hinsichtlich der benötigten Schnittstellen stellt dies eine deutliche Vereinfachung dar, da die benötigten Funktionen, wie z.B. Start/Stop des Diesels, direkt über Relaisausgänge am Stromrichter realisiert werden können.

Ab einem gewissen Grad an Komplexität ist jedoch der Einsatz einer übergeordneten Betriebsführung zum optimierten Betrieb unerlässlich. Diese muß dann in der Lage sein, mit allen im System befindlichen Komponenten zu kommunizieren. Zu diesem Zweck bietet sich die Einführung eines einheitlichen Kommunikationsbusses an.



Als ein kritischer Punkt muß die Aufschaltung von Drehfeldmaschinen (Dieselgenerator, Windkraftgenerator) auf das vorhandene Netz detailliert betrachtet werden. Hierzu ist zu untersuchen, unter welchen Bedingungen ein Parallelschaltgerät einzusetzen ist und ob die Generatoren bezüglich ihrer Spannung und Drehzahl regelbar sein müssen. Für kleinere Anlagen bietet sich die Möglichkeit das von den Stromrichtern gebildete Netz auf einen gestarteten, leerlaufenden Generator zu synchronisieren.

## 5 Ziele und Ausblick

Nachdem die Anforderungen an die einzelnen Bausteine spezifiziert sind wird das Betriebsführungssystem den Erfordernissen entsprechend weiterentwickelt. In einem nächsten Schritt werden notwendige Adaptionen der einzelnen Systemkomponenten und deren Schnittstellen untersucht. Auf Basis dieser Ergebnisse erfolgt die Installation einer Pilot-Anlage im „Technology Demonstration Center“ des spanischen Energieversorgers IBERDROLA in San Agustín del Guadalix (Madrid). Diese Anlage wird eine komplette Systemfamilie enthalten, die die Konfiguration und Testbetrieb verschiedener Teilsysteme ermöglicht. Im einzelnen werden folgende Bausteine installiert:

- drei Batteriebanken unterschiedlicher Kapazität mit je drei Batteriestromrichtern
- PV-Generator 30 kW bestehend aus 20 Teilgeneratoren mit Strangwechselrichtern
- Windgenerator 10 kW
- zwei Dieselgeneratoren 15kW und 5 kW

Somit können Untersuchungen an Anlagen unterschiedlichsten Aufbaus (einphasig, dreiphasig) und verschiedenster Größen (3kW – 30kW Batteriestromrichterleistung) durchgeführt werden. Abb. 6 gibt einen Überblick über den vorläufigen Entwurf des Gesamtsystems.

## Danksagung

Das beschriebene Projekt HYBRIX ERK5-CT-1999-00013 wird innerhalb des 5. Rahmenprogrammes teilweise durch die Europäischen Kommission gefördert. Der vorliegende Bericht basiert auf der Zusammenarbeit der Projektpartner.





## **6 Literatur**

- /KLEINKAUF 1994/ Kleinkauf, W. ; Sachau,, J.: Components for Modular Expandable and Adaptable PV Systems, 12th European PVSEC
- /RAPTIS 1994/ Raptis, F.: Design of Operational Control for Stand-Alone Grids with Renewable Energies, Presentation at ISET, October
- /ENGLER 2000/ Engler, A.: Control of parallel operating battery inverters, PV Hybrid Power Systems Conference, Aix-en-Provence