

PV-Wasserstoff-Systeme zur autonomen Versorgung von Telekommunikationseinrichtungen

Jochen Benz, Bea Hacker, Sven Kerzenmacher, Carsten Krämer, Michael Neutz,
Hans-Georg Puls, Werner Roth, Dirk Uwe Sauer, Heribert Schmidt
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg
Tel.: 0761 / 45 88-52 27, Fax: 0761 / 45 88-92 27, email: roth@ise.fhg.de

1 Einleitung

Traditionell sind die technischen Einrichtungen der Telekommunikation an zentralen Knotenpunkten untergebracht. Dort ist die Energieversorgung über das öffentliche Stromnetz gewährleistet. In den letzten Jahren gibt es aber die Notwendigkeit, auch die Telekommunikationselektronik näher an den Kunden heranzubringen. Beispiele für solche Einrichtungen sind die Mobilfunknetze, Umsetzer und Verstärker in Glasfaserkabeln und Funkverbindungen. An den aus der technischen Sicht der Telekommunikation optimalen Standorten gibt es aber vielfach keinen Anschluss an das Stromnetz. Aus Kosten- oder Umweltschutzgründen ist es zudem in vielen Fällen kaum möglich, neue Kabel zu verlegen. Daher können hier vielfach autonome Stromversorgungen als die kostengünstigste Alternative installiert werden. Dabei ist eine sehr hohe Zuverlässigkeit der Energieversorgung bei möglichst geringem Wartungsaufwand zu gewährleisten.

Im Rahmen des EU-Projekts »FIRST« werden autonome Stromversorgungssysteme entwickelt, die 3,6 kWh elektrische Energie am Tag bereitstellen sollen. Diese weisen neben einem Photovoltaikgenerator eine Brennstoffzelle als Zusatzstromerzeuger auf. In einem ersten Schritt wird der Wasserstoff in Flaschen zum System zugeliefert, im zweiten Schritt wird dann mit einem zusätzlichen Elektrolyseur ein energetisch vollständig autarkes System aufgebaut. Das im ersten Schritt entwickelte PV-Brennstoffzellensystem wurde im Juni 2001 in Madrid errichtet. Das System mit Elektrolyseur und Metall-Hybrid-Speicher wird im ersten Halbjahr 2002 installiert und in Betrieb genommen. Damit wird ein bisher in diesem Leistungsbereich nur im experimentellen Status realisierter Systemtyp erstmalig nach industriellem Standard und den entsprechend hohen Anforderungen an die Zuverlässigkeit realisiert. Der Beitrag stellt die technischen Anforderungen beider Systemkonzepte, die zentrale Steuerung der Systeme und die Systemauslegung auf Basis einer Lebensdauerkostenminimierung vor.

2 Technische Anforderungen

Versorgt wird ein Mobilfunkumsetzer mit 32 Kanälen. Der Leistungsbedarf beträgt 132 W, wenn keiner der Kanäle belegt ist. Bei voller Auslastung steigt der Leistungsbedarf auf 198 W. Es wird von einer mittleren Kanalbelegung von 20 % ausgegangen. Der Energiebedarf ist unabhängig von der Jahreszeit. Die Prototypen der Systeme werden für den Standort Madrid/Spanien konzipiert. Wichtigste Anforderungen sind ein geringer Wartungsbedarf und eine hohe Zuverlässigkeit der Energieversorgung. Unter Beachtung dieser Anforderungen sollen die Lebensdauerkosten des Systems auf ein Minimum reduziert werden. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass eine Nachlieferung der Gasflaschen aufwändig ist und möglichst auf einmal pro Jahr beschränkt bleiben soll. Die eingesetzten Komponenten müssen zuverlässig im autonomen Betrieb arbeiten können. Dies stellt insbesondere an die Brennstoffzelle hohe Anforderungen. Dazu gehört z. B. auch ein zuverlässiger Gefrierschutz bei Minustemperaturen im Winter.

3 Systemkonzepte

Als Basis für die Systeme dient ein klassisches PV-Batterie-System mit Energiemanagementsystem (EMS). Das EMS übernimmt die Steuerung und Überwachung des Systems. Ergänzt wird das erste System durch eine Brennstoffzelle mit einer Netto-Ausgangsleistung von rund 250 Watt. Diese kann vom EMS eingeschaltet werden, wenn der Ladezustand der Batterie zu weit absinkt. Die Brennstoffzelle wird mit Wasserstoff aus Flaschen versorgt. Der Sauerstoff wird aus der Umgebungsluft entnommen und mit einem Kompressor der Brennstoffzelle zugeführt. Die Brennstoffzelle ist über einen speziell entwickelten DC/DC-Wandler an die Batterie angeschlossen. Der am Fraunhofer ISE entwickelte DC/DC-Wandler mit einem Wirkungsgrad von mehr als 94% erlaubt einen problemlosen Kaltstart der Brennstoffzelle, lädt die Batterie nach einem IU-Ladefahren optimal und schützt die Brennstoffzelle vor unerlaubten Betriebszuständen (Abb. 1).



Abb. 1: DC/DC-Wandler zum Anschluss der Brennstoffzelle an die Batterie.

Im zweiten System (Abb. 2) werden zusätzlich ein Elektrolyseur und ein Metall-Hybrid-Speicher für die Wasserstoffspeicherung integriert. Auch diese Komponenten werden vom EMS gesteuert und überwacht. Der Elektrolyseur wird in den Sommermonaten angefahren, wenn Energieüberschüsse durch den PV-Generator bei hohem Ladezustand der Bleibatterie zur Verfügung stehen. Der erzeugte Wasserstoff wird gespeichert und steht der Brennstoffzelle bei Bedarf z. B. im Winter zur Verfügung. Damit kann ein energetisch vollständig autonomes System realisiert werden, bei dem die Anlieferung des Wasserstoffs entfällt.

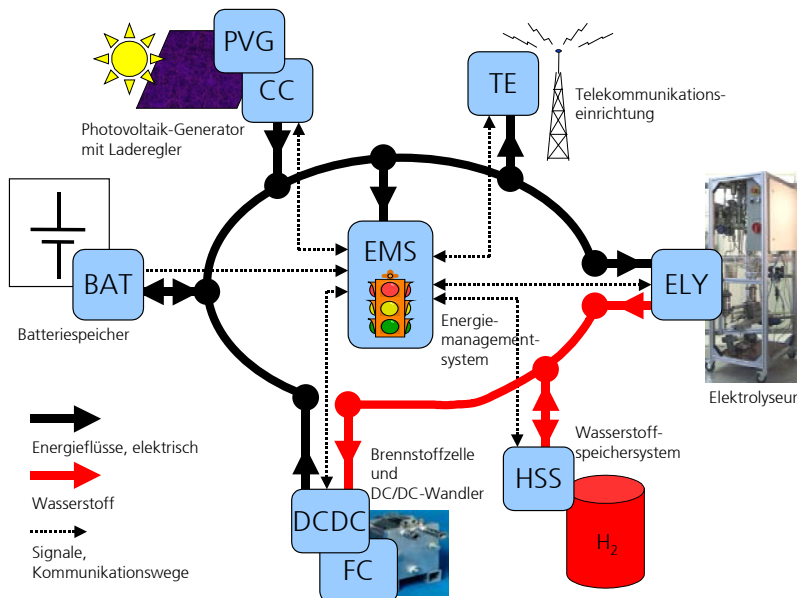


Abb. 2: Autonome Stromversorgung für Telekommunikationssysteme mit einer Kombination aus Photovoltaikgenerator und Wasserstoff-jahresspeichersystem. Das Jahresspeichersystem besteht aus einem Elektrolyseur, einer Brennstoffzelle und einem Metall-Hydrid-Speicher.

Die PEM-Brennstoffzellenstacks werden von Nuvera Fuel Cells hergestellt und die Systemintegration von Air Liquide vorgenommen. Der Elektrolyseur wurde am Fraunhofer ISE entwickelt und gebaut (Abb. 3).

3.1 Modulares Konzept

Beim modularen Hardwareaufbau, der sich auch in der Betriebsführungs-Software widerspiegelt, wurden möglichst autonome Einheiten gebildet. Sie sind über einen Energie-Bus gekoppelt und über eine Kommunikationsschnittstelle an die Zentrale angebunden. So lässt sich das entwickelte System einfach abwandeln und an andere Rahmenbedingungen anpassen.



Abb. 3: Elektrolyseur.

3.2 Ladezustandsbestimmung der Batterie

Eine zentrale Größe der Betriebsführung ist der Batterie-Ladezustand. Er wird mit einem am Fraunhofer ISE entwickelten Algorithmus bestimmt, der neben einer Strombilanzierung über ein Expertenwissenmodul (Fuzzy-Logic) verfügt.

3.3 Wasserstoff-Jahresspeicher

Der eingesetzte Elektrolyseur (Abb. 3) benötigt eine halbe Stunde Vorlaufzeit, bevor er die überschüssige Leistung des Photovoltaik-Generators in Wasserstoff umwandeln kann. Der Wasserstoff kann dabei mit einem Druck von 30 bar ohne Kompressor geliefert werden. Das EMS erkennt stabile Einstrahlungsperioden, in denen der Betrieb des Elektrolyseurs sinnvoll ist. Das EMS überwacht ferner die Befüllung der Metall-Hydrid-Speicher und ermittelt die gespeicherte Gasmenge. In einstrahlungsschwachen Perioden des Winterhalbjahres startet es die Brennstoffzelle, um die Stromversorgung aufrecht zu erhalten.

3.4 Sicherheit und Defekterkennung

Das vom Fraunhofer ISE konzipierte und gebaute EMS überprüft die Systemkomponenten kontinuierlich und gibt etwaige Schäden per Funk an eine Leitstelle weiter, bevor es zu einem Versorgungsengpass kommt.

Die elektrische Ansteuerung von Gasventilen der Brennstoffzelle wurde derart konzipiert, dass Schäden an der Elektronik selbst erkannt werden können und damit ein ungewollter Gasaustritt auf jeden Fall verhindert wird.

4 Zentrale Steuerung des Systems

Um die hohe geforderte Verfügbarkeit zu erreichen, wird ein Energiemanagementsystem eingesetzt (Abb. 4). Dieses überwacht den Ladezustand der Batterie und steuert die Brennstoffzelle. Auf dieser Basis werden Elektrolyseur und Brennstoffzelle ein- und ausgeschaltet. Zudem übernimmt das EMS Überwachungsfunktionen und kann mit der Wartungszentrale kommunizieren. Dadurch können Wartungen gezielt durchgeführt werden und bei Schwierigkeiten rechtzeitig Maßnahmen eingeleitet werden.

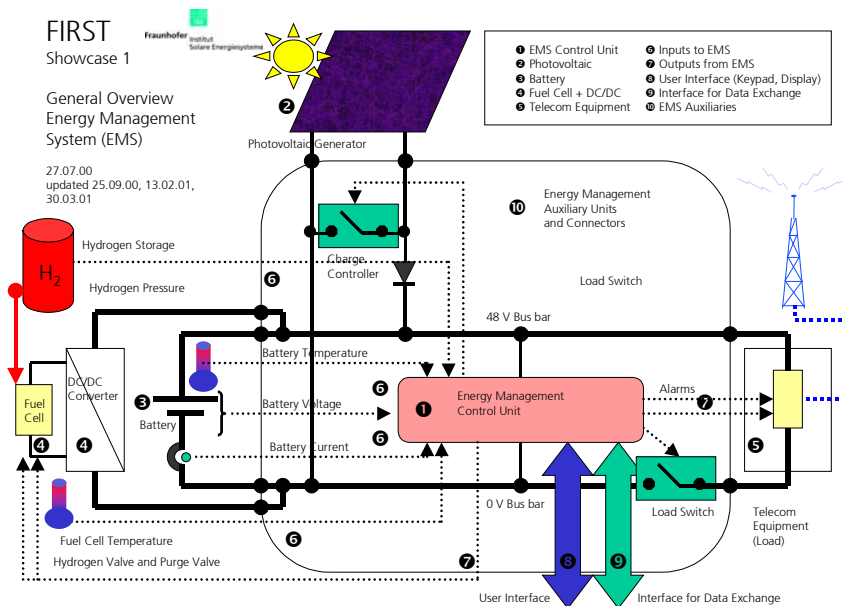


Abb. 4: Schematische Darstellung der Systemsteuerung durch das zentrale Energiemanagementsystem EMS. Neben den Steuerungsaufgaben übernimmt das EMS auch Überwachungsfunktionen und kann über ein Funkmodem mit einer Wartungszentrale kommunizieren. Dargestellt ist ein System mit Brennstoffzelle und Wasserstoffversorgung aus Gasflaschen.

5 Systemauslegung mit Lebensdauerkostenminimierung

Trotz der hohen Anforderungen an die Zuverlässigkeit soll diese bei möglichst geringen Kosten erreicht werden. Dazu wurden mit dem Simulations- und Optimierungsprogramm TALCO¹ Berechnungen zum optimalen Systemdesign durchgeführt. Wichtig dabei ist, dass nicht die Erstinvestitionskosten sondern die Lebensdauerkosten minimiert werden. Dazu werden detaillierte Modelle zum elektrischen Verhalten und Wartungsbedarf aller Komponenten und insbesondere zur Alterung der Batterie verwendet. Daraus können unter Berücksichtigung der meteorologischen Zeitreihen von 20 Jahren, dem Lastbedarf sowie der ökonomischen Rahmenbedingungen (Kosten der Komponenten, Zinssatz, Personalkostensatz, Wasserstoffkosten, u. a.) die Lebensdauerkosten bestimmt werden. Mit einem leistungsfähigen Optimierungsalgorithmus werden typischerweise 20 bis 30 Parameter der Systemauslegung, der Komponentenauswahl und Betriebsführung unter Berücksichtigung ihrer Wechselwirkungen optimiert.

Für den Standort Madrid konnten für das PV-Brennstoffzellensystem bei einem effektiven Zinssatz von 5% Stromgestehungskosten von 1,82 Euro/kWh bei optimaler Systemauslegung bestimmt werden. Das System hat eine solare Deckungsrate von rund 93%. Dabei wurden keine Kosten für die Brennstoffzelle selber berücksichtigt, da es bislang nur Prototypen gibt, deren Preis nicht repräsentativ ist. Im Preis enthalten sind aber die Kosten für den Wasserstoff. Die Wasserstoffkosten betragen bei Bezug in Standarddruckgasflaschen pro erzeugter kWh elektrischem Strom rund 2,50 Euro/kWh.

6 Ausblick

Beide Stromversorgungssysteme basierend auf den unterschiedlichen Konzepten werden im ersten Halbjahr 2002 aufgebaut. Dabei kommen CIS-Module der Firma Würth Solar mit etwa 1,3 kWp zusammen mit einem neu entwickelten Laderegler mit MPPT für die CIS-Module zum Einsatz. Beide Systeme werden einem ausführlichen Monitoring unter realen Feldtestbetriebsbedingungen unterzogen.

Das Projekt zeigt einerseits die immer noch erheblichen Entwicklungsaufgaben im Bereich der Brennstoffzelle und andererseits die Komplexität der Systemtechnik für das komplette System. DC/DC-Wandler, die die elektrischen Eigenschaften einer Brennstoffzelle berücksichtigen, sind nicht am Markt erhältlich. Die Kosten für den Metall-Hybrid-Speicher liegen noch sehr hoch. Alle Wasserstoffkomponenten (Elektrolyseur, Hybrid-Speicher und Brennstoffzelle) haben erhebliche Probleme mit Temperaturen im Gefrierbereich. Zufriedenstellende Lösungen stehen noch aus. Das Energiemanagementsystem muss an die individuellen Anforderungen aller Komponenten und des Gesamtsystems angepasst werden. Hier besteht erheblicher Bedarf für standardisierte Komponentensteuerungen, Kommunikation und Energiemanagementsysteme.

Das Projekt FIRST wird unter Koordination von INTA, Spanien gemeinsam mit den spanischen Forschungsinstituten CIEMAT und ICP-CSIC, der französischen Firma Air Liquide, der italienischen Firma Nuvera Fuel Cells sowie Würth Elektronik und dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE aus Deutschland durchgeführt. Als Beobachter nehmen die Firmen INABENSA und CHLORIDE aus Spanien teil. Firmen mit Interesse an netzunabhängigen Stromversorgungen für die Telekommunikation sind eingeladen, ebenfalls als Beobachter teil zu nehmen. Das Projekt wird in Teilen von der Europäischen Gemeinschaft im Rahmen des Forschungsvertrages ERK5-CT1999-00018 finanziert.

¹TALCO – Technical and least cost optimisation, Simulations- und Optimierungsprogramm zur Minimierung der Lebensdauerkosten von autonomen Stromversorgungssystemen am Fraunhofer ISE.