



Multifunktionale Photovoltaik-Wechselrichter – Optimierung von Industrienetzen und öffentlichen Netzen

Jürgen Reekers, Mario Vogel
SMA Technologie AG
Hannoversche Str. 1 – 5, D-34266 Niestetal
Tel.: +49 (0) 561 9522-3321, Fax: +49 (0) 561 9522-100
E-mail: juergen.reekers@sma.de
www.sma.de



Jörg Jahn, Markus Landau, Philipp Strauß
Institut für Solare Energieversorgungstechnik e.V.
Königstor 59, D-34119 Kassel
Tel.: +49 (0) 561 7294-146, Fax: +49 (0) 561 7294-200
E-mail: jjahn@iset.uni-kassel.de
www.iset.de

Zusammenfassung

Photovoltaische Stromrichter sind prinzipiell in der Lage Zusatzfunktionen zu übernehmen. Der hier vorgestellte multifunktionale Photovoltaik-Stromrichter ist mit einem Batteriespeicher ausgerüstet und soll durch die Zusatzfunktionen: USV-Betrieb, Spannungsverbesserung und Energiemanagement die Integration und Wirtschaftlichkeit von großen Photovoltaikanlagen im industriellen Umfeld verbessern. Im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsprojektes wird ein Gerät im 100-kW-Leistungsbereich entwickelt und mit einer realen PV-Anlage an einem Industrienetz erprobt. Die Ziele und bisherige Ergebnisse des Projektes werden präsentiert.

Abstract

Principally PV inverters are able to perform additional functions. The Multifunctional PV inverter presented here is equipped with a battery storage and shall improve the integration and profitability of large PV-systems in industrial applications with the additional options: ups-functionality, improvement of power quality and energy management. An

Inverter system in the power range of 100 kW is being developed in the frame of the R&D-project and will be proven with a real PV-system in an industrial environment. The aims and actual results of the project are described in this paper.

1 Einleitung

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) geförderten FuE-Verbund-Projektes „Multifunktionale Photovoltaik-Stromrichter“ werden die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten für den Betrieb von PV-Stromrichtern mit Zusatzfunktionen zur Netzverbesserung untersucht. Hierbei liegt der Fokus auf großen PV-Anlagen ab 100 kW_p, die in Industrie- oder Gewerbenetzen betrieben werden sollen.

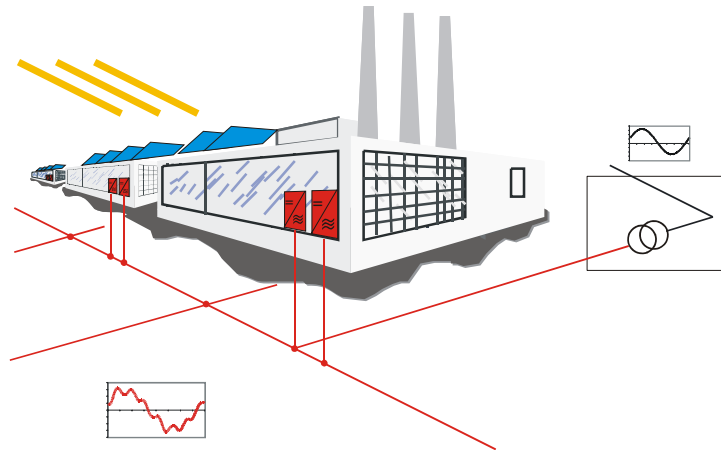


Abbildung 1: Die Projektidee

Die Industrienetze der Projektpartner Hübner GmbH und DaimlerChrysler AG, Werk Kassel dienen in diesem Projekt als Beispiele für die konkrete technische bzw. wirtschaftliche Umsetzung. Diese Industrienetze befinden sich im Versorgungsgebiet eines weiteren Projektpartners, der Städtische Werke AG (Kassel).

Das ISET und die SMA sind für die inhaltliche Bearbeitung der verschiedenen wissenschaftlichen, technischen und wirtschaftlichen Fragestellungen sowie die Umsetzung des Labormusters und der Prototypenanlage verantwortlich.



2 Motivation

Der deutsche Markt für PV-Anlagen ist den vergangenen Jahren stetig gewachsen und betrug im Jahr 2005 600 MW_p (vgl. Statistik des BSW e.V. /1/). Neben den Stringwechselrichtern im Leistungsbereich von 1 kW bis 8 kW ist in den letzten Jahren auch der Bereich der Großwechselrichter mit Einzelgeräten von 100 kW bis 1 MW überproportional gewachsen. Diese Anlagen werden bei Freiflächenanlagen und wegen der besseren Flächennutzung und höherer Vergütung oft auch auf Industrie- oder Gewerbedächern eingesetzt.

Der Grund für das starke Marktwachstum in Deutschland ist das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). Um das Marktvolumen halten oder ausbauen zu können, ist jedoch eine Kostensenkung oder ein Mehrwert durch einen erhöhten Kundennutzen der Anlagen erforderlich. Die Verfahren, die im Rahmen des Projektes entwickelt werden, können hier einen wichtigen Beitrag zur Wirtschaftlichkeit leisten. Insbesondere beim Einsatz im industriellen Umfeld kann über die reine Solarstromspeisung hinaus ein direkter Mehrwert für den Nutzer der Anlage geschaffen, und somit die Wirtschaftlichkeit der Anlagen weiter verbessert werden.

Das multifunktionale System soll neben der Wirkleistungspeisung auch zur Spannungsverbesserung und als unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) für einen abgegrenzten Netzbereich genutzt werden. Ein weiteres Ziel ist, den für die USV-Funktionalität notwendigen Speicher auch zur Abdeckung von Spitzenlasten bzw. für das Energiemanagement zu nutzen. Bei dem wachsenden Anteil an dezentralen Einspeisern am Netz gewinnt dies für die Qualität unserer Stromversorgung immer größere Bedeutung. Neben der Verbesserung der Netzqualität und der Verfügbarkeit für den einzelnen Nutzer, beispielsweise die Erhöhung der Versorgungssicherheit für eine Industrieanlage durch die USV-Funktionalität, könnten diese Systeme auch gezielt genutzt werden, um eine höhere Dichte von dezentralen Einspeisern zu ermöglichen.

Auch außerhalb des deutschen Marktes gibt es vielfältige Bestrebungen, den Einsatz von Strom aus erneuerbaren Energiequellen Vorrang vor konventionell erzeugtem Strom einzuräumen. Hier sind beispielsweise die europäischen Nachbarn Spanien und Italien sowie Japan und die USA zu nennen. Damit ergibt sich ein Anwendungspotenzial weit über den deutschen Markt hinaus. Die Kombination von Netzeinspeisung, Netzersatzfunktion und Netzverbesserung hat in Gebieten mit sehr schlechter Netzqualität schon heute einen sehr hohen Stellenwert. In Ländern wie beispielsweise Indien, wo in ganzen Gebieten aufgrund von Überlasten regelmäßig Netzbereiche abgeschaltet werden, gibt es für Funktionen wie Netzersatz und Netzstützung einen sehr großen Bedarf.

3 Das Konzept des Multifunktionalen Photovoltaik-Stromrichters

Der multifunktionale Stromrichter soll prinzipiell die gleiche Topologie nutzen, wie sie heute bei großen PV- Wechselrichtern eingesetzt wird und damit auf den Erfahrungen aufbauen, die mit den Systemen im Leistungsbereich > 100 kW gemacht wurden. Im Folgenden sind die Funktionen beschrieben, die mit multifunktionalen Photovoltaik-Stromrichtern (kurz Multi-PV) realisiert werden sollen. Die verschiedenen Funktionen sind dabei jeweils separat dargestellt, werden aber im Betrieb auch parallel laufen und sich gegenseitig beeinflussen. Die Spannungsverbesserung ist z. B. für alle netzgekoppelten Betriebsarten vorgesehen. Die Optimierung und Abstimmung der Regelungs- und Betriebsführungsfunktionen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist in diesem Zusammenhang ein wichtiger Aspekt des Projektes.

3.1 Netzeinspeisung der Solarenergie

Die verlustarme Einspeisung des Solarstroms in das Versorgungsnetz ist weiterhin die Hauptaufgabe des Systems. Ein hoher Wirkungsgrad ist dabei aus ökonomischen Gründen weiterhin notwendig. Die Topologie für den Multi-PV wurde so gewählt das im Netzeinspeisebetrieb ein maximaler Wirkungsgrad erzielt wird. Auch alle weiteren wichtigen Eigenschaften von Solarwechselrichtern, wie ein optimales MPP-Tracking, höchste Verfügbarkeit und Möglichkeiten zur Anlagenüberwachung müssen gegeben sein.

In Abbildung 2 ist die Konfiguration der Pilotanlage dargestellt. Diese unterscheidet sich von Standardanlagen, die nach EEG einspeisen, durch den Batteriespeicher und die bidirektionale Arbeitsweise des Stromrichters. Damit stellt sich eine besondere Herausforderung bei der Erfassung der eingespeisten Solarenergie, die entsprechend der aktuellen Gesetzeslage nach EEG abgerechnet werden soll. Neben den eigentlichen Gerätefunktionen sollen in dem Projekt in Abstimmung mit den Städtischen Werken neue Verfahren zur Energieerfassung entwickelt werden, die es ermöglichen, die Solarenergie separat von in der Batterie gespeicherter Energie erfassen zu können. Ziel ist ein einfaches, kostengünstiges Verfahren zu entwickeln, das es ermöglicht, die Energieflüsse im System mit einer Genauigkeit zu erfassen, die für die Abrechnung gemäß EEG erforderlich ist.

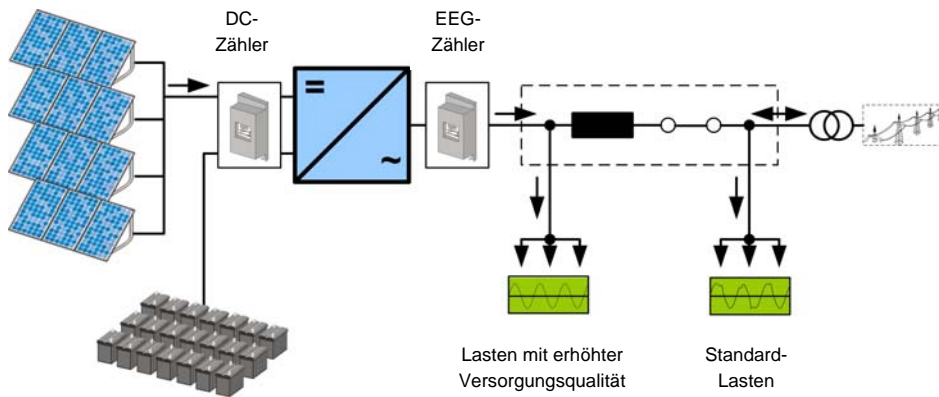


Abbildung 2: Multifunktionaler Photovoltaik-Stromrichter im Einspeisebetrieb

3.2 USV-Betrieb und Spannungsverbesserung

Der USV-Betrieb ist für kritische Produktions- oder Gewerbebereiche eine Zusatzfunktion mit hohem Kundennutzen. Ziel ist hierbei die Verbraucheranlage bei einem Netzausfall ohne Betriebs- und Funktionsstörungen weiter betreiben zu können. Im Unterschied zu konventionellen USV-Anlagen kann mit dem Multi-PV die Solarenergie auch während eines Netzausfalles weiter genutzt werden. Die mögliche Betriebszeit einer Anlage bei Netzausfall kann sich so erheblich verlängern. Bei angepasster Verbraucherleistung ist sogar ein Dauerbetrieb möglich.

Die Topologie des Multi-PV entspricht hier der einer sogenannten Line-Interactive-USV. Das System wird parallel zu den Verbrauchern am Netz betrieben und unterbricht bei Netzfehlern die Netzeinspeisung über einen schnellen Trennschalter. Die Lasten werden dann aus der PV-Anlage (ausreichende Solarstrahlung vorausgesetzt) und dem Batteriespeicher weiter versorgt. Die Trennung vom Netz bei einem Netzausfall sollte innerhalb einer Netz-Halbschwingung erfolgen. Die netzseitige Induktivität ermöglicht aber auch schon vor der Netztrennung eine Stabilisierung der Spannungsamplitude in dem induktiv entkoppelten Bereich. Frequenzänderungen oder Phasensprünge können dagegen nur im Inselbetrieb vom Verbraucher ferngehalten werden. Abbildung 3 zeigt die Leistungsflüsse im USV-Betrieb.

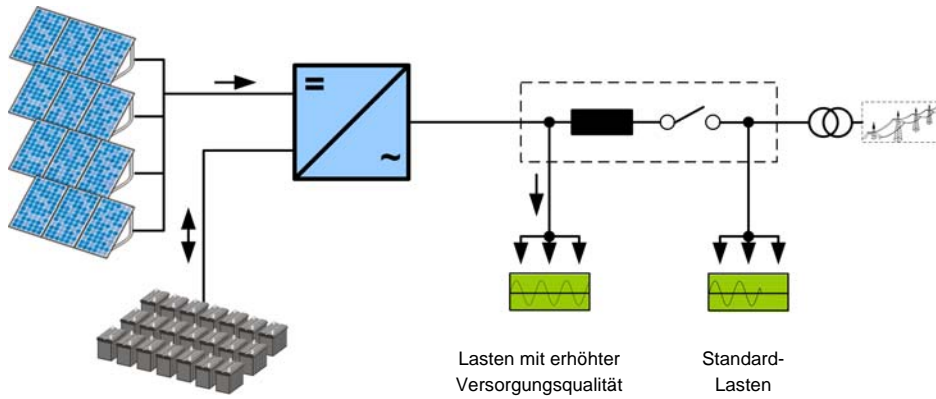


Abbildung 3: Multifunktionaler Photovoltaik-Stromrichter im USV-Betrieb

Die USV-Funktionalität des Multi-PV soll gemäß der IEC 62040-3 klassifiziert werden /2/. In Rahmen der Labortest wird bei Variation der Systemparameter (z.B. Größe der Netzinduktivität, Überstromfähigkeit des Stromrichters, Geschwindigkeit der Netztrennung) die Leistungsfähigkeit des Systems untersucht. Dabei wird die Erfüllung der Anforderungen gemäß Klassifikation 2 der IEC 62040-3 angestrebt.

Die Verbesserung der Spannungsqualität im Industrienetz soll auch unabhängig von der Netzersatzfunktion im Einspeisebetrieb möglich sein. Die Spannungsform und die Amplitude können in dem durch die Induktivität entkoppelten Netzbereich gezielt beeinflusst und damit Spannungseinbrüche oder Spannungsspitzen reduziert werden. Neben den Aspekten der Netzverbesserung müssen natürlich die Auswirkungen auf den Gesamtbetrieb des Systems (Wirkungsgrad im Einspeisebetrieb, Investitionskosten) berücksichtigt werden.

3.3 Management der Netzkoppelstelle

Im Netzverbund ergeben sich durch den integrierten Batteriespeicher weitere Nutzungsmöglichkeiten. Das System soll so gestaltet werden, dass der Anlagenbetreiber über eine Kommunikationsschnittstelle eine Sollleistung für die Netzeinspeiseleistung vorgeben und die Batterieladung freigeben kann. Das Zeitraster beträgt entsprechend den Fahrplänen für den Energiehandel 15 Minuten. Neben der konkreten Umsetzung der notwendigen Funktionen auf Geräteebeane werden in dem Projekt auch verschiedene Ansätze zur Einbindung solcher Anlagen in den Regelenenergiemarkt betrachtet. Bei der Leistungsgröße der Anlagen, die üblicherweise im Bereich von 100 kW bis zu mehreren MW liegen kann, ist ein Handel der relativ kleinen Energiemengen direkt an einer Börse noch nicht möglich. In dem weiteren BMU-Projekt DINAR werden solche Möglich-



keiten eruiert /3/. Momentan bietet sich hier jedoch das konzertierte Steuern einer größeren Anzahl von Speichereinheiten zu einem virtuellen Kraftwerk an (engl. pooling). Die folgende Abbildung illustriert diesen Modus.

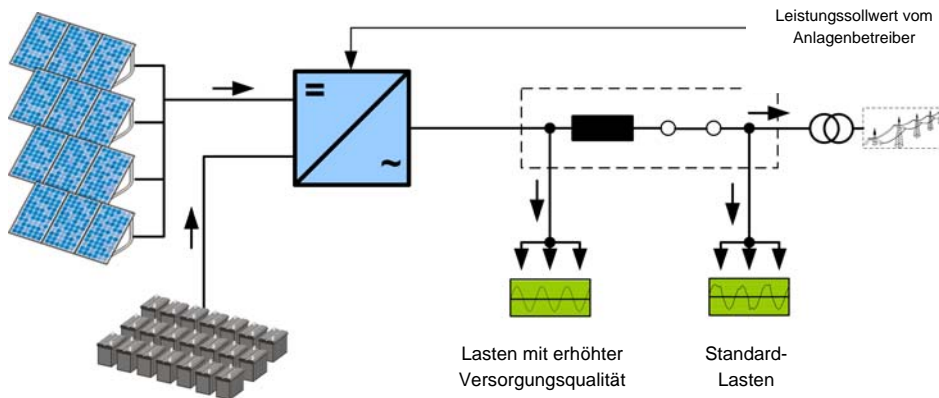


Abbildung 4: Multifunktionaler Photovoltaik-Stromrichter mit externer Leistungsvorgabe

Zusätzlich zu diesem quasistationären Verhalten kann aber auch das dynamische Regelverhalten des Systems so angepasst werden, dass in kritischen Situationen ein stabilisierendes Verhalten für das Versorgungsnetz gegeben ist. So kann das System, abgeleitet von den elektrischen Größen Spannung und Frequenz, an der Netzkoppelstelle den Wirk- und Blindleistungsfluss gezielt steuern. Beim Absinken der Netzfrequenz unter definierte kritische Werte kann z. B. kurzfristig möglichst viel Wirkleistung eingespeist werden, um das Netz zu stabilisieren, bevor sich der Multi-PV vom Netzverbund trennt. Bei einer Einzelanlage wäre der Effekt zwar zu vernachlässigen, im Hinblick auf einen immer größer werdenden Anteil an dezentralen Einspeisern sind solche Maßnahmen jedoch perspektivisch sinnvoll, um einen Dominoeffekt bei Netzstörungen zu vermeiden.

Ein weiterer Ansatz ist die Minderung von dynamischen Leistungsschwankungen, die sich aus dem schwankenden Leistungsangebot von der Solarseite oder aus Lastsprüngen ergeben können. Der Batteriespeicher eröffnet hier die Möglichkeit den Gradienten für die einstrahlungs- oder verbraucherbedingten Leistungsänderungen zu begrenzen. Bei sehr großen Anlagen in schwachen Netzen könnten mit dieser Funktion Flicker vermieden werden.

4 Realisierung

Das Projekt sieht zwei zeitlich gestaffelte Erprobungsphasen vor. Für die erste Phase mit einer ca. halbjährigen Erprobung im Versuchsnetz des ISET Test- und Experimentierzentrums DeMoTec, wurde ein Labormuster aufgebaut, das in diesem Jahr in den Testbetrieb gehen soll. Anschließend wird ein Prototyp aufgebaut, der zunächst ebenfalls im DeMoTec in Betrieb genommen und anschließend im Industrienetz der Fa. Hübner in Kassel erprobt wird.

4.1 Vorgehen bei der Entwicklung

ISET und SMA setzen bei der Entwicklung des Multi-PV neue Designverfahren ein. So findet die Entwicklung der Regelungs- und Betriebsführungssoftware weitgehend modellbasiert statt. Hierbei wird zunächst ein Systemmodell mit allen Komponenten erstellt, wozu auch die externen Komponenten wie PV-Generator, Batterie, Netz und Lasten gehören. Das Systemmodell dient zunächst der Definition und Überprüfung der prinzipiellen Funktionen und Eigenschaften des Multi-PV in der vorgesehen Umgebung. Die Komponenten werden in mehreren Schritten detailliert, bis die tatsächlichen Funktionen, wie sie in der Regelungs- und Betriebsführungssoftware benötigt werden, entwickelt sind. Aus den Modellen kann dann direkt der Software-Code für die Zielhardware generiert werden (Automatische Code-Generierung). Abbildung 5 verdeutlicht dieses Vorgehen.

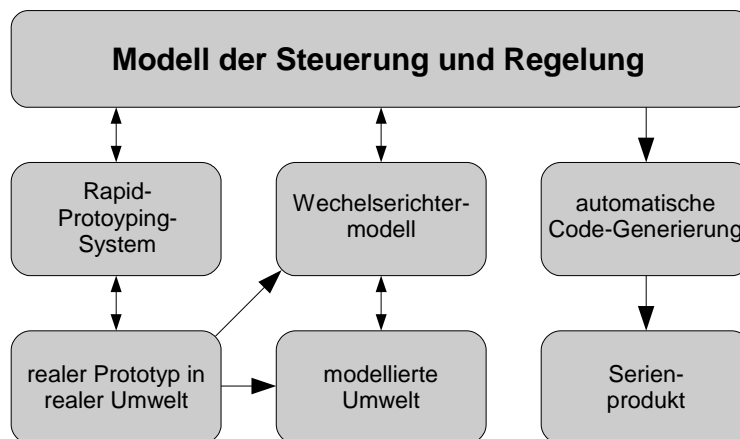


Abbildung 5: Vorgehensweise bei der modellbasierten Entwicklung der Steuerung



Die Erprobung wird dann auf zwei unterschiedlichen Hardwareplattformen erfolgen:

Das ISET arbeitet am Labormuster mit einem Rapid-Prototyping-System und SMA implementiert die entwickelten Steuerung- und Regelungsfunktionen auf eine neue Hardware-Plattform, die später auch in ähnlicher Form in der Serie eingesetzt werden kann. Änderungen und Optimierungsschritte werden immer auf der Modellebene durchgeführt. Für beide Entwicklungsplattformen wird dabei auf die gleichen Modelle zurückgegriffen. Dieses Vorgehen ermöglicht ein schnelles Vorgehen bei der Entwicklung. Abbildung 6 zeigt das Labormuster des Multi-PV.

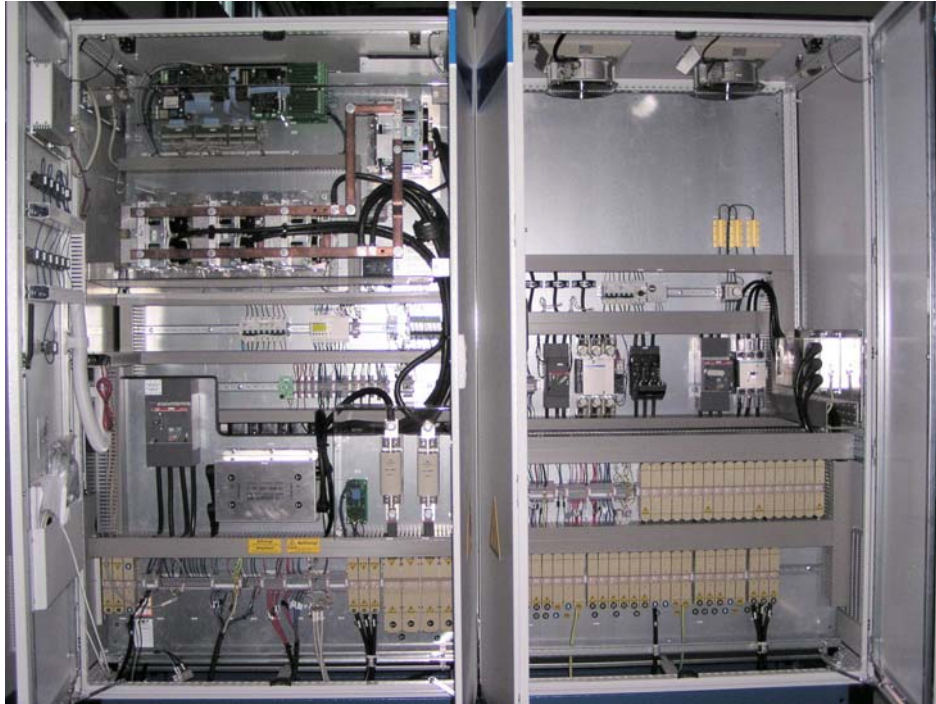


Abbildung 6: Labormuster des multifunktionalen Photovoltaik-Stromrichters (links) mit der Entkopplungsinduktivität (rechts)

Die Ergebnisse aus dem Testbetrieb des Labormusters werden direkt zur Optimierung des Prototypen für den Pilotbetrieb in der realen Industrieumgebung genutzt.

4.2 Pilotbetrieb in einem Industrienetz

Während zur Entwicklung des Labormusters die Umgebung des Test- und Experimentierzentrums DeMoTec des ISET genutzt wird, ist für den Praxisbetrieb des Prototypen ein geeigneter Industriestandort mit Photovoltaikanlage, Industrienetz und sensiblen Lasten ausgewählt worden. Auf dem Hallendach der Hübner GmbH haben die Städtische Werke AG eine netzgekoppelte 100-kWp-Photovoltaikanlage errichtet (siehe Abbildung 7). Diese wurde am 8. Juni 2006 offiziell in Betrieb genommen und arbeitet zunächst mit einem Standard-Photovoltaik Wechselrichter Sunny Central SC 100. Mit dem Aufbau neuer Produktionslinien wird das Industrienetz mit sensiblen Lasten in den nächsten Monaten entstehen.



Abbildung 7: 100-kWp-Photovoltaikanlage auf dem Hallendach der Hübner GmbH

Der Pilotbetrieb soll Anfang 2008 beginnen und ein Jahr andauern. Hierzu wird ein Container mit dem Prototypen des Multi-PV einschließlich des Batteriespeichers und der Messtechnik vor Ort aufgestellt und die Anlage in das Netz integriert.

5 Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick

Im Rahmen des Projektes wurde ein Realisierungskonzept für multifunktionale Photovoltaik-Stromrichter erstellt und die Voraussetzungen für die Erprobung geschaffen. Bei der aktuellen Entwicklung der Betriebsführung und Regelung werden neue Verfahren der modellbasierten Entwicklung eingesetzt. Die Ergebnisse können sowohl für das Labormuster im Test- und Experimentierzentrum DeMoTec wie auch für den Prototypen, der für die Erprobung im industriellen Umfeld bei der Fa. Hübner vorgesehen ist, direkt genutzt werden. Der mehr als einjährige Probetrieb unter den realen Bedingungen



eines produzierenden Betriebes wird in die Definition des vorgesehenen Serienproduktes einfließen.

Neben dem Einsatz in Deutschland und im europäischen Ausland werden große Marktpotenziale auch in Schwellenländern mit instabilen Stromversorgungssystemen gesehen. Hier können sich durch das Konzept neue Anwendungsfelder für die Photovoltaik eröffnen.



6 Literatur

- /1/ Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (BSW) i.G.,
www.solarwirtschaft.de
- /2/ W.H. Wellßow: USV-Anlagen – Technologien, Einsatzmöglichkeiten und Entwicklungstrends, etz, VDE-Verlag, Heft 19/2002
- /3/ C. Bendel, D. Nestle: Decentralized Electrical Power Generators in the Low Voltage Grid – Development of a Technical and Economical Integration Strategy, International Journal of Distributed Energy Resources, ISSN 1614 7138, Kassel, Januar-März 2005 Vol 1 No1, pp. 63-70.