

Auslegungs- und Betriebserfahrungen bei Megawattanlagen

Bodo Giesler • Mike Zehner** • Toni Weigl***

**Siemens AG, I IA SE S PV, Würzburger Strasse 121, D-90766 Fürth
Tel: 0911/750-2717, Fax: 0911/750-2246
<http://www.siemens.de/sinvert>, bodo.giesler@siemens.com*

***Hochschule München, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik,
Arbeitsgruppe des SE-Labors im Studiengang REE, 80323 München,
Tel: 089/1265-4412, Fax: 089/1265-3403, zehner@ee.hm.edu*

1 Auslegungskriterien für MWp-Anlagen im Wandel der Zeit

In den letzten 20 Jahren veränderten sich immer wieder die Ziele, auf die bei der Auslegung von MWp-Anlagen hingearbeitet wurde. Zu Beginn, Anfang der 90er Jahre, wurden die größeren netzgekoppelten PV-Anlagen aus vielen kleineren bis mittleren Wechselrichtereinheiten aufgebaut. Die Zusammenschaltung von PV-Modulen zu großen PV-Generatoren bis in den MWp-Bereich war unbekannt. PV-Module wurden speziell für den Anwendungsfall der PV-Inselsysteme konzipiert und optimiert mit Batterieladung von 12 V, 24 V oder 48 V (33 bis 36 PV-Zellen für 12-V- oder 72 Zellen für 24-V-Ladung). Erst durch das 1000-Dächer-Programm ab 1990 wurden PV-Module in größerem Umfang zur Netzeinspeisung verwendet. Erste frühe MWp-Anlagen in den USA¹ wurden wegen systemtechnischer Fehler wieder demontiert. In Italien gab es nur Anlagen mit viel zu hohen Leckströmen², die nicht personensicher ausgeführt wurden. In dieser Zeit begann die Entwicklung der Systemtechnik speziell für Großanlagen. Module wurden beispielsweise leistungsorientierter gebaut (rahmenlos – dadurch geringere Schneehaftung, Verschmutzung, Zelltemperaturen). Es wurden die ersten größeren Wechselrichtereinheiten im Leistungsbereich von 100 kWp verwendet. 1997 wurde die damals weltweit größte Aufdachanlage (1 MWp auf der Neuen Messe München) und erste MWp-Anlage mit einem Zentralwechselrichter in der Master-Slave-Technologie von Siemens errichtet. Bei diesem PV-Kraftwerk wurde die Modul-, Anschluss-, Wechselrichter- und Systemtechnik auf langzeitstabile und personensichere Basis gestellt. In dieser Anlage wurde auch erstmals ein Beobachtungs- oder Überwachungssystem auf Kraftwerksstandard eingesetzt (WinCC³).

¹ Carissa Plains, Kalifornien, USA

² Norditalien – kleine 10-kWp-Anlagen: wurden mit Zaun und einigen Ampere Leckstrom betrieben.

³ Simatic WinCC ist ein PC-basiertes Prozessvisualisierungs- und -leitsystem der Siemens AG

WinCC wurde seit dieser ersten Adaption kontinuierlich weiter auf den PV-Anlageneinsatz hin optimiert und erfolgreich eingesetzt. In der Anlagenplanung wurden alle Komponenten einzeln und auch im Zusammenspiel optimiert. Ziel der integralen Anlagenplanung war eine ertragsoptimierte Anlage, die über Jahrzehnte hohe und stabile Erträge generiert. Mit dieser Vorgängeranlage aller heutigen MWp-Anlagen, werden seit über 10 Jahren die technischen Möglichkeiten bis hinein in den Großanlagenbereich erfolgreich demonstriert. Mit Einführung des EEG im April 2000 wurde der Focus der bis dahin gültigen MWp-Anlagenauslegung einer reinen ertragsoptimalen, langzeitstabilen und personensicheren Funktionalität, um betriebswirtschaftliche Optimierungen ergänzt: Jetzt wurde bis in den Promillebereich hinein systematisch untersucht, an welchen Stellschrauben das Kosten-Nutzenverhältnis der Anlage verbessert werden konnte.

2 Betriebsergebnisse von MWp-Anlagen und Betriebsführung

2.1 1,016-MWp-PV-Anlage ‚Neue Messe München‘

Bei den Vorbereitungen zur 1-MWp-Anlage auf der Neuen Messe München wurde, wie schon angedeutet, intensiv an der Systemtechnik gearbeitet. Basisuntersuchungen, Modulaufbau und Kabelkosten betreffend, führten zu einem Hochstrommodul mit 2 mal 3-A-Zellen parallel und zwei Anschlussdosen die erstmals mit MC-Stecker zur schnellen Montage optimiert wurden. Bei Optimierung der DC-Verkabelung wurde auf identische Kupferwiderstände geachtet – bis hin zu den Anschlusskästen – die durch unterschiedliche Kabelquerschnitte erzielt wurden. Studien zur Verschattungsoptimierung ergaben einen idealen Anstellwinkel von 28° bei einem Verschattungswinkel von 15° in einreihigem Modulaufbau. Die Optimierung des Zusammenspiels der Komponenten führte zu einer neuen Theorie zur Wechselrichtererauslegung. Die Betriebsdaten dieser PV-Anlage zeigen wie wertvoll diese Entwicklungs- und Auslegungsarbeiten im Ergebnis waren und sind. Die PV-Anlage zeigt seit 12 Jahren stabile Performance-Ratio-Werte um 80% (80,7% in 2008) und spezifische Jahreserträge von beispielweise 1050 kWh/(kWp*a) in 2008.

2.2 1,8-MWp-PV-Anlage ‚Höslwang‘

In Höslwang ist 2004 erstmals eine 1,8-MWp-Zentralwechselrichteranlage im Master-Slave-Slave-Slave verschaltet worden, für die höchste energetische Verfügbarkeit. Auch hier sind umfangreiche Studien zur Verschattung und Systemauslegung dem Bau vorausgegangen. Wegen des ländlichen Versorgungsnetzes erfolgt hier eine netzfreundliche synchronisierte Mittelspannungszuschaltung nach nächtlicher Trafosabschaltung, zur Minimierung der Rückwirkungen auf das Versorgungsnetz.

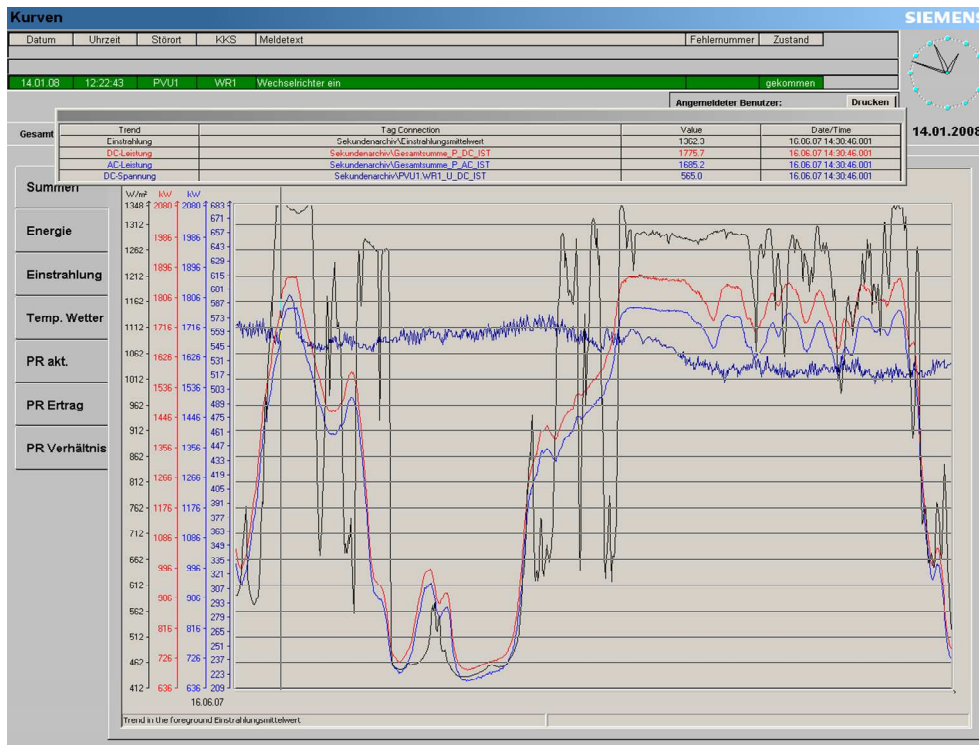


Bild 1: Einstrahlungsspitzen von 1360 W/m² und Abregelung bei 1860 kW in Höselswang.

20. Juli 2008

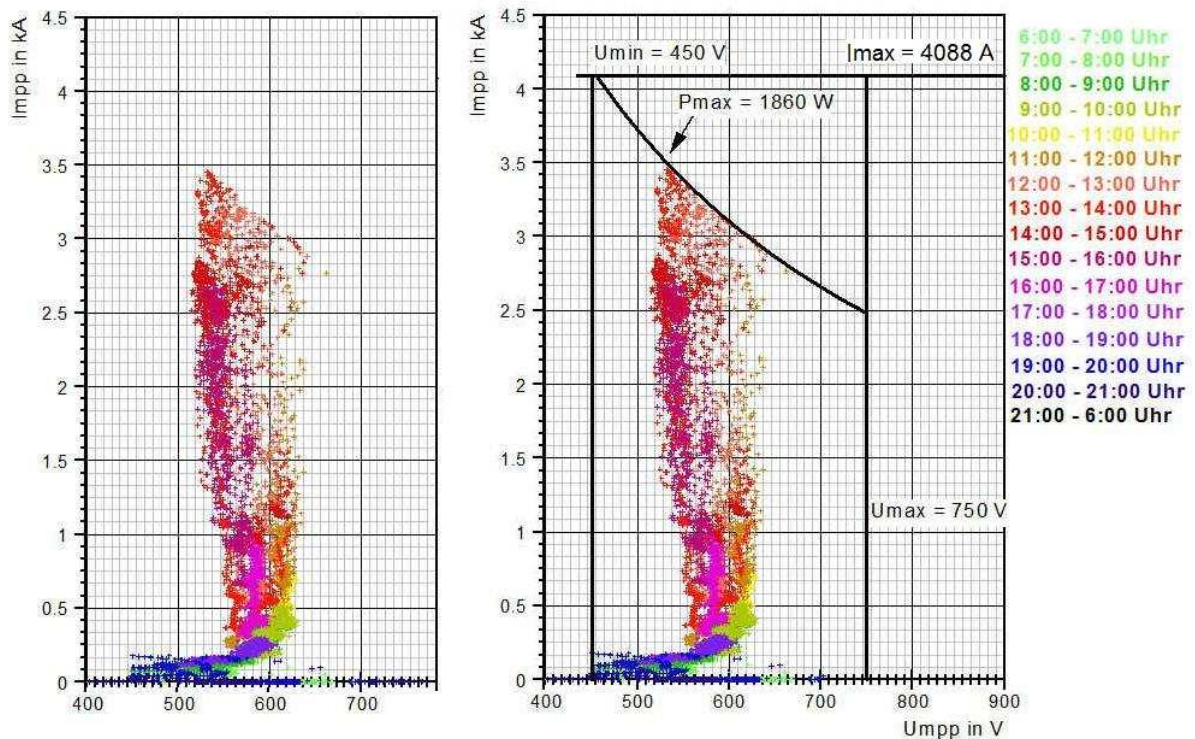


Bild 2: Links der Tagesverlauf der MPP-Werte der 1,8-MWp-Anlage ‚Höselswang‘. Rechts sieht man den Tagesverlauf mit Wechselrichterbetriebsfenster. Dadurch wird die Leistungsbegrenzung sichtbar.

Basierend auf den Sekundenmesswerten des WinCC-Systems konnten Systemoptimierungen im laufenden Betrieb durchgeführt werden und die Abregelgrenze erhöht werden (Bild 1). Das MPP-Regelverhalten und die Tagesspannungswerte zeigt Bild 2. Mit der Integration des Wechselrichterbetriebsfensters ist auch die Abregelung bei der DC-Nennleistung von 1860 kW der Wechselrichter deutlich zu erkennen. Selbst bei der in Höslwang gewählten 1,03:1-Auslegung von Wechselrichter-DC- zu PV-Generatornennleistung, erfolgen noch Leistungsbegrenzungen. 2008 sind PR-Werte von 82,6% bei 1116 kWh/(kWp*a) erzielt worden.

2.3 5-MWp-PV-Anlage ‚Leipziger Land‘

Im Leipziger Land ist 2004 die damals größte 5-MWp-Freiflächenanlage errichtet worden. Die integrale Datenerfassung über WinCC bis hin zur Mittelspannung, ermöglichte sehr schnell festzustellen, dass der Netzbetreiber die Mittelspannung zu hoch eingestellt hatte. Durch die über die TAB erzwungene Abschaltung der Anlage bei Überschreitung der maximal zulässigen Netzspannung traten deutliche Abregelung am Wochenende auf, die durch eine Softwareanpassung in ein ‚Soft Aus‘ geändert wurden. Statt hart an der Grenze 5 MW abzuschalten, erfolgte am folgenden Wochenende schon eine spannungsabhängige Leistungsbegrenzung mit Netzstabilisierung. Mit Hilfe von WinCC-Screenshots konnte der Techniker des Netzbetreibers überzeugt werden, das Mittelspannungsnetz zum folgenden Wochenende auf eine geringere Spannung einzustellen, so dass keine Abregelung mehr notwendig wurde. Durch die optimierte Auslegung mit 8% höherer DC-Wechselrichterleistung als PV-Generatorleistung erfolgt hier keine Leistungsabregelung. Auch hier hat die PV-Anlage stabile Performance-Ratio-Werte über 83% und spezifische Jahreserträge von beispielweise 1013,4 kWh/(kWp*a) in 2008.

2.4 Technische Betriebsführung für höchste Verfügbarkeiten

Mit einem 10-MWp-System können in Deutschland bis zu 70.000 kWh am Tag erzeugt werden. Zur Gewährleistung und Sicherung des optimalen Energieeintrags ist es notwendig mögliche Fehler vorab durchzuspielen: Welche Art Störungen können passieren, sind Störungen aller Art identifizierbar und wie teuer ist welcher Anlagenausfall? Wie und wie schnell werde ich informiert? Wie kann ich Ausfallkosten reduzieren? Bei den täglichen Erträgen dieser PV-Kraftwerke führt der Anlagenausfall schnell zu vielen zehntausenden Euro an entgangenem Ertrag. Ebenso summieren sich mögliche Verluste bei versteckten Fehlern oder nicht erkannten Optimierungspotentialen schnell auf. Daher ist ein Überwachungssystem und eine technische Betriebsführung bei MWp-Systemen eigentlich eine Selbstverständlichkeit.

Die Ein- und Ausschaltsschwellen, sowie die Umschaltsschwellen der Master-/Slavegeräte könnten energetisch optimiert werden. Ein professionelles Beobachtungssystem (mit detaillierter Realtimeüberwachung zur Fehlererkennung) sollte auch systemtechnische Optimierungen ermöglichen (Bild 3).

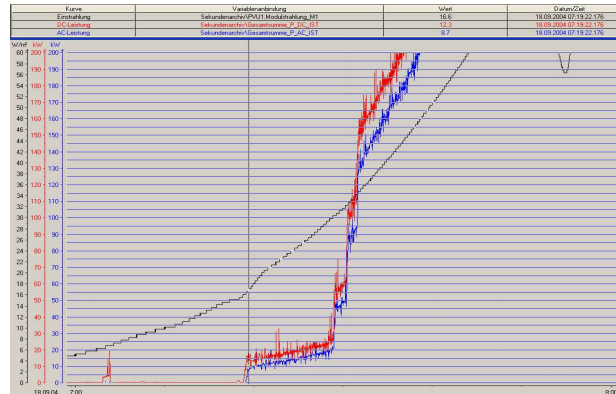


Bild 3: WinCC-Screenshot dessen Analyse eine zu späte Zuschaltung zeigt und behebbar machte

3 Auslegung, Vor- und Detailplanung bei Megawattanlagen

In der Anlagenplanung sollte die Optimierung des Zusammenspiels aller Komponenten auf jeden Fall mit aktuellen Programmen und hoch aufgelösten Einstrahlungsdatensätzen vorgenommen wurden. Die Basisanpassung des MPP-Bereichs der Wechselrichter und das mögliche Temperaturfenster mit dem ausgewählten Modul werden so sinnvoll und verständlich optimiert. Mit einfachen Screenshots ist das von den Planern vorgesehene Verhalten jederzeit nachprüfbar. Bei optimalen Anlagen ist fast keine Abregelung vorhanden. Bei einer 1:1-Auslegung, treten bei einer 1-MWp-Anlage schon bezogen auf Minutenmittelwerte Abregelungsverluste von 1-2% auf.

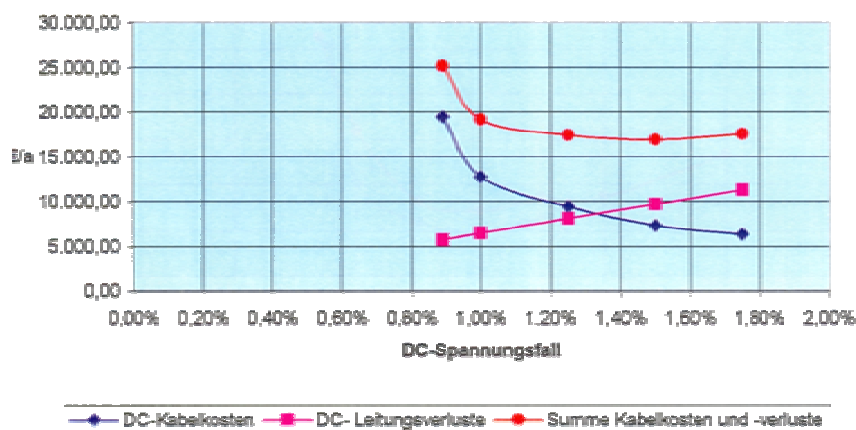


Bild 4: Der Einfluss der Kabelverluste wird oft unterschätzt und sollte gerechnet werden

Ein weiterer Teil der Auslegungsarbeit ist die Planung der DC-Verkabelung (Bild 4). Die Wechselrichter sollten im geometrischen Schwerpunkt jedes Teilsystems ange-

ordnet werden. Üblicherweise werden dabei die Kabelverluste gegen die Kabelkosten gerechnet. Mit steigenden Kabelquerschnitten sind die Kabelverluste zu verringern, aber kleiner 1% DC-Spannungsabfall steigen die Kosten deutlich überproportional an. Die Leitungsverluste (Mindererträge über 20 Jahre sind zu berücksichtigen) ergeben einen linearen Anstieg zu höheren Spannungsabfällen. Wenn jetzt die Summe aus beiden ermittelt wird, ergibt sich für jede Anlage ein spezifisches breites Minimum um 1,5%, das im Wesentlichen von der Anlagenaufbautopologie, von der aktuellen Einspeisevergütung und vom aktuellen Kupferpreis abhängt.

Leider sind oftmals die Vorplanung und auch die Flächenbelegungsrechnung mangelhaft. Hier werden Ertragsoptimierungen verspielt, die vorab aufwendig berechnet wurden. Bei einer ungünstigen Verschattungssituation können bis zu 10% Ertragsverluste entstehen, aber bei Optimierung von Anstellwinkel zu Verschattungswinkel können oftmals noch wichtige Prozentpunkte an Ertragsoptimierung gewonnen werden. Wichtig ist bei der Vorplanung hauptsächlich die Optimierung der Flächenbelegung (Bild 5).

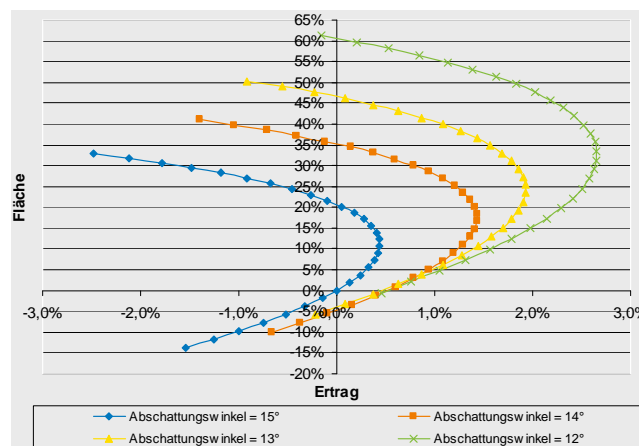


Bild 5: Ertragsgewinn (fest montiertes System) bei Optimierung von Verschattungs- und Neigungswinkel

4 Visionen und Wünsche für zukünftige Megawattanlagen

Adressiert an Komponentenhersteller und Systemplaner sind folgende Funktionalitäten für die kommenden MWp-Anlagen optimal und wünschenswert:

- Funktionaler Blitz- und Überspannungsschutz (da 1 direkter Einschlag/(a*MW))
- Gestelle und Module sollten extremen Wetterlagen (Schnee/Wind) standhalten
- Höhere Modulisolationswiderstände (besser IEC61215), für ‚Über-2-MW-Klasse‘
- Höhere Rückstromfestigkeit (Entfall von Strangsicherungen oder Strangdioden)

Quellen und Referenzen: Studien, FhG ISE kalibrierte Messsysteme und WinCC-Datenaufzeichnungen der genannten Anlagen