

Wissenschaftliche Auswertung des Anlagebetriebs

Das erste Forschungsprojekt befasste sich mit der messtechnischen Überwachung des Kraftwerksbetriebs und der Auswertung der ermittelten Daten. Für die Entwicklung und Realisierung der messtechnischen Ausrüstung und der zugehörigen Software konnte die Ingenieurschule St-Imier EISI als Partner gewonnen werden. Das Vorhaben wurde mit einem namhaften Beitrag des Bundesamtes für Energie unterstützt.

Im Rahmen dieses Projekts wurde eine Vielzahl von Messwerten erfasst, deren Auswertung eine detaillierte Analyse des Betriebsverhaltens der Anlage unter verschiedenen Betriebsbedingungen ermöglichte. Insbesondere interessierte der Energiefluss von der Sonneneinstrahlung bis zur Einspeisung in das Netz und die Wirkungsgrade bzw. Verluste der verschiedenen Teilsysteme.

Im Folgenden sollen einige wichtige Erkenntnisse aus diesen Messungen dargestellt und diskutiert werden.

Elektrizitätsproduktion

Diese Grösse – in Relation zu den Anlagekosten und der installierten Leistung – ist sicher für den Betreiber der wichtigste Wert. Seit der Inbetriebnahme bis heute hat das Kraftwerk eine Elektrizitätsmenge von ca. 5,2 GWh ins Netz eingespeist. Damit ist die in das Sonnenkraftwerk investierte «graue Energie» von ca. 4,4 GWh bereits deutlich amortisiert. Bild 2 zeigt den Verlauf der jährlichen Produktion von der Inbetriebsetzung 1992 bis 2001. In den 8 bisherigen vollständigen Betriebsjahren 1993 bis 2001 ergab sich eine durchschnittliche Jahresproduktion von 544'000 kWh.

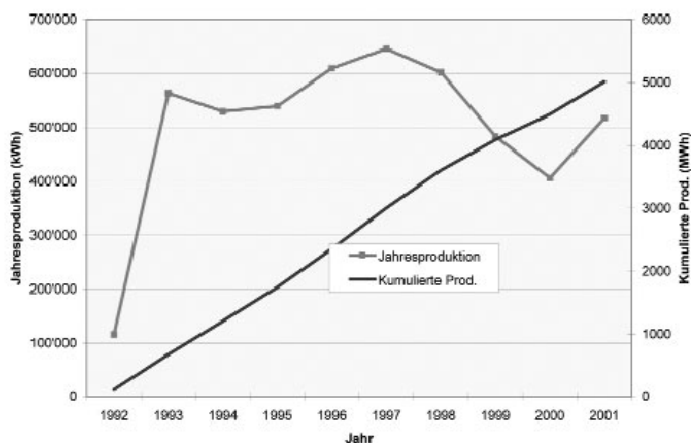


Bild 2:
Jahresproduktion und kumulierte Produktion 1992– 2001

Auffallend sind die Schwankungen der Produktionszahlen. Diese sind zum grossen Teil durch entsprechende Schwankungen der meteorologischen Bedingungen verursacht, teilweise aber auch durch technische und betriebliche Probleme. Obwohl die Anlage automatisch arbeitet, ist eine regelmässige Überwachung des Betriebs und eine rasche Intervention im Störfall wichtig, um Produktionsverluste zu vermeiden.

Neben der Gesamtproduktion ist auch die jahreszeitliche Verteilung von energiewirtschaftlichem Interesse. Obwohl die in relativ steilem Winkel (50°) montierten Module auf eine gute Winterproduktion ausgerichtet sind, ergibt sich aus klimatischen Gründen ein deutlicher Produktionsabfall in den Monaten November bis Februar. Die durchschnittlichen monatlichen Produktionswerte sowie deren Standardabweichung (ein Mass für die Schwankungen in einem bestimmten Kalendermonat) sind in Bild 3 dargestellt.

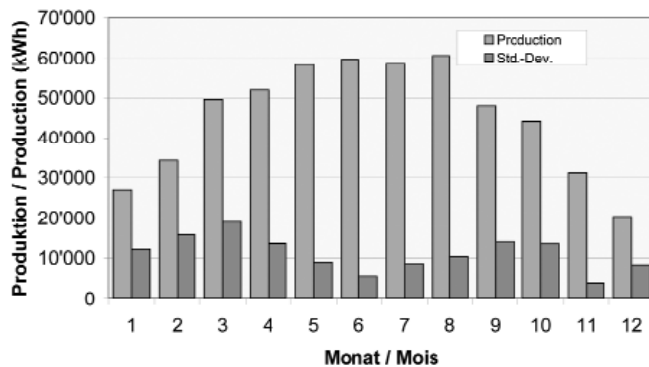


Bild 3:
Mittlere monatliche Produktion 1993– 2001 und deren Standardabweichung (s. Text)

Die Auswertung der Messdaten hat auch gezeigt, dass das Sonnenkraftwerk Mont-Soleil im Vergleich zu andern Schweizer Photovoltaikanlagen sehr gut abschneidet. Obwohl die Anlage wegen der auf die Winterproduktion optimierten Geometrie des Solarzellenfelds etwas benachteiligt ist, liegt die spezifische Stromproduktion deutlich über dem Durchschnitt gemäss VSE-Photovoltaik-Statistik (Bild 4).

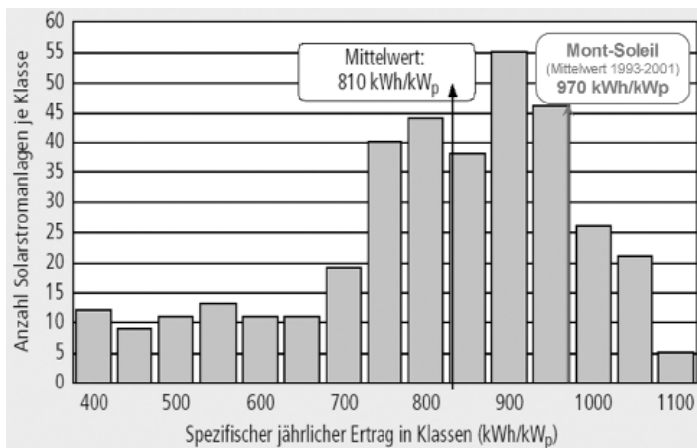


Bild 4:
Spezifischer Ertrag von Schweizer PV-Anlagen im Jahr 2000 im Vergleich zur Anlage Mt-Soleil (Durchschnitt 1993– 2001) (Quelle: VSE)

Gründe dafür sind einerseits der Standort mit guter Einstrahlung und tiefen Temperaturen und andererseits der gute Wirkungsgrad des Wechselrichters. Obwohl insgesamt die Produktivität der Schweizer Photovoltaik-Anlagen in den letzten Jahren gestiegen ist, gehört das Sonnenkraftwerk Mont-Soleil auch 10 Jahre nach Inbetriebsetzung noch zu den effizientesten Systemen.

Besondere Erwähnung verdient der von ABB Schweiz gebaute Wechselrichter. Es handelt sich um einen selbstgeführten PWM-Wechselrichter mit zwei Dreiphasen-Brücken, die versetzt getaktet werden. Die Taktfrequenz ist heute auf 750 Hz eingestellt. Mit einer AC-Nennleistung von 540 kVA ist der Mont-Soleil-Wechselrichter weltweit einer der grössten im Betrieb stehenden Photovoltaik-Wechselrichter. Die meisten grossen PV-Kraftwerke sind üblicherweise in Teileinheiten aufgeteilt – mit Wechselrichter-Leistungen von typischerweise 100 bis 300 kW.

Die Software wurde von ABB in mehreren Etappen optimiert, einerseits, um die verlangten Funktionen optimal zu erfüllen und andererseits, um die Amplituden der Oberwellen zu reduzieren, ohne den guten Wirkungsgrad zu vermindern. Von den für den Mont-Soleil geleisteten Entwicklungsarbeiten profitieren heute auch andere Umrichter-Applikationen von ABB.

Der gute Wirkungsgradverlauf des Wechselrichters ist aus Bild 5 ersichtlich.

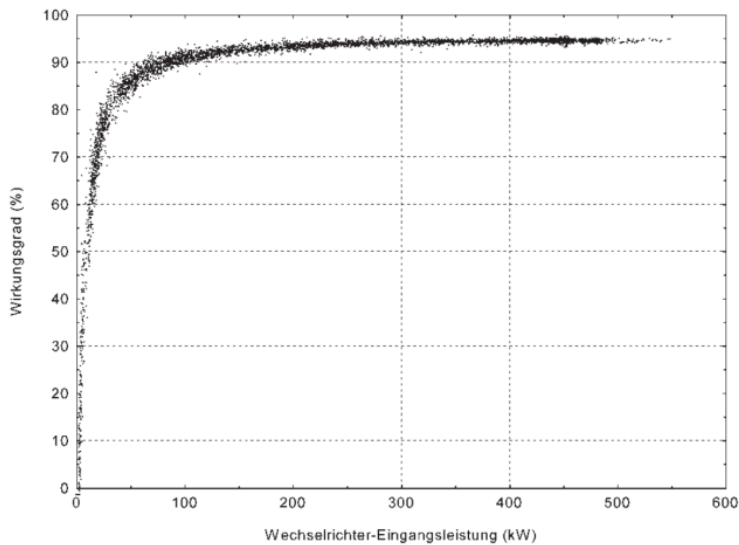


Bild 5:
Wirkungsgrad des ABB-Wechselrichters in Funktion der Leistung

Praktische Aspekte

Neben den Auswertungen der Messdaten sind auch die praktischen Erfahrungen mit der Anlage von grossem Interesse. Beim Bau des Kraftwerks wurden verschiedene innovative technische Lösungen gewählt, über die wenig Erfahrung vorlag. Nach zehnjährigem Betrieb ist es nun interessant, festzustellen, wie weit sich diese Techniken bewährt haben.

Montagetechnik

Die PV-Module sind mit Silikon-Kleber auf der Stahlunterkonstruktion befestigt. Diese Verklebungen haben sich bis jetzt ausgezeichnet bewährt. Der Silikon-Kleber hat seine Elastizität nicht verloren. Delaminationen von Modulen aufgrund der an den Verklebungsstellen einwirkenden Kräfte konnten nicht festgestellt werden.

Verschmutzung

Die Verschmutzung der sonnenzugewandten Modulvorderseiten war nie ein Problem. Die Niederschläge halten den Solargenerator genügend sauber. Es tritt keine Kumulation von Oberflächenschmutz ein. Eine Reinigung wurde über all die Jahre nie ausgeführt und dürfte auch in Zukunft nicht erforderlich sein.

Im Frühjahr lagert sich oft gelber Blütenstaub auf den Modulen ab. Vogelschmutz ist nach Schönwetterperioden feststellbar; offensichtlich setzen sich die Vögel auch auf den oberen Rand der Tische. Die Niederschläge waschen die Verschmutzung rasch wieder weg.

Bei einer Inspektion im Juni 2000 wurden erstmals optische Veränderungen an vereinzelten Solarmodulen entdeckt, wobei möglicherweise Feuchtigkeitskontamination durch Flechtenbewuchs der Unterkonstruktion ein auslösender Faktor sein könnte. Ein abschliessendes Urteil ist im Moment aber noch nicht möglich. Die weitere Ausbreitung von biologischem Bewuchs wird jedoch verfolgt.

Modulschäden

Abgesehen von der Bauphase, während der rund 10 Module mechanisch beschädigt wurden, traten bisher nur vereinzelte Schäden auf, deren Ursache nicht immer eruiert werden konnte. Einige wenige Module nahe der Umzäunung wurden vermutlich durch Vandalismus (Steinwurf) zerstört. Elektrische

Defekte traten praktisch nicht auf (1 Modul in 10 Jahren). Zu erwähnen ist auch, dass bisher keine Isolationsprobleme, Fehlerströme oder Erdschlüsse im Solarzellenfeld beobachtet wurden.

Im Winter 1998 lag der Schnee bei der vordersten Modulreihe so hoch, dass durch Schnee- und Eisdruck 2 Module zerstört wurden (Bild 6). Unter Berücksichtigung der Gesamtzahl von 10'560 Modulen sind dies beachtlich kleine Ausfallzahlen. Das M55-Modul von Siemens Solar bewährt sich im rauen Klima des Mont-Soleil ausgezeichnet.

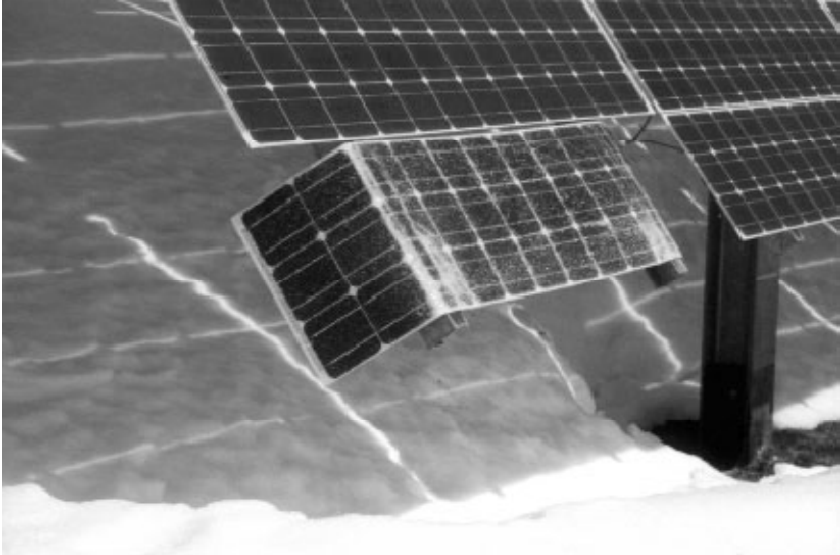


Bild 6
Infolge Schneedrucks zerbrochenes Modul

Schnee und Eis

Interessant ist der Einfluss des winterlichen Wetters auf das Solargeneratorfeld. Nach Schneefall kann Neuschnee auf der Modulvorderseite liegen bleiben. Das Abgleiten der Schneeschicht wird indes durch den 50°- Anstellwinkel der Module und dank der planen Oberfläche der rahmenlosen Lamine erleichtert. Bei Sonneneinwirkung ist eine in der Nacht aufgebaute Schneeschicht bis etwa um die Mittagszeit des folgenden Tages abgeglitten. Ohne Sonneneinwirkung kann der Schnee länger haften bleiben, was aber wegen der tiefen Einstrahlung keine nennenswerten Produktionsausfälle zur Folge hat.

Durch die winterlichen Winde, die oft Sturmstärke erreichen, wird der Schnee im Solargeneratorfeld verfrachtet. Die Winde kommen vorwiegend aus westlicher Richtung. Dabei wird der Schnee unterhalb der Modultische oft bis auf die Grasnarbe weggeblasen und zwischen den Tischreihen aufgetürmt (Bild 7).



Bild 7:

Durch den Wind verursachte Schneewälme zwischen den Modulreihen

Blitzeinwirkungen

Der Mont-Soleil ist eine Region mit häufigen Gewittern und entsprechender Zahl von Blitzeinschlägen. Im Bereich des Kraftwerks treten gelegentlich Blitzentladungen auf, welche bisher aber keine grösseren Schäden angerichtet haben. Die Blitzschäden begrenzten sich auf Teile der Messdatenerfassung sowie die Mittelspannungsleitung. Im Solarzellenfeld kam einmal – offenbar auf Grund eines Blitzschlags – ein Schaf ums Leben. Das Kraftwerk selbst wurde bisher nicht beschädigt. Die recht aufwändigen Blitzschutz- und Erdungsmassnahmen haben sich sehr gut bewährt.

Sonnenfinsternis

Zum Abschluss dieses Kapitels sei eine Beobachtung erwähnt, welche zwar kaum wissenschaftliche Bedeutung, dafür aber Seltenheitswert aufweist. Am 11. August 1999 fand in unseren Breitengraden eine nahezu totale Sonnenfinsternis statt. Obwohl das Wetter auch auf dem Mont-Soleil an diesem Tag nicht klar war, ist der Effekt im Tagesverlauf der Leistung klar zu sehen (Bild 8). Zwischen 11 und 12 Uhr UTC fiel die Anlagenleistung gegen Null. Der Mondschatten dürfte den Jahresertrag 1999 um etwa 200 kWh reduziert haben.

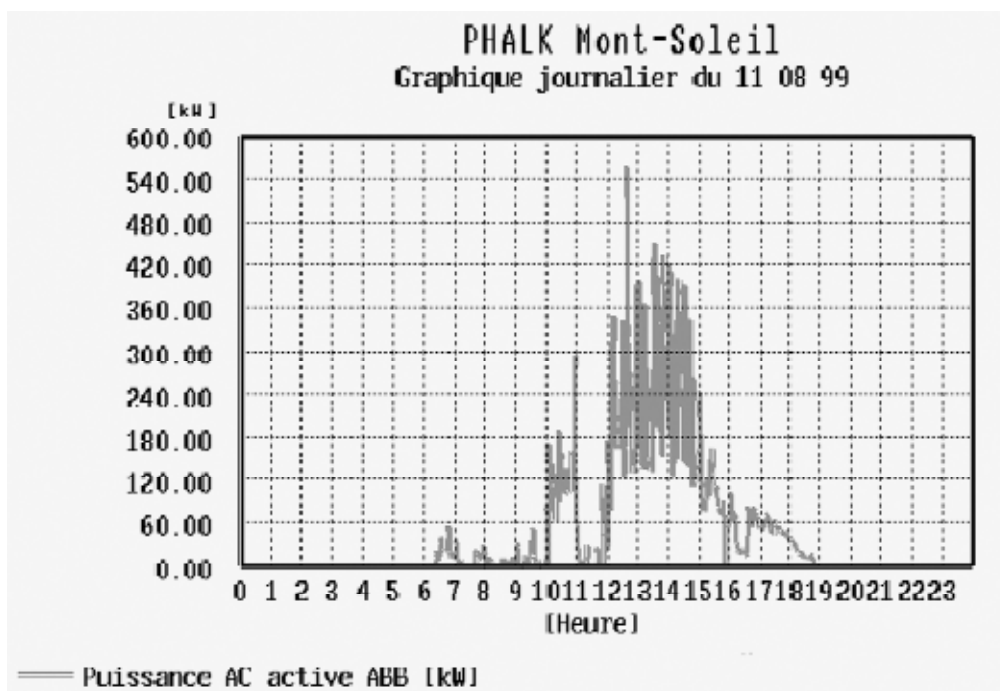


Bild 8:

Einfluss der Sonnenfinsternis vom 11. 8. 1999