



GESELLSCHAFT  
MONT-SOLEIL

C/O BKW FMB ENERGIE AG

VIKTORIAPLATZ 2  
3000 BERN 25

TELEFON 031 330 51 07  
TELEFAX 031 330 57 90

Mont-Soleil, 2.6.2010

Es gilt das gesprochene Wort

# **Photovoltaik-Forschung und -Entwicklung auf dem Mont-Soleil: Rückblick, Resultate und Ausblick**

Dr. Rudolf Minder, Leiter Forschung, Gesellschaft Mont-Soleil

## **Einleitung**

Vor 20 Jahren befand sich die Nutzung der Photovoltaik zur Energieerzeugung im Anfangsstadium. Es war die Zeit der Enthusiasten und Tüftler. Viele Fachleute bezweifelten damals, dass die von Enthusiasten erwarteten Kostenentwicklungen möglich seien.

Ausgehend von den in der Halbleiterindustrie üblichen Verfahren schien es tatsächlich sehr schwierig, eine derart grosse Kostenreduktion zu erreichen. Allgemein wurde erwartet, dass es langfristig nur mit völlig neuen Technologien wie Dünnschichtzellen, Farbstoffzellen oder photochemischen Verfahren möglich sein werde, Energie zu wettbewerbsfähigen Kosten bereitzustellen.

Einen ersten Boom gab es um 1990 in Kalifornien, wo einige Grossanlagen realisiert wurden. Diese konnten von den lokalen staatlichen Unterstützungen profitieren sowie von der Bereitschaft der Zellenhersteller, ihre Produkte zu Preisen unter den Gestehungskosten zu liefern, um den Markt anzukurbeln. Im Bereich der Solarkraftwerke war es damals vorherrschende Meinung, dass die solarthermischen Verfahren wirtschaftlich die besseren Chancen hätten. Der Photovoltaik wurden Vorteile bloss im Gebiet der Kleinanlagen zugestanden.

Der Entschluss einer Gruppe von Gesellschaften aus der Energieversorgung und Industrie, die Gesellschaft Mont-Soleil zu gründen und in der Schweiz ein erstes photovoltaisches Kraftwerk zu bauen, war in der damaligen Zeit eine Pioniertat, welche – wie man sieht – heute noch starke Auswirkungen hat. Die Forschung und Entwicklung war von Anfang an ein zentrales Thema des Vorhabens Solarkraftwerk Mont-Soleil. Von Anfang an wurde auch die Zusammenarbeit mit in- und ausländischen Fachleuten von Hochschulen und Industrie gesucht.

## **Konzept**

Bereits während der Planungsphase des Projekts war Entwicklungsarbeit zu leisten, da wenig Erfahrung vorhanden war. Es wurden verschiedene Optimierungsverfahren entwickelt, beispielsweise zur optimalen Platzierung der Module auf der verfügbaren Fläche. Besonderes Augenmerk wurde auch den Umweltauswirkungen geschenkt. Frühzeitig wurden Gespräche mit lokalen Organisationen des Landschafts- und Heimatschutzes gesucht und das Projekt auch diesbezüglich optimiert.

Partnerunternehmungen:

BKW FMB Energie AG, Axpo Holding AG, Centralschweizerische Kraftwerke AG, AEW Energie AG, Energie Wasser Bern, ABB Schweiz AG, AEK Energie AG, EBM Energie AG, Groupe E AG, onyx Energie Mittelland.



GESELLSCHAFT  
MONT-SOLEIL

C/O BKW FMB ENERGIE AG

VIKTORIAPLATZ 2  
3000 BERN 25

TELEFON 031 330 51 07  
TELEFAX 031 330 57 90

Weiter wurde angestrebt, den Aufwand an grauer Energie zu minimieren, indem z.B. für die Fundamente Ausbruchmaterial einer lokalen Tunnelbaustelle verwendet wurde. Für Blitzschutz und Potentialausgleich wurde Kupfer aus alten Freileitungen eingesetzt. Sehr wichtig war auch, dass das Gelände des Kraftwerks weiterhin landwirtschaftlich – als Schafweide - genutzt werden konnte. Durch die genannten Massnahmen konnte erreicht werden, dass das Projekt eine sehr hohe lokale Akzeptanz erzielte und ohne Einsprachen realisiert werden konnte.

### **Forschungs- und Entwicklungsprogramm**

Neben der Entwicklung von Planungsverfahren wurde vor dem Bau der Anlage auch im Bereich Wechselrichter umfangreiche Entwicklungsarbeit geleistet. Diese erfolgte in einer intensiven Zusammenarbeit zwischen den Planern der Elektrowatt, dem Lieferanten ABB sowie der ETH Zürich, wo Konzeptstudien und Simulationsrechnungen durchgeführt wurden.

Während der ersten Betriebsjahre der Anlage lag der Schwerpunkt der Forschung bei der messtechnischen Erfassung der Betriebsdaten und deren Auswertung. Diese Arbeiten wurden – mit Unterstützung des Bundesamtes für Energie – durch die Ingenieurschule St-Imier durchgeführt. In dieser Phase ergab sich auch ein reger Informationsaustausch mit ausländischen Planern und Betreibern von grossen Photovoltaikanlagen, insbesondere im Rahmen von Projekten der Internationalen Energieagentur und der Europäischen Union.

Anschliessend wurde das Forschungsprogramm erweitert auf die Untersuchung von Kleinsystemen sowie auf den Vergleich verschiedener Technologien im Testfeld Mont-Soleil. Auf diesem Testfeld werden laufend Module neuester Technologie installiert und geprüft. Die Module stammen aus Ländern wie Japan, USA, Deutschland, Grossbritannien und der Schweiz. Bisher wurden rund 30 verschiedene Produkte untersucht.

Die Resultate der Forschungsarbeiten wurden an nationalen und internationalen Konferenzen publiziert. Insbesondere Hersteller von Modulen und Wechselrichtern zeigten grosses Interesse an den Ergebnissen, welche für die Entwicklung neuer Produkte wertvolle Hinweise lieferten. Beispielsweise wurde nachgewiesen, dass die Wirkungsgrade von Modulen unterschiedlicher Technologie sehr verschieden auf unterschiedliche Einstrahlungs- und Temperaturverhältnisse reagieren.

Seit rund zehn Jahren wird die Anlage im Rahmen eines langjährigen, umfangreichen Forschungsprogramms der Fachhochschule Burgdorf messtechnisch überwacht. Das Programm hat zum Ziel, das Langfristverhalten solcher Systeme zu untersuchen und Aussagen über die Lebensdauer der Module und weiterer Komponenten zu machen. In Ergänzung dazu hat die Gesellschaft Mont-Soleil eigene Untersuchungen an der Anlage durchgeführt, u.a. mit Einsatz thermografischer Verfahren. Diese Abklärungen zeigen, dass zwar punktuell Alterungserscheinungen auftreten, dass aber die ursprünglich prognostizierte Lebensdauer der Anlage von 25 Jahren ohne grössere Probleme erreicht werden sollte.

Seit mehreren Jahren unterstützt die Gesellschaft Mont-Soleil auch das Programm „Photovoltaic Power Systems“ der Internationalen Energieagentur, welches eine ausgezeichnete Plattform zum weltweiten Informationsaustausch darstellt.

Einige sehr interessante Arbeiten konnten auch in Zusammenhang mit dem Solarflugzeug-Projekt „SolarImpulse“, von Bertrand Piccard durchgeführt werden, wie z.B. Messungen an Testmodulen auf der hochalpinen Forschungsstation Jungfraujoch.

Neben diesen Arbeiten wurden in Zusammenarbeit mit Hochschulen und der Privatwirtschaft bisher noch etwa zehn weitere Forschungsprojekte durch die Gesellschaft Mont-Soleil unterstützt.



GESELLSCHAFT  
MONT-SOLEIL

C/O BKW FMB ENERGIE AG

VIKTORIAPLATZ 2  
3000 BERN 25

TELEFON 031 330 51 07  
TELEFAX 031 330 57 90

In den vergangenen zwanzig Jahren wurden für Forschungsprojekte in Zusammenhang mit dem Mont-Soleil insgesamt rund 4.5 Mio. Fr. investiert, etwa die Hälfte davon durch die Gesellschaft Mont-Soleil. Im Vergleich dazu beträgt das aktuelle Jahresbudget der Photovoltaik-Forschung des Bundesamtes für Energie rund 1.5 Mio. Fr. Durch die Zusammenarbeit mit Fachhochschulen, Universitäten, Forschungsinstituten sowie privaten Firmen konnten in den vergangenen 10 Jahren viele interessante Ergebnisse erzielt werden, die durch den engen Kontakt mit Entwicklern, Anwendern und Herstellern oft auch in die Praxis umgesetzt wurden.

### **Resultate und Umsetzung**

Die Gesellschaft Mont-Soleil verfolgte seit Anbeginn eine offene Informationspolitik bezüglich der Forschungs- und Entwicklungsergebnisse. Dies ermöglichte die Nutzung der Erkenntnisse in vielen in- und ausländischen Projekten. In der Schweiz konnten verschiedene Photovoltaik-Projekte von GMS-Partnern von den Erfahrungen profitieren.

Besonders zu erwähnen ist das Projekt auf dem Stade de Suisse sowie das Solarschiff MobiCat auf dem Bielersee. Zahlreiche Anfragen aus dem Ausland betrafen die Erfahrungen mit den elektrotechnischen Installationen, dem Blitzschutz und den Sicherheitseinrichtungen. Auch die Erfahrungen mit der klebtechnischen Modulmontage stossen immer noch auf Interesse, ebenso wie die Ergebnisse aus dem Testfeld. Die Resultate der von der GMS unterstützten Projekte der FH Burgdorf sowie des Programms „Photovoltaic Power Systems“ der Internationalen Energieagentur wurden mit Konferenzbeiträgen und über Internet breit gestreut.

### **Entwicklung der Photovoltaik 1990 – 2010**

Im Jahr 1990 wurde die Photovoltaik weltweit noch vorwiegend in Form von Kleinanlagen zur Versorgung abgelegener Verbraucher eingesetzt, da nur in diesem Bereich wirtschaftliche Vorteile bestanden. Erst mit deutlich fallenden Kosten wurden netzgekoppelte Anlagen in grösserem Umfang gebaut.

Mit der Einführung von staatlichen Fördermassnahmen in Ländern wie Japan, Deutschland oder Spanien wurde der Bau netzgekoppelter Anlagen wirtschaftlich attraktiv, was einen riesigen Boom auslöste. Neue Hersteller, vor allem aus Asien, eroberten den Markt und verdrängten viele alteingesessene Firmen.

Vor 20 Jahren wurden weltweit jährlich etwa 45 MW PV-Module hergestellt. Im Jahr 2009 belief sich die Weltproduktion auf etwa 7.2 GW, was einer durchschnittlichen Wachstumsrate von etwa 28% p.a. entspricht. Mit zunehmender Menge wurden die Herstellungskosten deutlich reduziert, hier beträgt die mittlere Kostenreduktion rund 6% p.a.

Bis vor kurzem war der Photovoltaik-Markt von der Technik der kristallinen Silizium-Zellen dominiert, wie sie auch im Solarkraftwerk Mont-Soleil eingesetzt werden. Heute treten vermehrt Anbieter von Dünnschichtzellen auf, welche zwar bezüglich Wirkungsgrad noch nicht mit der kristallinen Technik mithalten, jedoch zu wesentlich günstigeren Kosten produzieren können. Für grosse Mengen im MW-Bereich werden heute für kristalline Module Preise von rund US\$ 2.00 pro Watt erzielt, Dünnschichtmodule asiatischer Hersteller sind dagegen für US\$ 1.00 pro Watt erhältlich.



GESELLSCHAFT  
MONT-SOLEIL

C/O BKW FMB ENERGIE AG

VIKTORIAPLATZ 2  
3000 BERN 25

TELEFON 031 330 51 07  
TELEFAX 031 330 57 90

Betrachtet man die Entwicklung des Wirkungsgrads der kristallinen Zellen, ergibt sich zwar seit 1990 eine deutliche Verbesserung. Marktbeherrschend sind heute jedoch nicht die Produkte mit sehr hohem Wirkungsgrad, wie die Rückkontakt-Zelle, sondern die kostengünstigen Massenprodukte. Diese weisen gegenüber den in der Anlage Mont-Soleil eingesetzten Modulen eine kostenmässige Verbesserung von etwa 10 - 20% auf.

### **Ausblick**

Durch die staatlichen Förderprogramme vieler Länder – insbesondere in Deutschland und Spanien – wurde der Photovoltaik-Markt in den letzten Jahren massiv angekurbelt. Dies hat zu einem starken Ausbau der Produktionskapazitäten geführt, insbesondere auch in Asien. Die kürzlich aus wirtschaftlichen Gründen erfolgte Reduktion des spanischen Förderprogramms hat aber auch gezeigt, dass dieser Markt sehr volatil ist und Änderungen zu starken Markteinbrüchen führen können. Nach wie vor sind jedoch in vielen Ländern solche Programme aktiv und grosse Länder wie China und die USA beabsichtigen, die Förderung auszubauen.

Um eine langfristige Konkurrenzfähigkeit zu erreichen, sind weitere deutliche Kostenreduktionen bei PV-Anlagen notwendig, insbesondere weil bei einem hohen Anteil an Solarstrom auch Zusatzkosten bei der Netzinfrastruktur anfallen. Bereits heute führt der hohe Anteil an PV-Leistung in Stromnetzen an gewissen Orten zu lokalen Problemen der Netzstabilität.

Die Gesellschaft Mont-Soleil will sich deshalb in Zukunft vermehrt mit diesem Thema befassen und wird zum Beispiel Pilotprojekte der lokalen Energiespeicherung unterstützen, welche die Netzbelastung reduzieren. Weiterhin von Interesse sind auch die Entwicklungen auf dem Gebiet der neuen Technologien. Das Testfeld auf dem Mont-Soleil wird deshalb in Zusammenarbeit mit der Photovoltaik-Gruppe der EMPA Dübendorf mit speziellen Einrichtungen zur Untersuchung von Dünnschicht-Modulen ergänzt.

Die Gesellschaft Mont-Soleil beabsichtigt, auch in den kommenden Jahren die Photovoltaik-Forschung aktiv zu unterstützen. Die rasante Marktentwicklung hat zwar die Kosten des Solarstroms bereits stark reduziert, hat aber gleichzeitig neue Problemstellungen für die Forschung aufgeworfen. Den Forschern der Gesellschaft Mont-Soleil und ihrer Partner wird also die Arbeit auch in den kommenden Jahren nicht ausgehen.



GESELLSCHAFT  
MONT-SOLEIL

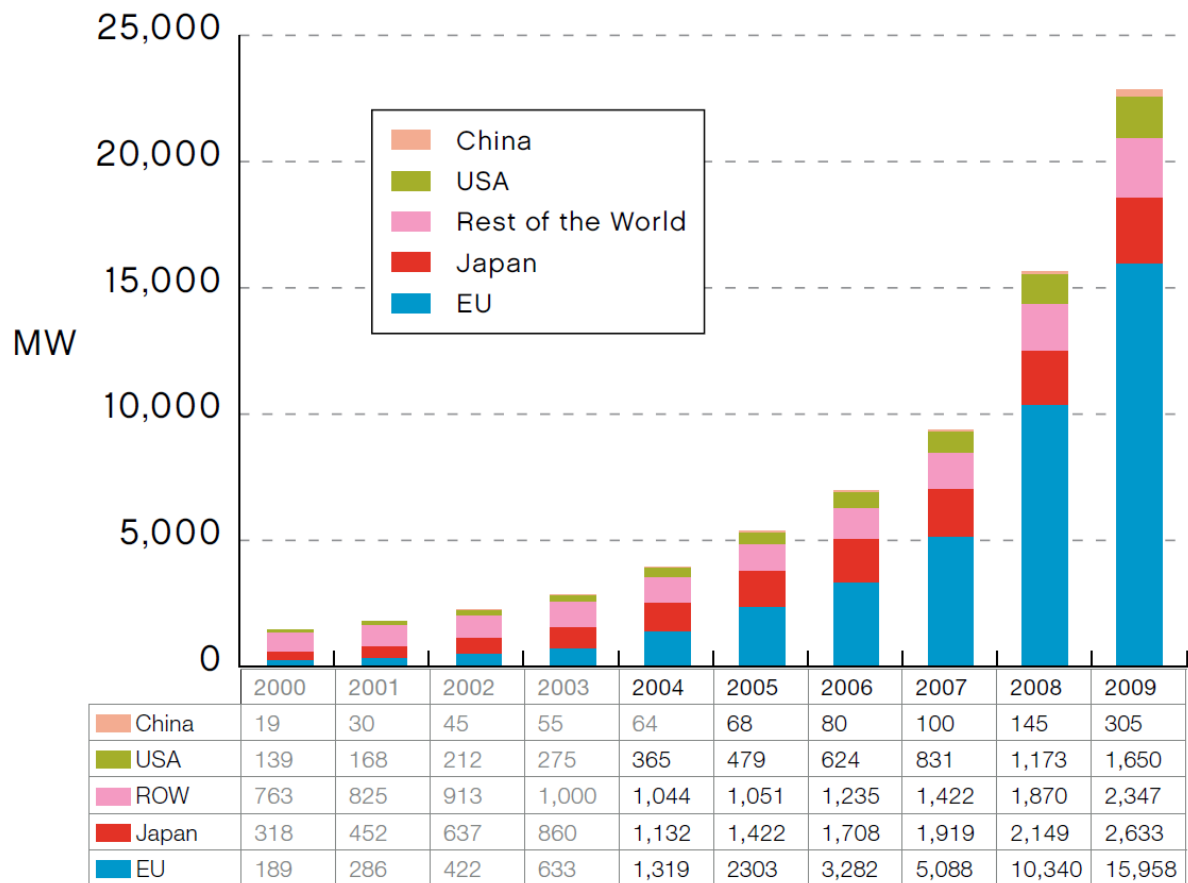
C/O BKW FMB ENERGIE AG

VIKTORIAPLATZ 2  
3000 BERN 25

TELEFON 031 330 51 07  
TELEFAX 031 330 57 90

Illustrationen:

Figure 1 - Historical development of World cumulative PV power installed in main geographies





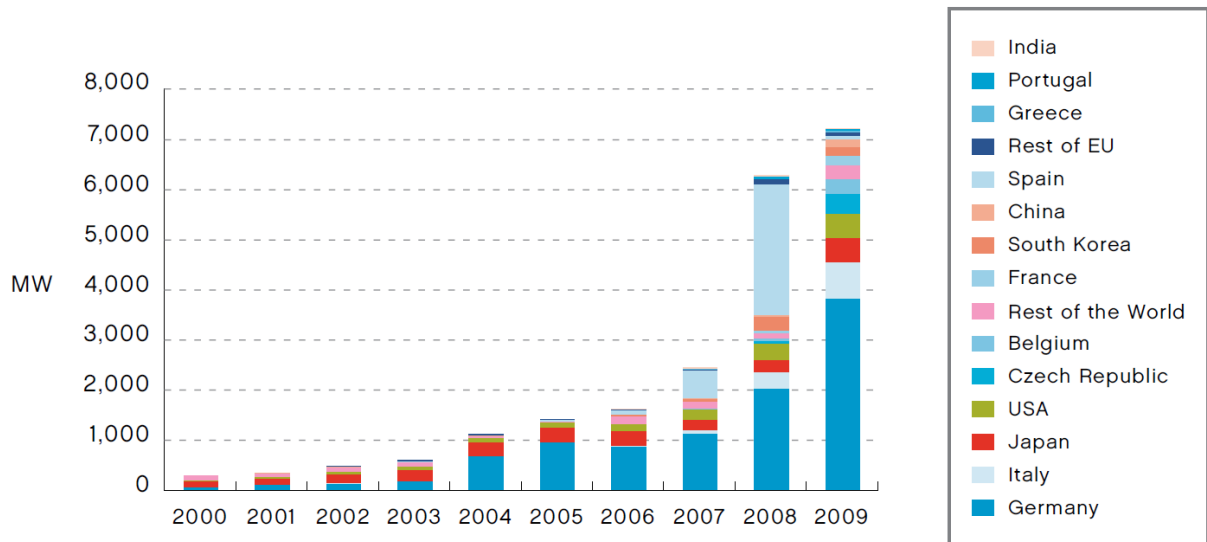
GESELLSCHAFT  
MONT-SOLEIL

C/O BKW FMB ENERGIE AG

VIKTORIAPLATZ 2  
3000 BERN 25

TELEFON 031 330 51 07  
TELEFAX 031 330 57 90

Figure 2 - Evolution of the World annual PV market 2000-2009



Estimations made by participants in the 2009 (24th) European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC) indicate that international PV module prices may keep falling to 1.2-1.4 euro/watt in 2010 if material and production costs continue to drop, according to Taiwan-based solar cell makers attending the event in Hamburg, Germany, during September 21-25.

PV module prices quoted by Europe-based makers have already dropped to 1.8-1.9 euro/watt, while China-based competitors have also lowered their quotes to 1.5-1.6 euro/watt, the Taiwan makers said.