

Schlussbericht PV P+D, DIS 37546 / 77283, August 2003

10 dachintegrierte PV-Kleinsysteme

ausgearbeitet durch:
Andreas Haller
Ernst Schweizer AG
Metallbau, 8908 Hedingen



Zusammenfassung

Die gestalterische und bautechnische Kombination mit thermischen Kollektorsystemen ergibt für kleine PV-Systeme kostenwirksame Synergien. Ernst Schweizer AG plante 1999 die Erweiterung ihrer solarthermischen Kompaktanlagen für die Brauchwassererwärmung durch baugleiche Elemente zur Erzeugung von Solarstrom.

Die Markteinführung dieser kombinierten Solaranlagen wurde im Rahmen eines P+D-Projekts des Bundesamts für Energie (BFE) begleitet. Dabei wurden die Erträge der Kleinanlagen und die Akzeptanz des Produktes bei Endkunden und Mittlern (Architekten und Planer) sowie bei den Installateuren geprüft. Ein kritischer Aspekt sind die Schnittstellen zwischen den Handwerkern bei der Installation und Inbetriebnahme.

Um verlässliche Resultate zu diesen Aspekten gewinnen zu können, sollten 10 Kleinanlagen in die Untersuchung einfließen. Auf Grund schwieriger Marktverhältnisse konnten in einem verlängerten Projektzeitraum 4 Anlagen untersucht und begleitet werden.

Resultate:

Die Umsatzzahlen zeigen, dass die Produktidee vom Markt nicht besonders erfolgreich aufgenommen worden ist. Andererseits führt in der Zwischenzeit praktisch jeder grössere Anbieter von thermischen Solarsystemen in der Schweiz und in Deutschland grossflächige Solarstrommodule als Ergänzung im Sortiment. Marktzahlen sind allerdings keine erhältlich um Erfolg oder Misserfolg zu dokumentieren.

Trotzdem kann festgehalten werden, dass alle vier Anlagen - nach Ausfällen des Modul-Wechselrichters bei der Inbetriebnahme von Anlage A und B - ohne technische Unterbrüche durchgehend in Funktion waren. Aus Sicht der technischen Lösung kann das als Erfolg gelten.

Die Installationstechnik ist ausgereift. Durch die Verwendung von erprobten Montagesystemen kann das System in den bekannten Vertriebskanälen dem Endkunden zugeführt werden. Wegen der Netzeinspeisung muss ein konzessionierter Elektriker beigezogen werden. Aus Kundensicht sollten diese Anschlussarbeiten im Auftrag des Installateurs erledigt werden.

Die Ertragseinbusse durch erhöhte Temperaturen gegenüber frei aufgestellten Anlagen liegen im Jahr bei maximal 5% - 7%.

Das Marktpotential ist vor allem bei energieeffizienten Gebäuden grundsätzlich intakt. Der Preis für die baulich kombinierte und dachintegrierte Installation von Solarstrom und Solarwärme ist aber nach wie vor (zu) hoch. Der Markt Schweiz wird in der nächsten Zeit nicht in der Lage sein, die für eine signifikante Preisreduktion notwendigen Stückzahlen aufnehmen zu können. Es ist demnach zu erwarten, dass dieses Marktsegment durch Importe besetzt wird.

Abstract in Englisch

Building integration of small PV systems can gain from cost synergies when combined with state of the art roof integrated solar thermal systems. Ernst Schweizer AG planned in 1999 the extension of the existing solar thermal system for hot water by compatible PV units.

The market introduction of these combined solar systems was monitored by a pilot and demonstration project in the framework of the Energy 2000 initiative of the Swiss Federal Office of Energy. Solar gains but also the acceptance of end users as well as architects and installers were investigated. A special focus was planned on the interfaces between the customer and the required craftsmen for installation and commissioning.

In order to get valid results it was planned to include 10 systems in the study. Because of the difficult market situation in the following, only 4 systems were monitored.

Results

With only 4 out of planned 10 systems the market introduction of this product was not very well accepted by the market. However, in the mean time since the start of this project most of the suppliers of solar thermal systems in Switzerland and especially in Germany offer these kind of systems. However, there are not sales figures available to show the success.

Though, it is remarkable that all four systems work without one failure since some early problems with the module-converters were resolved. From a technical point of view this product idea has proven to be successful.

The installation process is mature. The use of well-known mounting systems allows to feed the product into the established sales channels. The grid connection requires an approved electrician. From the customers point of view the installer should coordinate this tasks.

The losses of solar gains because of increased temperatures of the PV cells due to the roof integration are in the range of 5% to 7%.

The market potential is significant, especially for energy efficient buildings. However, the cost for an aesthetically compatible building integrated installation of a thermal solar and photovoltaic system is still (too) high. The Swiss market will not be able in the foreseeable future to absorb the amount of these installations that are required to earn a significant economy of volume. It is therefore expected that these market needs will be satisfied by imports.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
Abstract in Englisch	3
Inhaltsverzeichnis	4
1. Ausgangslage / Ziele	5
1.1 Motivation für das Projekt	5
1.2 Projektidee	5
1.3 Ziele des Projekts	5
1.4 Zeitplan	6
2 Produktbeschreibung und Akquisitionsleistungen	6
2.1 Zielpublikum und Zielmarkt	6
2.2 Produktkonzept	6
2.3 Ausgestaltung des Produkts	7
2.4 Preisfestlegung	7
2.5 Promotion	8
3 Hauptergebnisse	8
3.1 Akquisition und Marktreaktionen Schweiz	8
3.2 Markt Deutschland	8
3.3 Installierte Anlagen	8
3.3.1 Anlage A	9
3.3.2 Anlage B	9
3.3.3 Anlage C	10
3.3.4 Anlage D	10
3.4 Felderfahrungen, Ausfälle	11
3.4.1 Nahtstellen der Handwerker	11
3.4.2 Wechselrichterausfälle	11
3.4.3 Modifikationen auf Grund von Felderfahrungen	11
3.4.4 Fazit	11
4 Erwartete und gemessene solare Erträge	12
4.1 Messkonzept	12
4.2 Messresultate	12
4.2.1 Spezifische Erträge der Anlagen	12
4.2.2 Monatliche Erträge Anlage A	13
4.2.3 Monatliche Erträge Anlage B	15
4.2.4 Monatliche Erträge Anlage C	16
4.2.5 Monatliche Erträge Anlage D	18
4.3 Beurteilung der solaren Erträge	19
5 Schlussfolgerungen / Perspektiven	20
5.1 Beurteilung der Produktidee	20
5.2 Marktpotential	20
5.3 Entwicklung bei den Komponenten	21
5.4 Markthürde Preis	21
5.5 Montage- und Installationstechnik	21
5.6 Schnittstellen	21
5.7 Erträge	21
5.8 Perspektiven	22
6 Publikationen	22
7 Literaturverzeichnis	23
Anhang	24

1. Ausgangslage / Ziele

1.1 Motivation für das Projekt

Erfolge von lokalen Verkaufsaktionen für PV-Kleinsysteme in verschiedenen Ländern [1] sowie die durchschnittliche Strombezugsmenge der Kunden der Solarstrombörsen [2] liessen erwarten, dass in der Schweiz eine Nachfrage besteht oder in naher Zukunft bestehen könnte für netzgekoppelte PV-Systeme mit Anlagenleistung im Bereich einiger 100 W.

Solarstrom-Systeme in diesem Leistungsbereich sind relativ teuer. Insbesondere, wenn dabei Ansprüche an die Gebäudeintegration gestellt werden. Ein Potential zur Kosteneinsparung könnte bei Produktion von Solarstrom und Solarwärme in einem „Konverter“ realisiert werden. Ende der Neunziger-Jahre wurde diese Idee auch an verschiedenen Orten neu geprüft [3]. Es zeigte sich aber, dass nach wie vor verschiedene technologische und praktische Probleme bestehen. Eine direkte Kombination der Erzeugung von Solarstrom und Solarwärme ist daher noch immer nicht praxistauglich. Pragmatischere Lösungen mit baugleichen aber getrennten Systemen sind jedoch bereits 1998 in den Niederlanden erfolgreich umgesetzt worden.

Die gestalterische und bautechnische Kombination mit thermischen Kollektorsystemen ergibt für kleine PV-Systeme in der Tat eine ganze Reihe kostenwirksamer Synergien. Auf Grund der eingangs erwähnten Markteinschätzungen plante Ernst Schweizer AG 1999 die Erweiterung ihrer solarthermischen Kompaktanlagen für die Brauchwassererwärmung durch baugleiche Elemente zur Erzeugung von Solarstrom. Das Produkt sollte im Frühjahr 2000 am Markt eingeführt werden.

1.2 Projektidee

Die Markteinführung dieser kombinierten Solaranlagen soll im Rahmen eines P+D-Projekts des Bundesamts für Energie (BFE) begleitet werden. Insbesondere sind dabei folgende Aspekte von Interesse:

- Erträge der Kleinanlagen: Die Dachintegration und die Netzkopplung über Kleinwechselrichter lassen erwarten, dass mit diesen Kleinanlagen die Erträge eher unterdurchschnittlich ausfallen.
- Akzeptanz des Produktes bei Endkunden und Mittlern (Architekten und Planer).
- Akzeptanz des Produktes bei den Installateuren.
- Schnittstellen zwischen den Handwerkern bei der Installation.

Um verlässliche Resultate zu diesen Aspekten gewinnen zu können, sollen 10 Kleinanlagen in die Untersuchung einfließen. Als Startimpuls und Motivation zur Mitarbeit erhalten Bauherrschaften dieser Anlagen einen Zuschuss an die Anlagenkosten.

1.3 Ziele des Projekts

Die Ziele des vorliegenden Projektes umfassen:

- Sammeln der Erfahrungen zur Praxistauglichkeit bei der Installation
- Evaluation von Felddausfällen und anderer Probleme im Betrieb über 12 Monate.
- Ermittlung der Anlagenenerträge durch monatliche Auswertung über je 12 Monate.
- Unterstützung bei der Akquisition von 10 Kleinanlagen durch Beiträge an Bauherrschaften mit der Verpflichtung, die Ertragsdaten zu erheben und weiterzuleiten.
- Erstellen der Berichte (Jahresbericht, Schlussbericht)

1.4 Zeitplan

Der ursprüngliche Zeitplan basiert auf der Annahme, dass bis Ende Oktober 2000 die 10 Kleinsysteme verkauft und installiert werden können. Auf Grund der positiven Reaktionen an der Messe Hilsa 2000 erschien dieses Ziel mit Hilfe der finanziellen Unterstützung durch das BFE realistisch.

Aus verschiedenen Gründen, auf die an anderer Stelle (Abschnitt 3.1) noch eingegangen wird, konnten bis Oktober 2000 nur zwei Anlagen installiert werden. In Absprache mit der Programmleitung wurde gegen Ende 2001 das Projekt verlängert, um noch zwei weitere geplante Installationen in das Projekt einbeziehen zu können. Dabei musste der Zeitplan überarbeitet werden.

Arbeiten	Projektantrag	Überarbeitung
Vorarbeiten		
Funktionsstudie und ad hoc Pilotinstallation	09/99	
Erarbeiten Systemkonzept	11/99 – 03/00	
Markttest durch Ausstellung an der Hilsa 2000	03/00	
Produktoptimierung und Betriebstests	04/00 – 05/00	
Projektarbeiten		
Informationsmaterial und Produktinformation	05/00	
Präsentation am Tag der Offenen Tür bei Ernst Schweizer AG	1.7.2000	
Auftragsakquisition, Montage und Inbetriebnahmen von 10 PV Kleinsystemen	05/00 – 10/00	05/00 – 02/02
Messungen / Feldtest	05/00 – 10/01	05/00 – 02/03
Zwischenbericht /Jahresbericht	Ende 2000	Ende 2000/01/02
Auswertung monatlich laufend	Ab 05/00	bis 02/2003
Schlussbericht	03/2002	06/2003

2 Produktbeschreibung und Akquisitionsleistungen

2.1 Zielpublikum und Zielmarkt

Als potentiellies Zielpublikum für dieses Produkt gelten:

- Interessenten für solarthermische Kompaktanlagen
- Interessenten und Bezüger von Solarstrom vom EW

Der Zielmarkt sind Eigentümer von EFH und kleinen MFH.

2.2 Produktkonzept

Zur Optimierung der Kosten sollte die PV-Kleinanlage als Ergänzung von solarthermischen Kompaktanlagen lanciert werden. Das Produkt soll folgende Eigenschaften aufweisen:

- Lieferung aller notwendiger Komponenten „aus einer Hand“.
- Es dürfen keine zusätzlichen Handwerker auf dem Dach notwendig sein.
- Damit das System von Sanitär-/Heizungsinstallateuren installiert werden kann muss die Hausinstallation einfach sein.

- Bauseitige Leistungen sowie Aufgaben des konzessionierten Elektrikers müssen auf das Minimum reduziert sein.

2.3 Ausgestaltung des Produkts

Die Grundidee ist die Erweiterung der solarthermischen Kompaktanlage um ein bis zwei PV Elemente. Daraus ergab sich folgende Lösung (siehe Produktinformation im Anhang):

- Dachintegrationssystem: Kompatibel zur thermischen „Solar-Compactline“ von Schweizer.
- PV-Laminat an Stelle der Kollektorabdeckung mit Solarglas.
- PV-Modul: Modulleistung 240 Wp, Glas-EVA-Tedlar Laminat, MC-Anschlüsse.
- Modul-Wechselrichter: Solcolino der Firma Hardmeier Electronics, Winterthur modifiziert mit Betriebszustandsanzeige (LED).
- Verbindungskonzept: Verpolungssichere Verkabelung mit vorkonfektionierten Standardkabel.
- Netzeinspeisungskonzept: Einspeisung ins Hausnetz über bauseits erstellte, FI-gesicherte Steckdose.
- Blitzschutz: bauseitige Anbindung, wenn bereits ein externer Blitzschutz vorhanden ist.

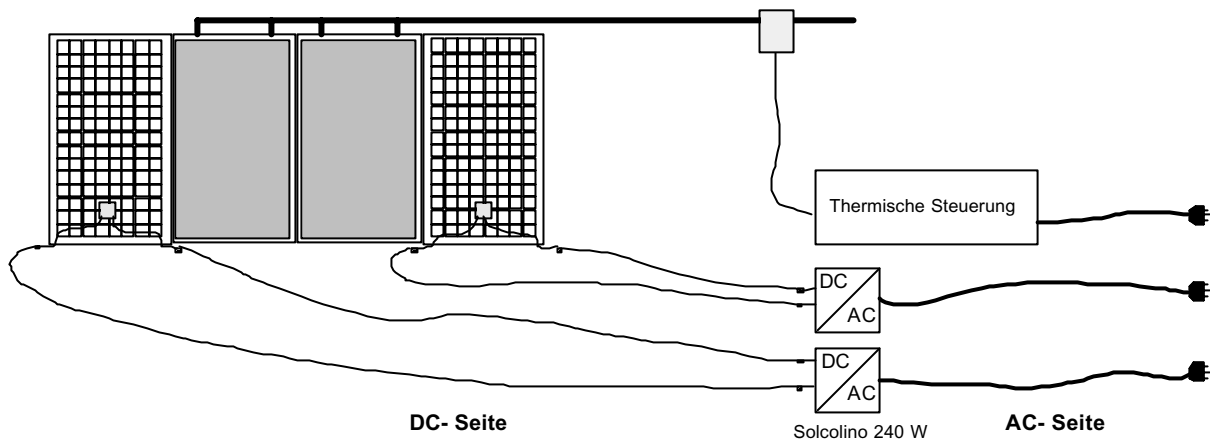


Abbildung 1: Schematische Darstellung der dachintegrierten PV-Kleinanlage, Variante 2 + 2. Grundmodell ist die Variante 2 + 1 mit nur einer PV-Einheit.

2.4 Preisfestlegung

Der Preis für das System wurde in eine Position Material und eine Position Montage und Inbetriebnahme gegliedert. Gegenüber dem Endkunden wurde ein Komplettpreis inkl. Montage und Inbetriebnahme angeboten. Installateure hatten die Möglichkeit, nur das Material zu beziehen und Montage und Inbetriebnahme selber zu leisten.

Auf Grund der unterschiedlichen Rabattniveaus im Markt für Solarstromanlagen und thermischen Solaranlagen ist die Preisfestsetzung und die Rabattpolitik anspruchsvoll:

- Die Preise für den thermischen Teil sind am Markt eingeführt.
- Eine einheitliche Kalkulation ergibt damit einen verzerrten Listenpreis bei Systemteil Solarstrom.
- Eine unterschiedliche Rabattstufe für das Material der thermischen Solaranlage und der Solarstromanlage widerspricht der Idee, alles komplett als ein System anzubieten.

Für die Praxis entschied man sich für unterschiedliche Rabatte, da diese Lösung zwar den Beratungsaufwand erhöhte, aber als das kleinere Problem eingeschätzt wurde.

2.5 Promotion

Für die Promotion des Produktes mit dem Ziel der Akquisition der ersten 10 Anlagen wurden folgende Anstrengungen unternommen:

- Erstpräsentation des Produktes an der HILSA 2000, in Zürich (Frühjahr 2000)
- Es wurde eine Produktinformation erstellt (2-seitig, 4-farbig)
- Die Produktinformation wurde in einem Versand breit gestreut (ca. 2000 Adressen), vorwiegend an Architekten, Planer und Installateure, die sich im Bereich Sonnenenergienutzung aktiv betätigen.
- Schulung von 4 Verkaufsberatern.
- Im Frühjahr 2000 wurden ein Presstext und eine Produktbeschreibung für die Fachpresse erstellt und verschickt. Diese Produktinformationen wurden in verschiedenen Medien für das Heizungs- und Sanitär-gewerbe publiziert.

3 Hauptergebnisse

3.1 Akquisition und Marktreaktionen Schweiz

Mit sehr positiven Marktreaktionen an der HILSA 2000 in Zürich und einer Reihe von Angebotsanfragen startete das Projekt wie geplant im Frühjahr 2000.

Mit dem Auslaufen der Bundessubventionen im Sommer 2000 und dem Beginn der Diskussionen um die energiepolitischen Vorlagen für den September 2000 geriet der Absatz der 10 Anlagen in Verzug. Bis Oktober 2000 konnten nur 2 Anlagen installiert werden. Es gab allerdings noch eine ganze Reihe von Projekten im Entscheidungsstadium. Ab Anfang 2001 verliefen dann aber alle diese Projekte im Sand und wurden nicht realisiert. Auch gelang es uns in den nachfolgenden Monaten nicht, zusätzliche Interessenten zu finden. Erst im Herbst/Winter 2001 konnten wir wieder – allerdings sehr zögerlich – einige Angebote erstellen. Per Ende 2001 waren zwei zusätzliche Anlagen akquiriert, wovon eine Anlage aber eigentlich nicht der ursprünglichen Spezifikation entspricht.

3.2 Markt Deutschland

Ganz anders reagierte der Markt Deutschland: Auf Grund der im Frühjahr 2000 neu eingeführten Vergütung für Solarstrom im Rahmen des EEG traten Ende Sommer 2000 bereits erste Marktverknappungen an Solarstrommodulen in Deutschland auf. Über einen Partner in Deutschland konnten in der Folge ca. 20 kW der speziell für uns produzierten Grossmodule exportiert werden. Allerdings wurden wegen den Förderbedingungen nur die Module ohne Modulwechselrichter und damit nicht die Kleinsysteme im Sinne des Projektes nachgefragt. Für das vorliegende P+D Projekt war die Marktbelegung im Export leider kein Ersatz für die fehlenden Anlagen in der Schweiz.

3.3 Installierte Anlagen

Im Rahmen des P+D-Projekts wurden an Stelle von 10 dachintegrierten Kleinanlagen nur 3 Kleinanlagen sowie eine Anlage mit 4 Modulen - als Ergänzung - untersucht und über 12 Monate beobachtet.

3.3.1 Anlage A



Anlagentyp: Solar-Compactline-PV 2+1
Standort: Unterkulm, AG
Modulleistung: 240 W
Wechselrichter: Solcolino
Ausrichtung: 160° (Süd = 180°)
Dachneigung: 23°
Inbetriebnahme: Oktober 2000

Abbildung 2: Anlage A mit zwei thermischen Kollektoren und einem Modul Solarstrom 240W.

3.3.2 Anlage B



Anlagentyp: Solar-Compactline-PV 2+2
Standort: Lufingen, ZH
Modulleistung: 480 W
Wechselrichter: Solcolino
Ausrichtung: 180° (Süd = 180°)
Dachneigung: 20°
Inbetriebnahme: Juli 2000

Abbildung 3: Anlage B mit je zwei Modulen Solarthermie und Solarstrom.



3.3.3 Anlage C

Anlagentyp: Compactline-PV 2+1
 Standort: Bonstetten, ZH
 Modulleistung: 240 W
 Wechselrichter: Solcolino
 Ausrichtung: 90 (Süd = 180°)
 Dachneigung: 23°
 Inbetriebnahme: September 2001

Abbildung 4: Anlage C mit zwei Modulen Solarwärme und einem Modul Solarstrom.

3.3.4 Anlage D



Anlagentyp: Kundenspezifisch
 Standort: Hauptikon, ZH
 Modulleistung: 960 W
 Wechselrichter: SMA Sunny Boy 1100E
 Ausrichtung: 170° (Süd = 180°)
 Neigungswinkel: 35°
 Inbetriebnahme: Januar 2002

Abbildung 5: Kundenspezifische Lösung mit 4 Modulen Solarstrom über dem Garagentor. Diese Anlage hat keinen direkten Bezug zur solarthermischen Anlage im Hausdach.

3.4 Felderfahrungen, Ausfälle

3.4.1 Nahtstellen der Handwerker

Bei den ersten beiden Installationen hat sich gezeigt, dass die Nahtstelle zwischen Kollektorinstallateur und Elektriker noch nicht wie geplant funktioniert. Statt vom Kollektorinstallateur wurde in einem Fall die Verlegung der DC-Kabel und die Montage des Wechselrichters in Absprache vor Ort vom Elektriker vorgenommen. Damit wurde de facto die Inbetriebnahme dem Elektriker überlassen, der das System aber nicht kennt. Spätestens wenn die Anlage nicht auf Anhieb funktioniert, sind die Zuständigkeiten nicht mehr klar. Da die beiden Handwerker je als Lieferanten des Endkunden auftraten, muss sich die Bauherrschaft einschalten, was zu Umtrieben und Unannehmlichkeiten führt. Die Installation wird dadurch vom Endkunden als problematisch und die Technologie als kompliziert erlebt.

Ein zusätzliches Hindernis für eine Zusammenarbeit mit minimalem Aufwand ist die Notwendigkeit, dass der Elektriker in der Regel den Antrag zur Netzeinspeisung und zum Entsperren des Energiezählers im Auftrag der Bauherrschaft einreicht. Da die Abläufe in zeitlicher Folge ausgeführt werden, muss der Elektriker am Schluss nochmals auf dem Objekt die Modifikation am Zähler vornehmen.

Eine Optimierung dieser Abläufe kann durch Schulung der Installateure erfolgen, damit sie die komplette Installation sowie die Formalitäten mit dem Netzbetreiber übernehmen können.

3.4.2 Wechselrichterausfälle

Die ersten vier ausgelieferten Modulwechselrichter vom Typ Solcolino fielen alle bei oder kurz nach der Inbetriebnahme aus. Bei der Reparatur der Geräte konnte kein systematischer Defekt festgestellt werden; alle vier Ausfälle waren auf das Versagen unterschiedlicher elektronischer Komponenten zurückzuführen.

Diese Ausfälle gleich zu Beginn der Markteinführung stellten einerseits ein verkaufstechnisches Hindernis dar und verzögerten andererseits die Aufnahme der monatlichen Ertragsüberwachung.

3.4.3 Modifikationen auf Grund von Felderfahrungen

Anlass zu nachträglichen Modifikationen ergab sich im Bereich der Montage der elektrischen Komponenten im Kellerraum. Sowohl der Wechselrichter als auch das Ertragsmessgerät sind auf Grund ihrer Bauweise schlecht für eine Festinstallation geeignet. Solcolino und EMU Energiemesser wurden deshalb mit Befestigungsbügeln für die Wandmontage ergänzt.

3.4.4 Fazit

Es hat sich gezeigt, dass "plug-and-play" in der Praxis noch nicht in der geplanten Konsequenz durchführbar ist. Für die weiteren Installationen müssen die Nahtstellen zwischen Kollektorinstallateur und Elektriker noch klarer gestaltet werden.

4 Erwartete und gemessene solare Erträge

4.1 Messkonzept

Grundsätzlich sollten in diesem Projekt nur Ertragsmessungen durchgeführt werden. Die Anforderungen an die Genauigkeit wurden auf einem relativ tiefen Niveau angesetzt um die Kosten in Grenzen zu halten. Die Relevanz der Messungen sollte aber durch die Anzahl von 10 Objekten erhöht werden.

Als Messinstrument dient ein Energiezähler, wie er zur Überwachung von Haushaltgeräten oder Verbrauchern bis 10 A eingesetzt wird. Das Produkt kann steckbar zwischen Quelle und Verbraucher geschaltet werden. Damit ist der Installationsaufwand minimal und muss nicht von einem konzessionierten Handwerker vorgenommen werden.

Die Energieerträge werden monatlich per Ultimo erhoben. Der Eigentümer der Anlage wird für das Erfassen und Übermitteln der Daten verpflichtet als Gegenleistung für die finanziellen Beiträge an die Anlage.

Neben den effektiven Ertragsdaten wurden auch Hinweise über Anlagenausfälle sowie liegengebliebener Schnee zurückgemeldet.

Zur Beurteilung der Ertragsdaten werden die realen Monatserträge mit Referenzdaten verglichen. Diese konnten bis 2001 im Rahmen des EU Forschungsprojekts „PVSAT“ [5] für die Standorte ermittelt und via Enecolo AG dem Projekt zur Verfügung gestellt werden.

Nach Abschluss des Projektes PVSAT Ende 2001 mussten andere Referenzdaten gefunden werden. Es wurden dazu Ertragsdaten aus einer gut überwachten Grossanlage in Zürich herangezogen. Die Ertragswerte aus der Referenzanlage wurden mit Hilfe der Planungs-Software Polysun [6] auf die Standorte der P+D Anlagen und die abweichenden Ausrichtungen und Neigungen korrigiert.

4.2 Messresultate

4.2.1 Spezifische Erträge der Anlagen

In Tabelle 1 sind im Überblick die real gemessenen, spezifischen Energieerträge in kWh/kWp über 12 Monate im Vergleich mit den Prognosewerten aus PVSAT und der Referenzanlage zusammengestellt. Die Abweichungen sind auf den ersten Blick beträchtlich.

Anlage	Prognose [kWh/kWp]	Messung [kWh/kWp]	Erfüllung	Richtwerte [kWh/kWp] nach SOLAR (SOFAS)	
A	837	804	96%	833	882
B	756	821	109%	829	878
C	794	671	84%	723	765
D	876	842	96%	842	891

Tabelle 1: Spezifischer Jahres-Energieertrag [kWh/kWp] der 4 Anlagen im Vergleich mit den Prognosen aus PVSAT und der Referenzanlage sowie den minimalen und maximalen Richtwerten für Neuanlagen gemäss SOLAR (SOFAS).

Insgesamt kann folgendes festgestellt werden:

- Die Prognosewerte für Anlage B aus PVSAT sind nicht belastbar. Das zeigt der Vergleich mit den Richtwerten des Fachverbandes SOLAR (SOFAS) [6]. Die Ursache für die Unterschätzung des möglichen Ertrags konnte nicht schlüssig in Erfahrung gebracht werden. Mit grosser Wahrscheinlichkeit liegt hier ein Skalierungsfehler bei der Prognoseerstellung vor.
- Alle anderen gemessenen Werte liegen unter den Prognosewerten. Die gemessenen Erträge liegen aber auch alle an der unteren Kante oder unterhalb des Schätzbandes von SOLAR. Auf die Ursache dieser Erkenntnis wird in 4.3 eingegangen.
- Auf Grund der kleinen Anzahl von Anlagen sind die Zahlen mit Sorgfalt zu verwenden. Im Abschnitt 4.2.2 bis 4.2.5 wird auf die Daten der einzelnen Anlagen näher eingegangen.

4.2.2 Monatliche Erträge Anlage A

In Dezember 2000 und Januar 2001 wurde für insgesamt 4 Tage Ausfall durch Schnee gemeldet. Zusätzlich wurde ein Schneetag im April 2001 vermerkt.

Die gemessenen Erträge bei Anlage A folgen den Prognosen aus PVSAT relativ zuverlässig (siehe Abbildung 7). Die Abweichungen im November und Dezember 2000 sind in Absolutwerten gering und können auf Abgrenzungsprobleme per Monatsende sowie die Schneetage zurückgeführt werden.

In der wärmeren zweiten Jahrehälfte nimmt der Erfüllungsgrad ab. Das kann mit den erhöhten Modultemperaturen wegen der mangelhaften Hinterlüftung und Kühlung erklärt werden. Die kumulierten Einbussen gegenüber den Prognosen zwischen Mai und September 2001 betragen 3,5% des Jahresertrages.

Der Vergleich mit den Werten der Anlage B zeigt aber auch, dass PVSAT für beide Standorte A und B im Juli 2001 eine zu hohe Prognose errechnet hat.

Ertrag und Prognose Anlage A

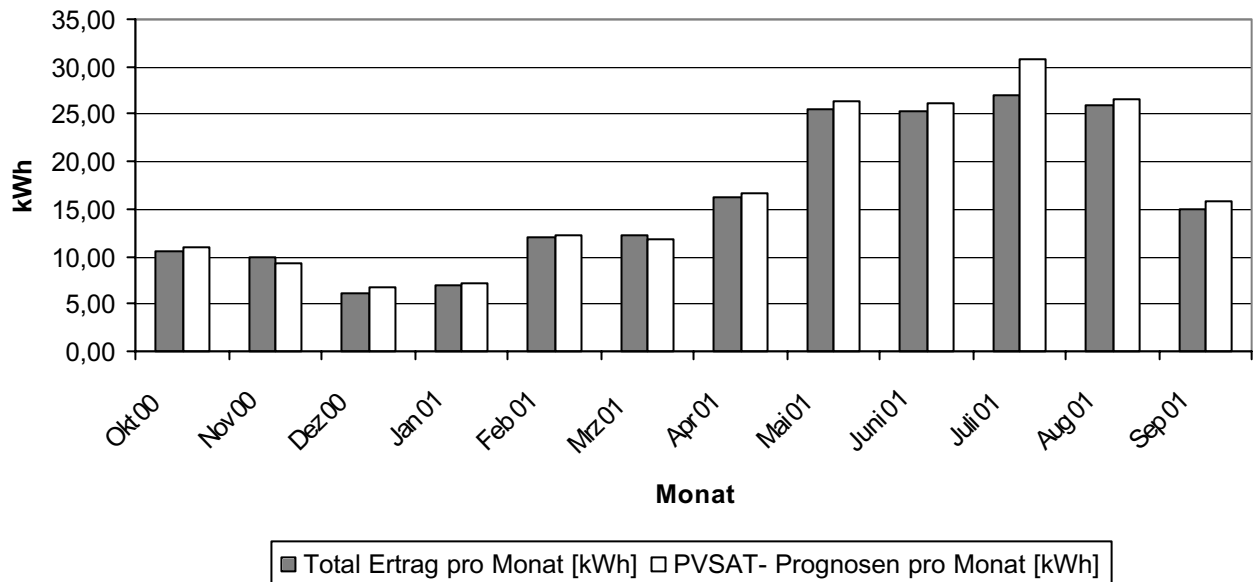


Abbildung 6: Monatliche Erträge der Anlage A sowie die Prognosen aus PVSAT.

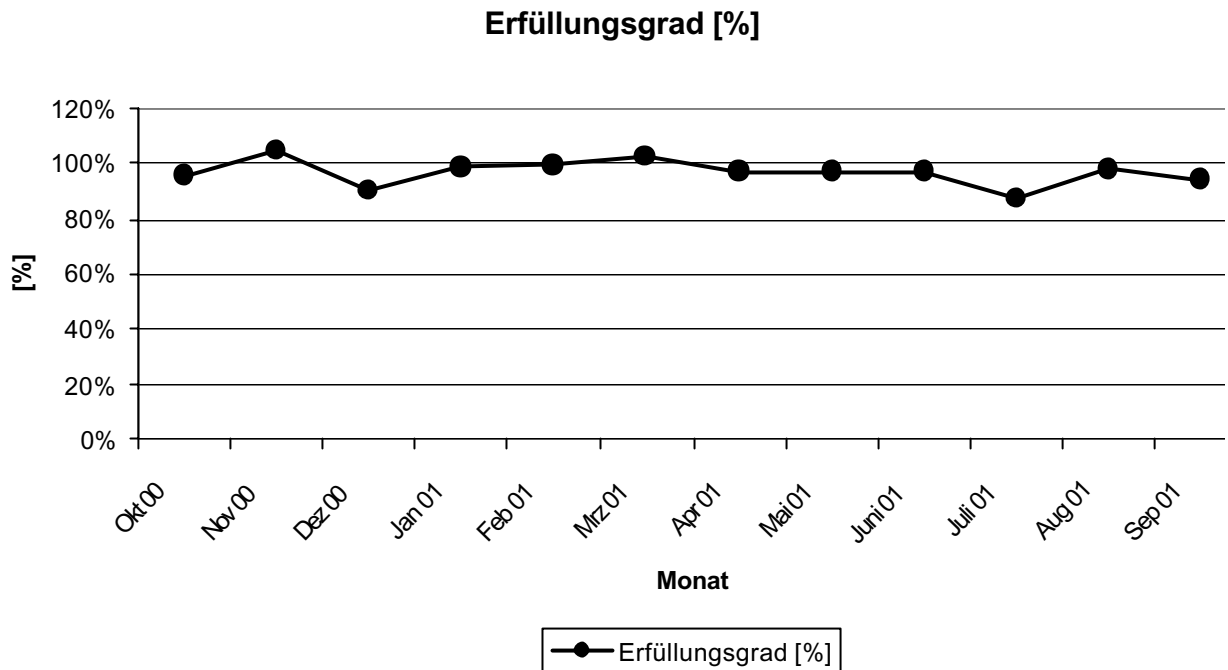


Abbildung 7: Erfüllungsgrad der Prognosewerte pro Monat der Anlage A

4.2.3 Monatliche Erträge Anlage B

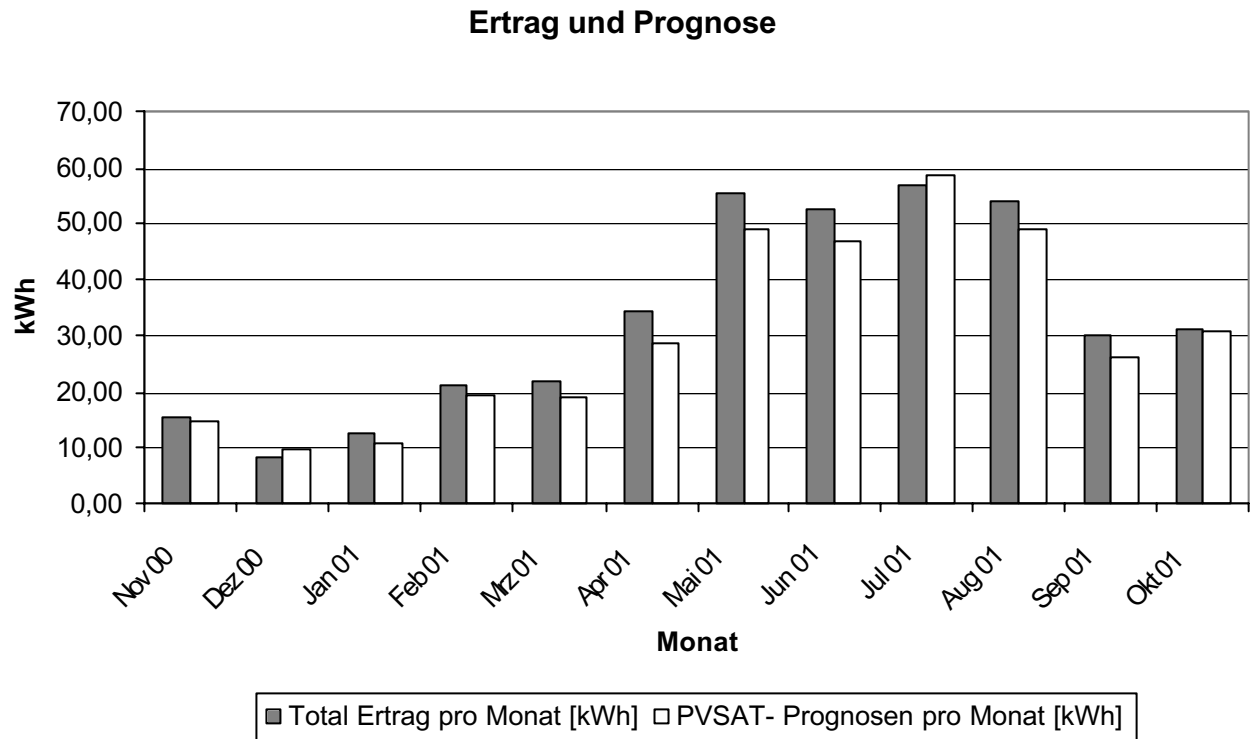


Abbildung 8: Monatliche Erträge der Anlage B sowie die Prognosen aus PVSAT.

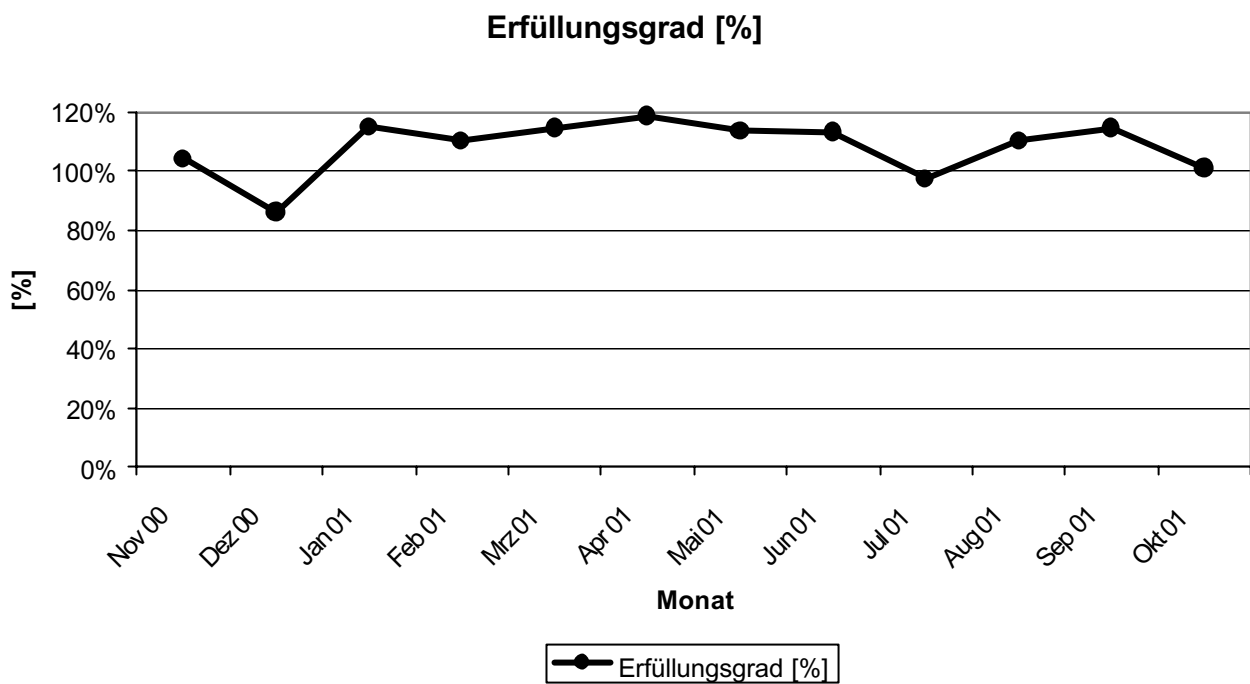


Abbildung 9: Erfüllungsgrad der Prognosewerte pro Monat der Anlage B

Auch bei dieser Anlage wurde für Dezember 2000 ein Anlageunterbruch von 3 Tagen wegen Schnee gemeldet. Zusätzliche Schneetage wurden im März 2001 und April 2001 vermerkt.

Wie bereits unter 4.2.1 hervorgehoben, liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit bei den Prognosedaten für die Anlage B ein Skalierungsfehler bei PVSAT vor. Die Prognosen sind systematisch zu tief, was auf Grund der Erfahrungen mit den anderen Anlagen nicht wahrscheinlich ist.

Bei der Anlage B wurden die beiden Kleinsysteme je über einen Energiezähler geführt. Das erlaubt einen direkten Vergleich der beiden Module (siehe Abbildung 10):

- Kleinsystem 2 erbringt im Jahresmittel 6.9% weniger Ertrag.
- In der kühlen Jahreszeit von November 2000 bis April 2001 beläuft sich der Minderertrag auf 6,5%.
- In der wärmeren Periode von Mai 2001 bis September 2001 beträgt der Minderertrag 7%.
- Modul 2 liegt direkt neben dem thermischen Kollektor, Modul 1 am Rand des Kleinfeldes.

Ertragsvergleich zwischen Modulen

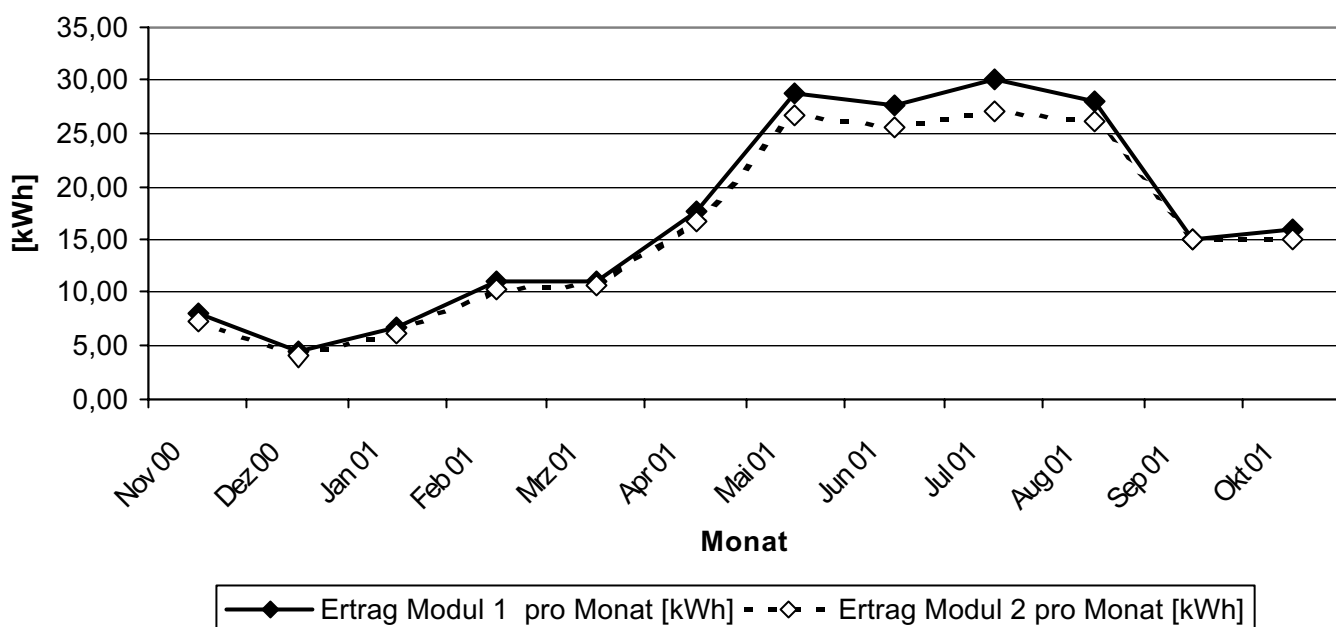


Abbildung 10: Ertragsvergleich zwischen den beiden Modulen aus Anlage B

4.2.4 Monatliche Erträge Anlage C

Von der Anlage C liegen keine Mitteilungen von Ertragsausfällen durch Schnee vor. Die Abbildung 12 lässt aber vermuten, dass der tiefe Erfüllungsgrad im Dezember damit zu tun haben könnte.

Die Daten von Anlage C sind nicht so einfach zu interpretieren. Die Schwankungen bei der Prognoseerfüllung können am einfachsten mit Abgrenzungsproblemen zum Ultimo erklärt werden (Ablesung nicht konsequent am Abend des Letzten des Monats). Das könnte die Zahlen von Dezember 2001 und Januar 2002 erklären.

Für den generell schlechten Ertrag und den tiefen Erfüllungsgrad bis zum April 2002 kann jedoch keine Erklärung abgegeben werden. Möglich sind veränderte Bedingungen von lokalen Verschattungen (Bäume).

Möglicherweise stösst für diese Anlage mit Ausrichtung gegen Osten das Verfahren zum Erstellen der Prognosedaten an Grenzen.

Ertrag und Prognose Anlage C

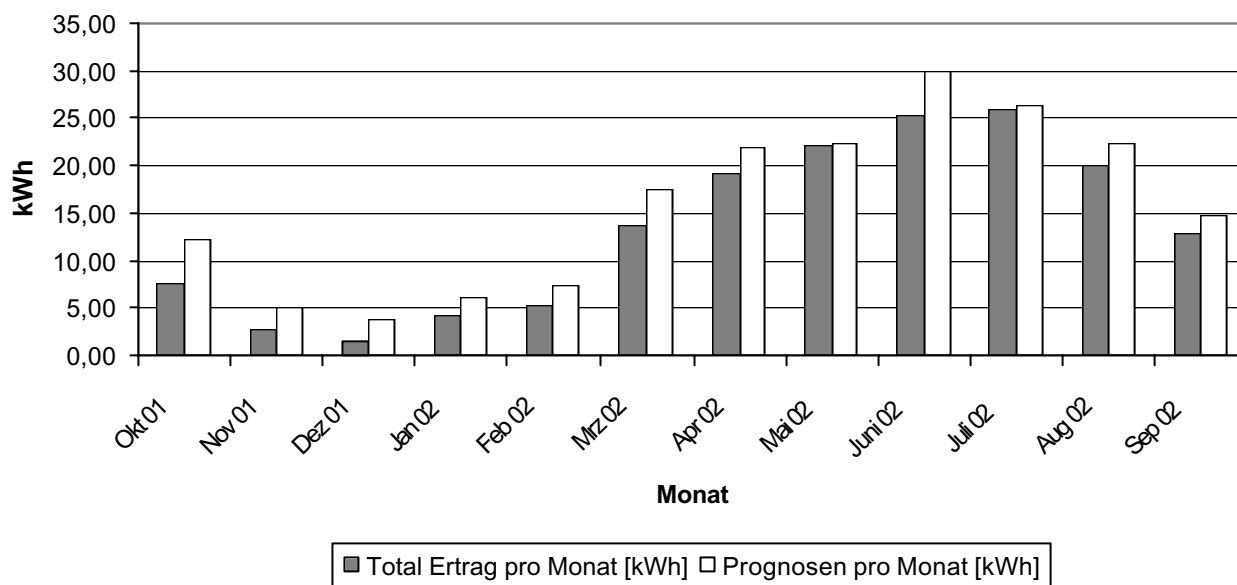


Abbildung 11: Monatliche Erträge der Anlage C sowie die Prognosen aus Daten der Grossanlage in Zürich.

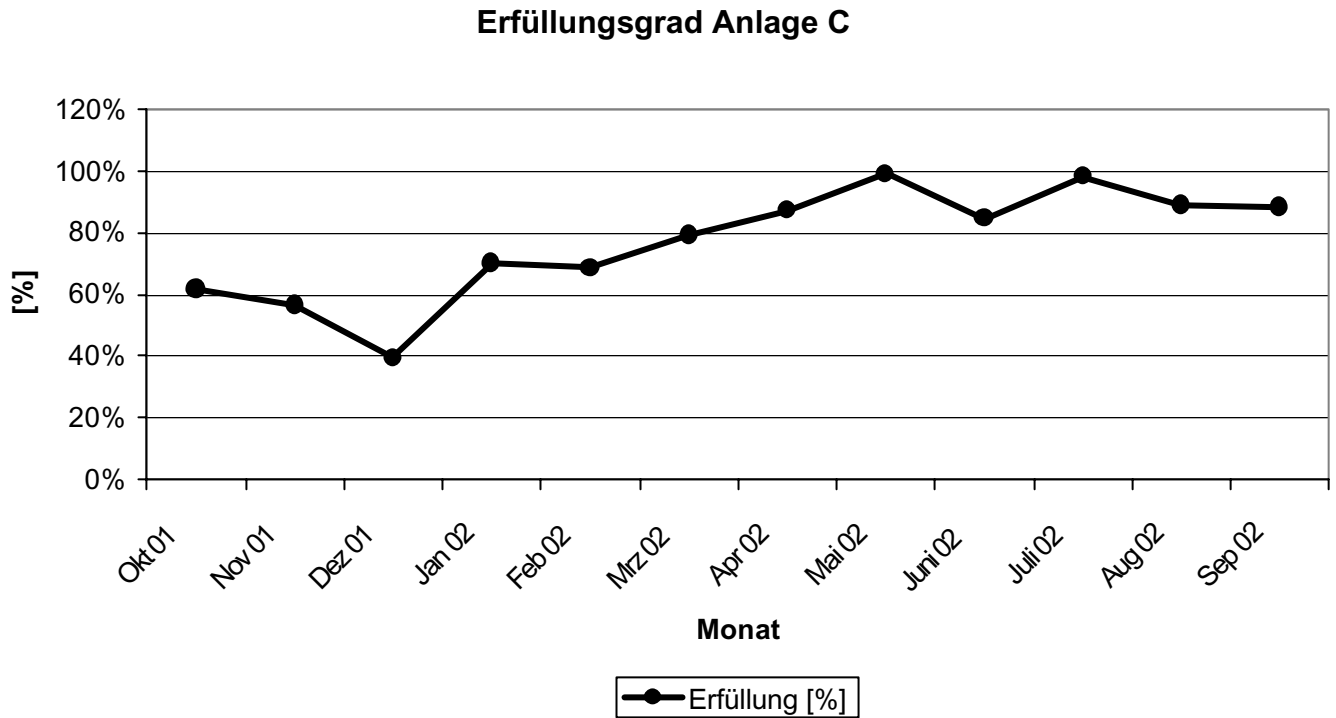


Abbildung 12: Erfüllungsgrad der Prognosewerte pro Monat der Anlage C.

4.2.5 Monatliche Erträge Anlage D

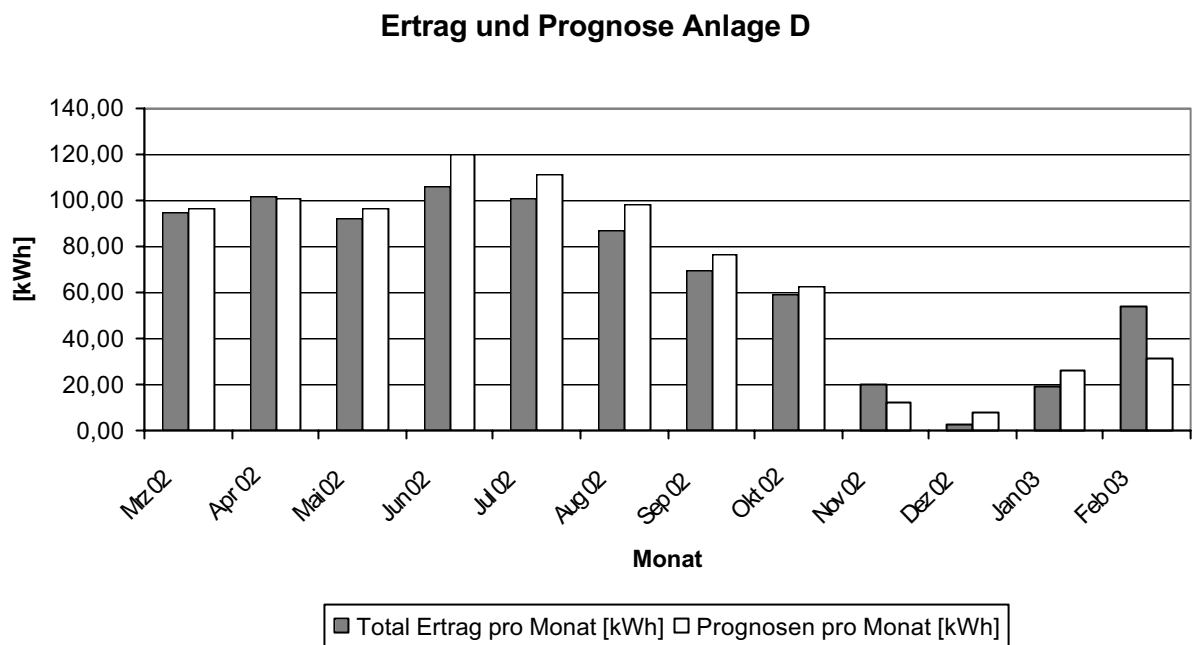


Abbildung 13: Monatliche Erträge der Anlage D sowie die Prognosen aus Daten der Grossanlage in Zürich.

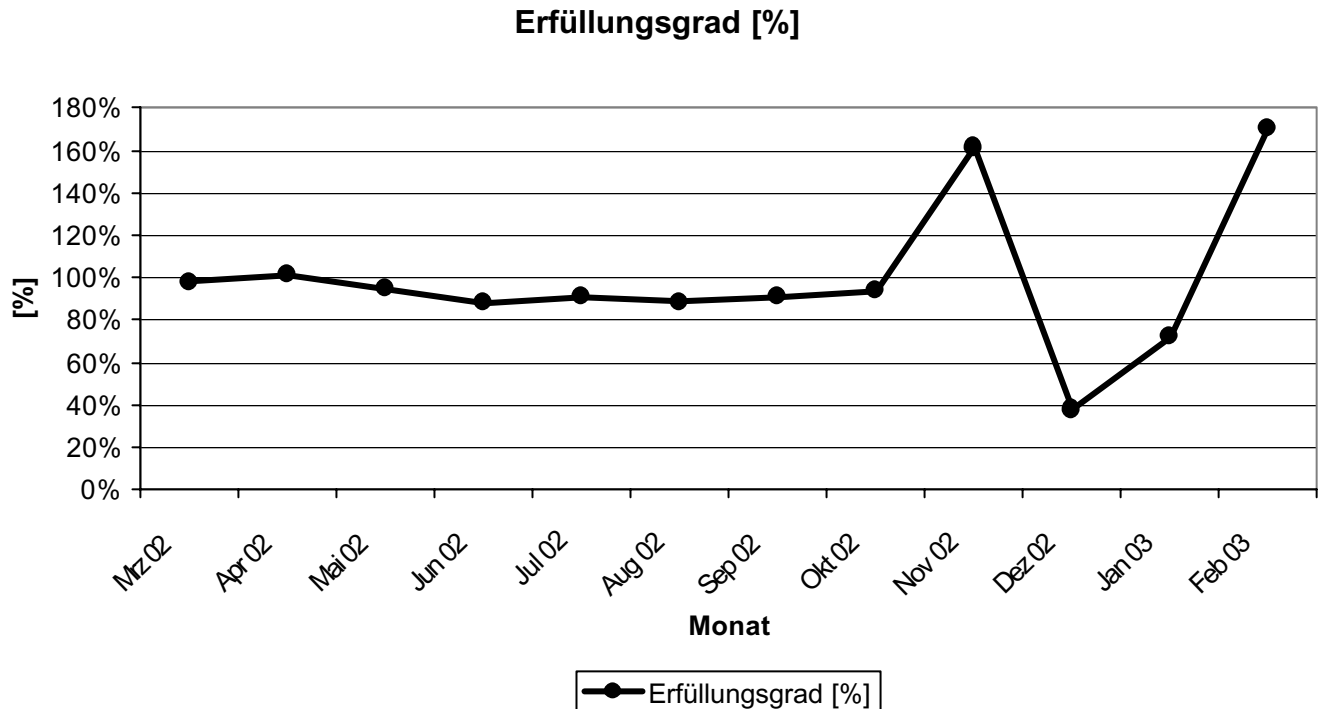


Abbildung 14: Erfüllungsgrad der Prognosewerte pro Monat der Anlage D.

Nach Angaben der Betreiber der Grossanlage gab es im Winter 2002/2003 Ertragsausfälle durch Schnee. Damit sind die Referenzdaten im November 2002 und Februar 2003 nicht sehr zuverlässig. Da die Anlage D mit 35° deutlich steiler montiert ist als die Referenzanlage mit 25° sind grössere Abweichungen auf die „positive“ Seite entstanden.

Der tiefe Dezemberwert der Anlage A ist auf eine Teilbeschattung zur dieser Jahreszeit durch ein benachbartes Gebäude zurückzuführen. Dieses Hindernis ist bei der Planung nicht weiter aufgefallen. Die Ertragseinbussen sind aber relativ gering.

Zu den weiter oben erwähnten schneefallbedingt unzuverlässigen Referenzdaten liegt zwischen Januar 2003 und Februar 2002 wahrscheinlich auch noch ein Abgrenzungsproblem vor.

Abgesehen von diesen Unsicherheiten im Winter 2002/2003 folgen die erhobenen Ertragsdaten der Anlage D mit grosser Zuverlässigkeit den Referenzdaten. Der Erfüllungsgrad in dieser zuverlässigen Periode vom Februar 2002 bis Oktober 2002 beträgt 93,3%.

4.3 Beurteilung der solaren Erträge

Referenzdaten: Die Erläuterungen in Abschnitt 4.2.2 bis Abschnitt 4.2.5 geben Hinweise auf die Grenzen von indirekt erhobenen Referenzdaten. Diese Problematik wurde bereits bei Projekteingabe erkannt und sollte mit Hilfe der Menge von 10 baugleichen Anlagen wett gemacht werden. Da dieses Ziel nicht erreicht wurde, muss bei Interpretationen der Resultate immer auch die Unsicherheit der Referenz berücksichtigt werden.

Messdaten: Die Qualität der Messdaten kann als gut bezeichnet werden. Die Verläufe der Daten lassen den Schluss zu, dass es einige Abgrenzungsprobleme zwischen den Monatswerten gab, was aber auf den Jahresertrag keinen Einfluss hat.

Jahreserträge: Im Durchschnitt liegen die Jahreserträge der beobachteten Anlagen zwischen 6% bis 7% unter den Erwartungen und Prognosen. Dies gilt sowohl für ohne Hinterlüftung ins Dach integrierten Module wie auch für die frei zugängliche Installation bei Anlage D. Das bedeutet, dass die Ertragseinbussen durch höhere Zelltemperaturen bei direkt in die Dachhaut eingebauten Modulen im Bereich anderer Toleranzgrössen liegen.

Modulwechselrichter: Es gibt keine Hinweise auf signifikant negative Einflüsse auf die Jahreserträge durch die Verwendung von tendenziell weniger effizienten Modulwechselrichtern.

Platzierung der PV-Module: Die Platzierung der PV-Module neben den thermischen Kollektoren bringt keine signifikanten Verschlechterungen der Jahreserträge.

Modulleistung: Die spezifizierte Leistungstoleranz bei den Modulen ist durch die Resultate der Anlage B offensichtlich. Der Vergleich der gemessenen Jahreserträge mit den Richtwerten von SOLAR (SOFAS) lässt den Schluss zu, dass die meisten der für uns in dieser Periode gefertigten Grossmodule am unteren Band der Leistungs- und Ertragsspezifikationen liegen.

5 Schlussfolgerungen / Perspektiven

5.1 Beurteilung der Produktidee

Die Umsatzzahlen zeigen, dass die Produktidee vom Markt nicht den Erwartungen entsprechend aufgenommen worden ist. Trotzdem führen heute sowohl in der Schweiz als auch in Deutschland praktisch alle namhaften Anbieter von thermischen Solarsystemen kombinierte Systeme in ihrem Sortiment. Grundsätzlich hat sich damit die Idee der kombinierten Solarsysteme im einheitlichen Montagesystem von der Angebotsseite her bereits durchgesetzt. Marktzahlen zu diesen Systemen sind allerdings keine erhältlich.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass alle vier Anlagen nach Ausfällen des Modul-Wechselrichters bei der Inbetriebnahme von Anlage A und B ohne technische Unterbrüche durchgehend in Funktion waren. Aus Sicht der technischen Lösung kann das als Erfolg gelten.

5.2 Marktpotential

Der Markt für kombinierte Solarsysteme ist in der Schweiz klein, da es sich um ein Segment eines bereits engen Marktes handelt. Andererseits sprechen mehrere Tendenzen dafür, dass ein Marktpotential für kombinierte Systeme besteht und wachsen kann:

- Solarstrom profitiert vom „High-Tech-Image“ und vermag mehr zu begeistern als Solarthermie.
- Die Endkunden verlangen vermehrt nach standardisierten Systemen bei der Solarthermie. Mit Verzögerung wird sich dieser Trend auch bei Solarstrom-Systemen durchsetzen.
- „Solarprofis“ diversifizieren: Ein grosser Teil der Solarprofis ist heute in der Lage einfachere Systeme in beiden Gebieten der Solarenergienutzung zu planen und zu realisieren.
- Die Ziele von Minergie und Minergie-P können durch einen Beitrag Solarstrom bautechnisch einfacher realisiert werden. Durch den Gewichtungsfaktor ergibt sich eine ungefähr gleiche äquivalente Reduktion der Energiekennzahl pro m² Solarstrom wie für Solarwärme.

5.3 Entwicklung bei den Komponenten

Seit Projektstart hat sich der Hersteller des Modulwechselrichters aus diesem Markt zurückgezogen. Im Moment sind keine entsprechenden Produkte verfügbar. Auf Grund von Ankündigungen und Präsentationen im Frühjahr 2003 sollte in den nächsten Monaten ein deutsches und ein holländisches Produkt in dieser Leistungsklasse lieferbar sein.

5.4 Markthürde Preis

Die grösste Markthürde ist nach wie vor der Preis. Durch höhere Zellenwirkungsgrade sind heute Module mit höheren Leistungen pro Flächeneinheit verfügbar. Der Endpreis pro Einheit reduziert sich jedoch im vorliegenden Kontext nicht bedeutend.

	System mit herkömmlichem 240 W Modul (2000)	System mit 260 W Modul (2003)
Bruttopreis pro Watt	Fr. 20.62	Fr. 17.60
KWh-Preis ¹	Fr. 1.57	Fr. 1.34

Tabelle 2: Preisentwicklung pro Leistungseinheit bei keinen Modulserien

Das Verhältnis von PV-Laminat zu anderen Anlageteilen und Montagekosten von 63% zu 37% hat sich im Zeitraum des Projektes noch weiter auf die Seite der PV-Lamine verschoben (Basis: Selbstkosten). Kosteneinsparungen sind aber bei den Modulen und den Wechselrichtern gegeben. Voraussetzungen dazu sind deutlich höhere Stückzahlen.

5.5 Montage- und Installationstechnik

Die Montage von Solarstromanlagen im System der thermischen Kollektoren ist einfach. Es sind keinerlei spezielle Anpassungsarbeiten vorzunehmen. Die Systeme bieten auf Grund der Konzeption eine überdurchschnittlich ausgereifte Integrationslösung.

Die Verschaltung der Module ist durch das „Plug-and-Play“ Konzept und die Kleinwechselrichter sehr einfach zu verstehen. Der Installationsaufwand steigt aber bei mehreren Modulen sehr schnell, weshalb bereits ab drei bis vier Modulen ein Stringwechselrichter die bessere Lösung darstellt.

5.6 Schnittstellen

Aus Kundensicht ideal ist die Situation, wenn sich der Kollektorinstallateur die notwendigen Arbeiten des Elektroinstallateurs im Unterakkord erstellen lässt. Auch ausgefeilte Prozesse und umfangreiches Informationsmaterial stellen keine aber Alternative zu einer regelmässigen Praxisausführung dar. Wer pro Jahr ein oder zwei System installiert wird keine Lernkurve und keine entsprechende Effizienz entwickeln.

5.7 Erträge

Die gemessenen Erträge im Vergleich zu den Prognosen sind nicht einfach zu interpretieren. Erschwerend kommt dazu, dass die Anzahl der Anlagen zu wenig repräsentativ ist und das Vergleichsverfahren gewechselt werden musste.

¹ Annuitätenmethode: Laufzeit 20 Jahre, Zinssatz 2%, Jahresertrag 800kWh/kWp

Grundsätzlich kann aber davon ausgegangen werden, dass die Ertragseinbusse durch erhöhte Temperaturen gegenüber frei aufgestellten Anlagen im Jahr bei maximal 5% - 7% liegt.

5.8 Perspektiven

Kombinierte Solaranlagen haben grundsätzlich ein gutes Marktpotenzial. Hürde ist der hohe Preis von Solarstrom an sich und von Kleinsystemen im Speziellen. Signifikante Preisreduktionen lassen sich mittelfristig nur durch massiv gesteigerte Stückzahlen realisieren. Aktuelle Anfrage haben gezeigt, dass der Markt in der Schweiz die dazu notwendigen Stückzahlen nie aufnehmen könnte. Es ist demnach zu erwarten, dass ausländische, das heisst konkret deutsche Anbieter dieses Marktsegment besetzen werden.

6 Publikationen

- 10 Roof Integrated PV Small Scale Systems: Annual Report 2001,
- 10 Roof Integrated PV Small Scale Systems. Annual Report 2002

7 Literaturverzeichnis

- [1] Joint IEA SHCP & PVPS Workshop on PV/Thermal Systems, 17./18.9.1999, Amersfoort, NL
- [2] H. Eicher, R. Rigassa: *Jahresbericht und Jahresplan 1999 Ressort Erneuerbare Energien* – Neunter Jahresbericht 1999.
- [3] P. Affolter, A. Haller, D. Ruoss, P. Toggweiler: *New Generation of Hybrid Solar PV/T Collectors* –Final Report DIS 56360 / 16868, June 2000.
- [4] PVSAT: *Intelligent performance check of PV system operation based on satellite data* - <http://www.pvsat.de/>, 2001
- [5] Polysun 3.3: Das Simulationsprogramm zur Dimensionierung thermischer Solaranlagen, Institut für Solartechnik SPF, 2003.
- [6] Thomas Hostettler: *Leitfaden der Fachkommission Solarstrom zum Thema Stromgestehungskosten von Photovoltaik-Anlagen* – SOLAR, Fachkommission Solarstrom, 2002.

Anhang

Messdaten Anlage Voramwald (Anlage A)								
Monate	Zählerstand Modul 1 per Ende Monat [kWh]	Ertrag Modul 1 pro Monat [kWh]	Zählerstand Modul 2 per Ende Monat [kWh]	Ertrag Modul 2 pro Monat [kWh]	Total Ertrag pro Monat [kWh]	Ausfälle / Schnee [Anz. Tage]	PVSAT-Prognosen pro Monat [kWh]	Erfüllungsgrad [%]
Okt 00	7,57	7,57		3	10,57		11,04	96%
Nov 00	17,40	9,83			9,83		9,36	105%
Dez 00	23,50	6,10			6,10	1,00	6,77	90%
Jan 01	30,50	7,00			7,00	3,00	7,12	98%
Feb 01	42,60	12,10			12,10		12,17	99%
Mrz 01	54,80	12,20			12,20		11,89	103%
Apr 01	71,00	16,20			16,20	1,00	16,68	97%
Mai 01	96,60	25,60			25,60		26,40	97%
Juni 01	122,00	25,40			25,40		26,22	97%
Juli 01	149,00	27,00			27,00		30,80	88%
Aug 01	175,00	26,00			26,00		26,50	98%
Sep 01	190,00	15,00			15,00		15,90	94%
Total 12 Monate		190,00			193,00		200,86	96%
Spezifischer Ertrag		791,67			804,17	5,00	836,90	96%

Messdaten Anlage Zobrist (Anlage B)								
Monat	Zählerstand Modul 1 per Ende Monat [kWh]	Ertrag Modul 1 pro Monat [kWh]	Zählerstand Modul 2 per Ende Monat [kWh]	Ertrag Modul 2 pro Monat [kWh]	Total Ertrag pro Monat [kWh]	Ausfälle / Schnee [Anz. Tage]	PVSAT-Prognosen pro Monat [kWh]	Erfüllungsgrad [%]
Nov 00	8,00	8,00	7,26	7,26	15,26		14,66	104%
Dez 00	12,30	4,30	11,20	3,94	8,24	3,00	9,58	86%
Jan 01	19,00	6,70	17,20	6,00	12,70		11,04	115%
Feb 01	30,00	11,00	27,50	10,30	21,30		19,35	110%
Mrz 01	41,10	11,10	38,10	10,60	21,70	1,00	18,96	114%
Apr 01	58,70	17,60	54,90	16,80	34,40	2,00	29,00	119%
Mai 01	87,50	28,80	81,60	26,70	55,50		48,86	114%
Jun 01	115,00	27,50	107,00	25,40	52,90		46,80	113%
Jul 01	145,00	30,00	134,00	27,00	57,00		58,60	97%
Aug 01	173,00	28,00	160,00	26,00	54,00		49,00	110%
Sep 01	188,00	15,00	175,00	15,00	30,00		26,20	115%
Okt 01	204,00	16,00	190,00	15,00	31,00		30,70	101%
Total 12 Monate		204,00		190,00	394,00		362,75	109%
Spezifischer Ertrag		850,00		791,67	820,83	6,00	755,73	109%

Messdaten Anlage Wunderle (Anlage C)								
Monate	Zählerstand Modul 1 per Ende Monat [kWh]	Ertrag Modul 1 pro Monat [kWh]	Zählerstand Modul 2 per Ende Monat [kWh]	Ertrag Modul 2 pro Monat [kWh]	Total Ertrag pro Monat [kWh]	Ausfälle / Schnee [Anz. Tage]	Prognosen pro Monat [kWh]	Erfüllung [%]
Okt 01	7,60	7,60			7,60		12,31	62%
Nov 01	10,40	2,80			2,80		4,95	57%
Dez 01	12,00	1,60			1,60		4,07	39%
Jan 02	16,30	4,30			4,30		6,13	70%
Feb 02	21,50	5,20			5,20		7,59	69%
Mrz 02	35,40	13,90			13,90		17,55	79%
Apr 02	54,50	19,10			19,10		21,93	87%
Mai 02	76,70	22,20			22,20		22,43	99%
Juni 02	102,00	25,30			25,30		29,97	84%
Juli 02	128,00	26,00			26,00		26,47	98%
Aug 02	148,00	20,00			20,00		22,49	89%
Sep 02	161,00	13,00			13,00		14,74	88%
Total 12 Monate		161,00			161,00		190,62	84%
Spezifischer Ertrag		670,83			670,83		794,26	84%

Messdaten Anlage Berger (Anlage D)								
Monat	Zählerstand Modul 1 per Ende Monat [kWh]	Ertrag Anlage pro Monat [kWh]	Zählerstand Modul 2 per Ende Monat [kWh]	Ertrag Modul 2 pro Monat [kWh]	Total Ertrag pro Monat [kWh]	Ausfälle / Schnee [Anz. Tage]	Prognosen pro Monat [kWh]	Erfüllungsgrad [%]
Mrz 02	120,00	95,00			95,00		96,85	98%
Apr 02	222,00	102,00			102,00		100,63	101%
Mai 02	314,00	92,00			92,00	3,00	96,84	95%
Jun 02	420,00	106,00			106,00		119,93	88%
Jul 02	521,00	101,00			101,00		110,88	91%
Aug 02	608,00	87,00			87,00	1,00	98,33	88%
Sep 02	678,00	70,00			70,00	2,00	76,76	91%
Okt 02	737,00	59,00			59,00		62,81	94%
Nov 02	757,00	20,00			20,00		12,37	162%
Dez 02	760,00	3,00			3,00		7,91	38%
Jan 03	779,00	19,00			19,00		26,27	72%
Feb 03	833,00	54,00			54,00		31,62	171%
Total 12 Monate		808,00			808,00		841,20	96%
Spezifischer Ertrag		841,67			841,67	6,00	876,25	96%