



Fraunhofer Institut
Solare Energiesysteme

Freiburger Performance Check

Abschlussbericht

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Klaus Kiefer
Heidenhofstraße 2
79110 Freiburg

12.07. 2006



HANDWERKSKAMMER
FREIBURG



Energieagentur
Regio Freiburg

1 Kurzbeschreibung

Die Qualität von Photovoltaikanlagen dauerhaft zu gewährleisten ist bei anhaltenden jährlichen Wachstumsraten von 20-30% eine anspruchsvolle Aufgabe. Aktuelle, stichprobenartige Auswertungen der technischen Daten von netzgekoppelten Anlagen zeigen oftmals Schwächen bei der Systemauslegung, der Anlagenplanung und der Qualität der technischen Komponenten. Daher wurden im Rahmen des „Freiburger Performance Checks“ alle Daten der innerhalb des „regiostroms“ geförderten Anlagen aufbereitet, um eine statistische Einschätzung der Qualität der Anlagen zu erhalten. Bei Anlagen mit zu geringen Erträgen wurden die Ursachen ermittelt und Maßnahmen zur Beseitigung der Schwachstellen vorgeschlagen. Durch die Mitarbeit der Energieagentur Regio Freiburg und des Umweltzentrum der Handwerkskammer Freiburg wurde der Transfer der Ergebnisse in die Praxis realisiert.

2 Arbeitsprogramm und Ergebnisse

Die von badenova zur Verfügung gestellten technischen Daten und Erzeugungsdaten von nahezu 500 Anlagen wurden vom Fraunhofer ISE ausgewertet. Die Daten der Anlagen mit zu geringem Ertrag wurden im Detail analysiert, 25 Anlagen wurden nach einer standardisierten Prozedur vor Ort überprüft.

Die Ergebnisse und Erkenntnisse aus diesem Projekt wurden in einem „Wegweiser Solarstromanlagen“ veröffentlicht, der bei der Energieagentur Regio Freiburg www.energieagentur-freiburg.de bezogen werden kann. Die Studie zeigt, dass in der konkreten Umsetzung einer Anlage der Teufel im Detail steckt. So wurden Unterschiede im Stromertrag von über 50 Prozent gemessen, die eigentlich grundsätzlich eine ähnliche Stromausbeute von der Sonne zapfen müssten.

Als Hauptursachen für Mindererträge wurden identifiziert:

- Standorte, die Verschattungen bringen (im Sommer durch Bäume, im Winter durch Einstrahlwinkel)
- Nicht optimale Ausrichtung der Module zur Sonne
- Unterdurchschnittliche Leistung mancher Module
- Nicht optimale Wechselrichter (wandelt Gleichstrom in Wechselstrom um) oder deren unbemerkten Ausfall

Diese Faktoren führen dazu, dass cirka 15 Prozent der untersuchten Anlagen unter 700 Kilowattstunden Kilowatt Leistung erzeugten, während nahezu zehn Prozent der Anlagen in Freiburg zeigten, dass sogar die 1000 kWh-Grenze in Freiburg zu übertreffen ist und zwar in einem solaren Durchschnittsjahr wie 2004. Als realistische Zielgröße für

Neuanlagen mit optimaler Ausrichtung und guten Komponenten sollten in Freiburg 950 kWh pro Jahr und Kilowatt erreichen.

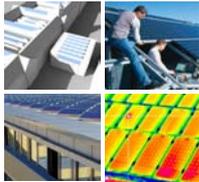
Erfreulichste Erkenntnis aus der Studie: Die Qualität der Anlagen ist in den letzten Jahren immer besser geworden: So weisen Anlagen aus den Baujahren 2002 und 2003 (dank des aufgekommenen Solarbooms sind dies besonders viele) Jahreserträge zwischen 900 und 1000 Kilowattstunden auf, während die Pionieranlagen aus den Baujahren vor 1999 sich im Mittel mit rund 700 kWh bescheiden müssen. Die im Laufe der Jahre ständig verbesserte „Performance“ ist dabei das Resultat verbesserten Know-hows in der gesamten Branche. Insgesamt steigerte sich die Anlageneffizienz in den letzten vier Jahren um 17 Prozent.

Die Projektergebnisse wurden bei einer von der Handwerkskammer Freiburg und badenova organisierten Informationsveranstaltung präsentiert, bei der mehr als 300 Handwerker anwesend waren. Als Folge des Projektes hat die Handwerkskammer seine Ausbildungsinitiative um die Themen Anlageneffizienz und Qualität erweitert.

3 Anhang

Präsentationsfolien der Informationsveranstaltung vom 3.2.2006.

Ergebnisse aus dem Performance Check



Dipl.-Ing. Klaus Kiefer

Fraunhofer-Institut für
Solare Energiesysteme ISE

Informationsveranstaltung
Freiburg, 03.02. 2006



Förderung und Projektpartner



- gefördert vom Innovationsfonds, Bereitstellung der Daten und Kundenkontakte (Frau Held und Herr Hamburger)



- Projektleitung, Datenauswertung, Vorortanalysen und Dokumentation der Ergebnisse (Frank Neuberger, Klaus Kiefer, Volker Hoffmann)



- Konzeption und Erstellung des Leitfadens (Rainer Schüle und Udo Schoofs)

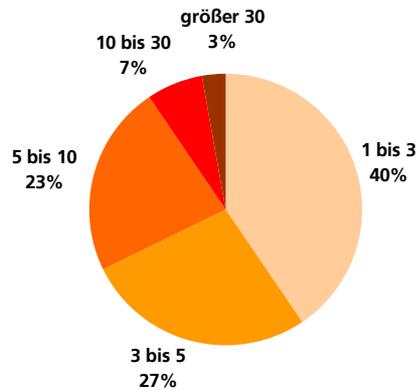


- know-how-transfer in die Praxis, Herr Seitz-Schüle
-



Verteilung der Anlagengröße in kWp

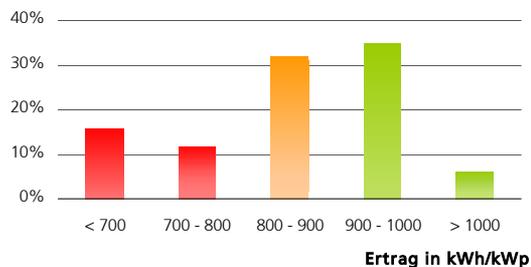
- 500 Anlagen
- Im Mittel: 5,8 kWp
- Baujahr bis 2003
- 50 Anlagen bis 1999



Anlagenerträge von 470 Anlagen im Jahr 2004



Anteil Anlagen

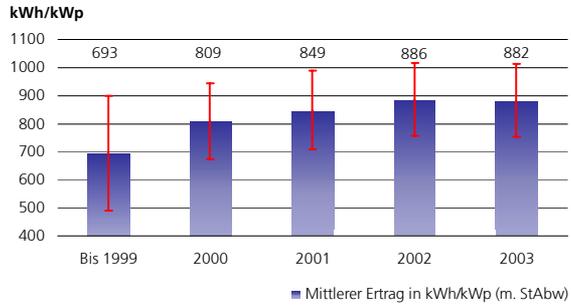


Mittelwert aller Erträge: 839 kWh/kWp

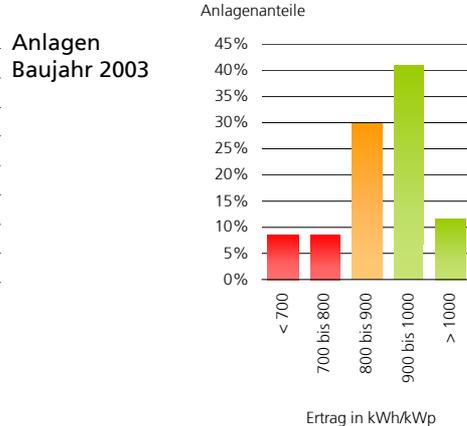
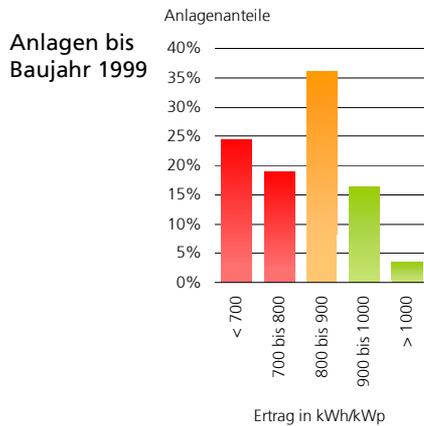
Anlagenerträge im Jahr 2004 nach Inbetriebnahmejahr

Ertragssteigerungen:

- 1999 auf 2000: 17%
- 1999 auf 2003: 27%



Verteilung der Anlagenerträge 2004 im Vergleich

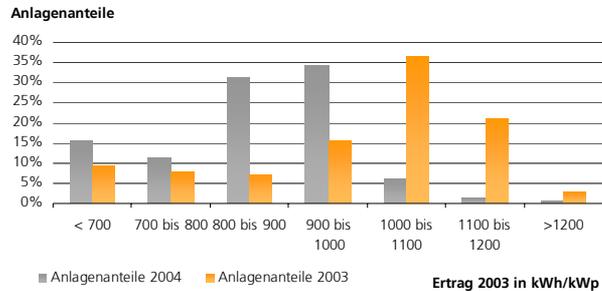


Vergleich der Erträge 2003 und 2004

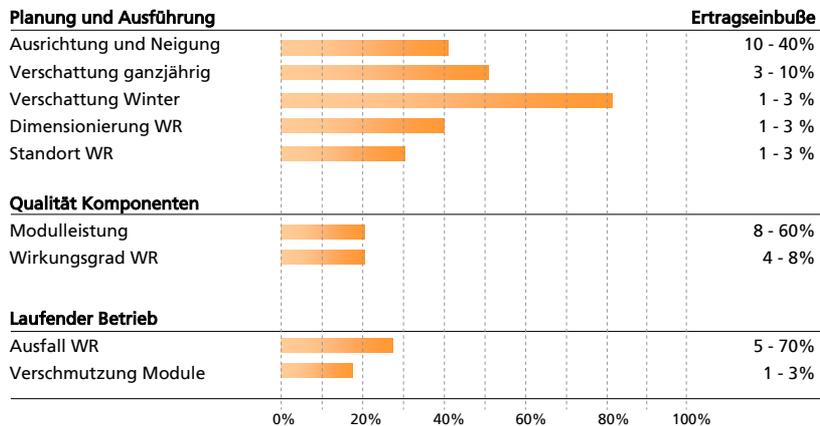
Mittelwerte:

2003: 975 kWh/kWp

2004: 839 kWh/kWp



Ursachen für geringe Erträge



Standort Module und Verschattung

Ertrag deutlich unter
500 kWh/kWp



Starke Verschattung ganzjährig



Jahr	Ertrag kWh/kWp	Einstrahlung kWh/m ²	Performance %
2002	633	1196	53
2003	736	1405	52
2004	577	1224	47

Mehrere Ursachen für Minderertrag



Ertrag 2004 liegt bei **600 kWh/kWp**

Ursachen

- Reihenverschattung der Module Gaube und Dach
- Verschattung Module neben Gaube
- Verschmutzung Module im Randbereich
- Wechselrichter im Heizungskeller und sehr knapp ausgelegt

Mehrere Ursachen für Minderertrag



Ertrag 2004 lag unter **500 kWh/kWp**

Ursachen

- Horizontverschattung und Teilverschattung
- Minderleistung Module im Bereich von 16 %
- Längerer Ausfall eines Wechselrichters
- Wechselrichter im Dachboden

Mehrere Ursachen für Minderertrag



Teilverschattung

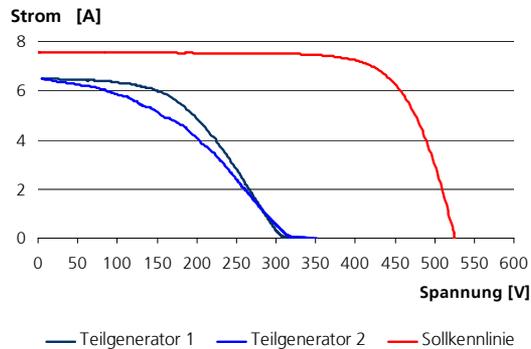


Horizontverschattung

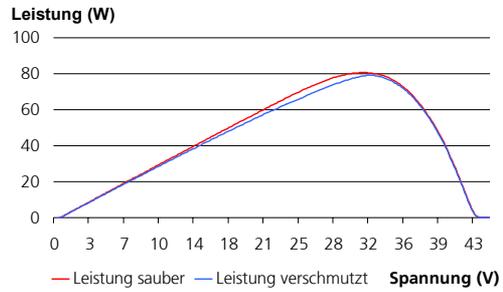


WR unter dem Dach

Verschattung und zu geringe Modulleistung

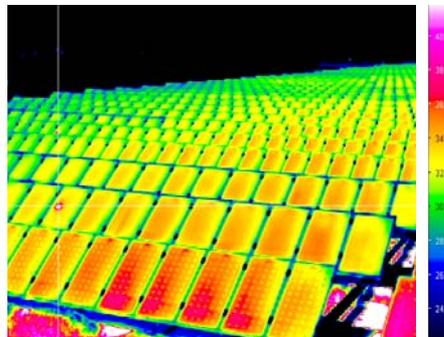


Leistungsminderung durch Verschmutzung



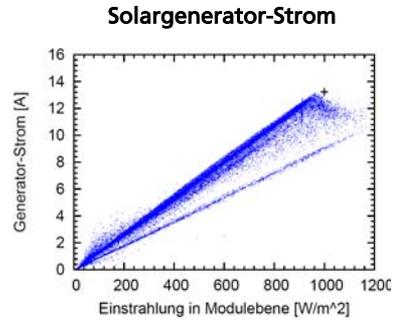
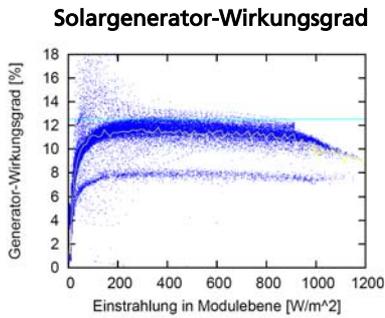
Messung der Kennlinie vor und nach
Modulreinigung

Infrarotaufnahme 500 kWp Dachanlage



Fehlererkennung durch Monitoring

Detailanalyse Solargenerator



Wechselrichter

- Hoher Wirkungsgrad
- Gutes MPP - Tracking
- Hohe Zuverlässigkeit
- Auslegung

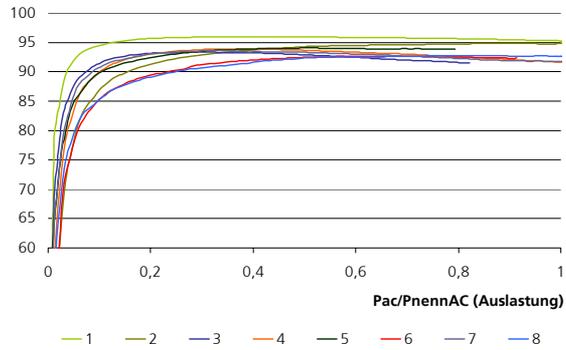


Wechselrichter Wirkungsgrad

Jahreswirkungsgrade:

- 1: 95,3 %
- 2: 93,4 %
- 3: 91,9 %
- 4: 92,1 %
- 5: 92,1 %
- 6: 90,6 %
- 7: 91,6 %
- 8: 90,4 %

Wirkungsgrad in %

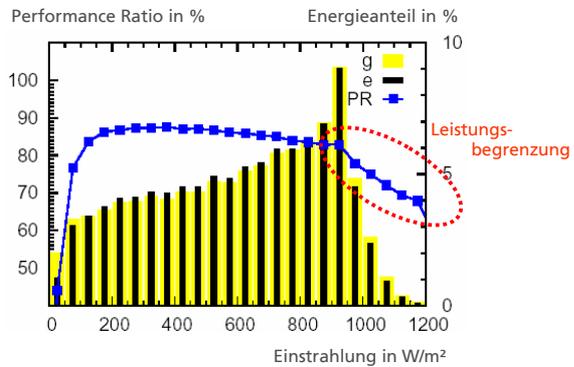


Wechselrichterauslegung

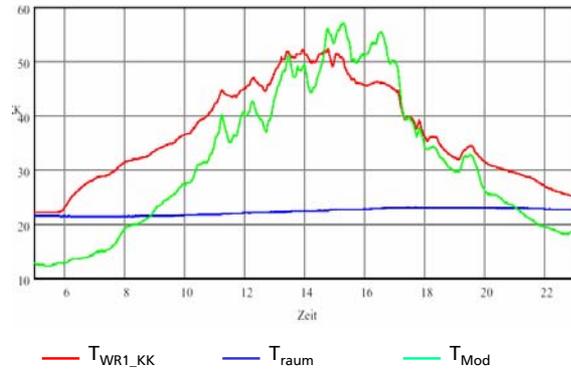
Anlagendaten:

- Solargenerator: 6,2 kWp
- Wechselrichter: 5,0 kW_{AC}
- Verhältnis:

$$P_{\text{Solar}} / P_{\text{WR,AC,max}} = 1,24$$



Temperatur Wechselrichter



Temperatur Wechselrichter

Ohne Worte



Anlage mit hohem Ertrag

- Nennleistung: 4,48 kWp
- 10 Grad Westen, 25 Grad Neigung
- Ertrag 2004: 1020 kWh/kWp
- Baujahr 2001



Anlage mit hohem Ertrag

- Ertrag 2004: 1056 kWh/kWp
- Nennleistung: 1,71 kWp
- Baujahr: 2000
- 20 Grad nach Osten, 30 Grad Neigung
- Nennleistung Wechselrichter 1,8 kW



Anlage mit akzeptablem Ertrag



Anlage mit akzeptablem Ertrag

- Ertrag 2005: 950 kWh/kWp
- Nennleistung: 90 kWp
- Baujahr: 2004
- Süden, 19 Grad Neigung

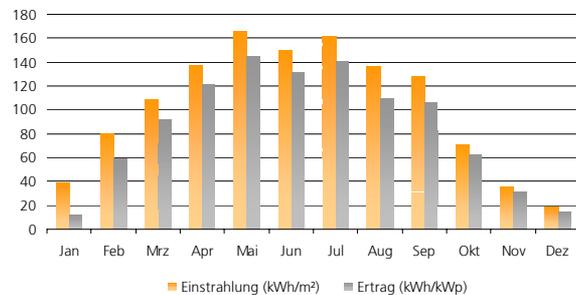


Anlage mit optimalem Ertrag

- Ertrag 2004: 1030 kWh/kWp
- Nennleistung: 50 kWp
- Baujahr: 2003
- Süden, 30 Grad Neigung



Anlage mit optimalem Ertrag - Jahresverlauf

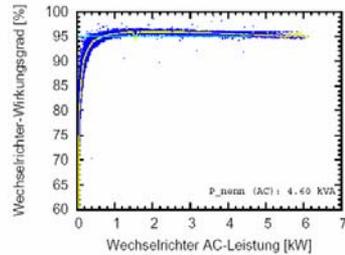
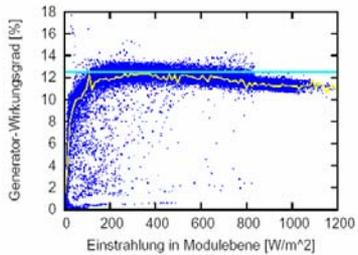


Summe Einstrahlung: 1239 kWh/m²

Summe Ertrag: 1030 kWh/kWp

Detailanalyse zeigt

- Leistung Module stimmt
- Geringe Verschattung
- Wechselrichterwirkungsgrad hoch



Jahreserträge bei optimaler Technik und Standort

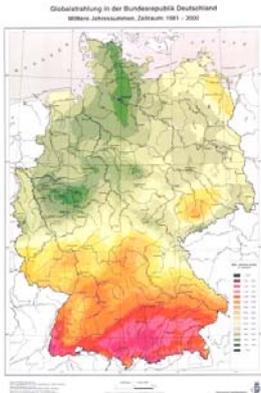
Einstrahlung Freiburg:

horizon. 1165 kWh/m²

geneigt 1335 kWh/m²

	Kleindachanlagen	Solkraftwerke
Norddeutschland	800	850
Süddeutschland	920	980
Freiburg	950	1010

Die wichtigsten Einflussfaktoren



- Standort der Anlage (Einstrahlung und Temperatur)
- Ausrichtung und Neigungswinkel Solargenerator
- Montage und Verschattung des Solargenerators
- tatsächliche Leistung der Module
- Wechselrichter (Wirkungsgrad und MPP)
- Systemauslegung und Ausführung

Der Weg zu hohen Erträgen

