



Der Energieertrag von PV-Anlagen in alpinen Höhenlagen

Prof. (FH) Dr.-Ing. Wolfgang Woyke

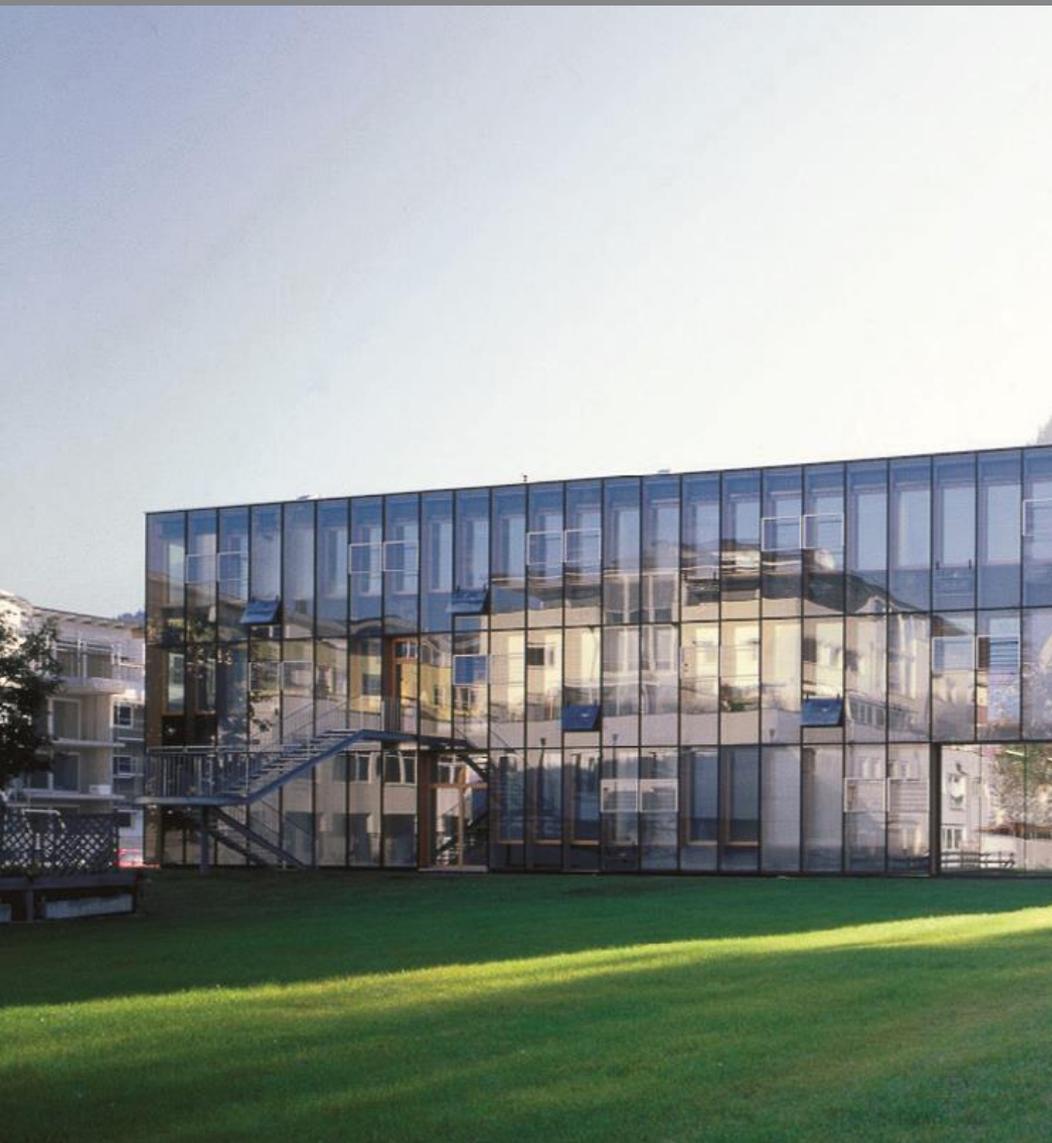
Stv. Studiengangsleiter für Europäische Energiewirtschaft

Gerhard Dummeldinger BA

14. Symposium Energieinnovation

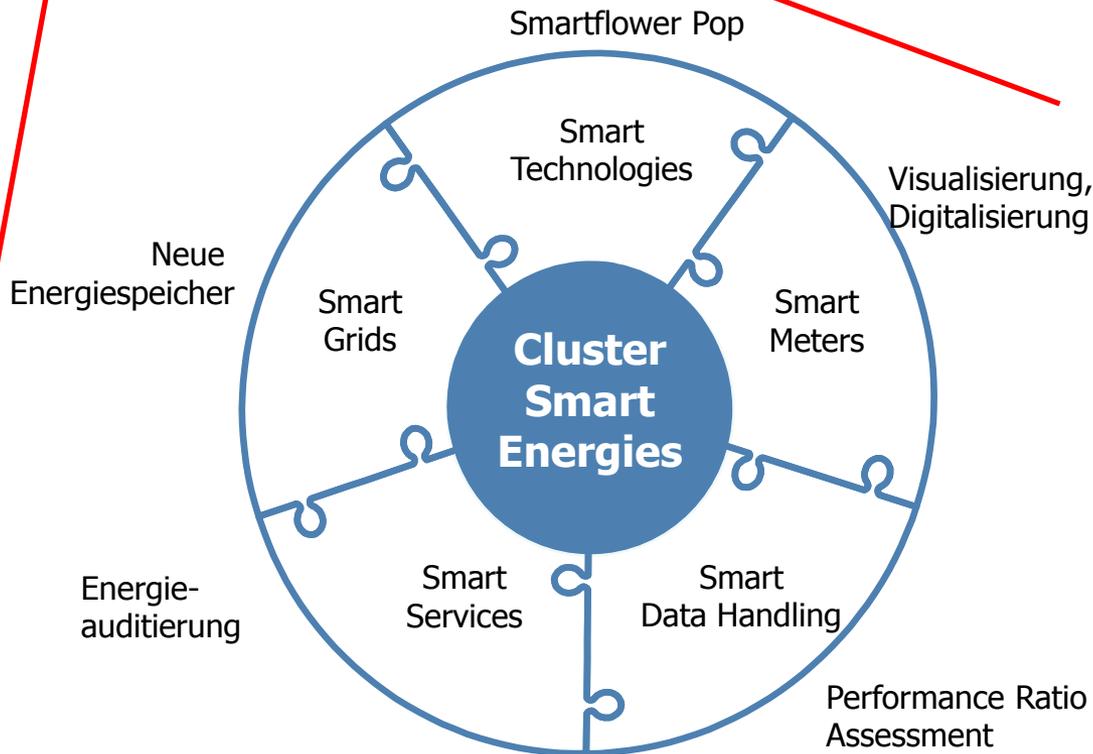
TU Graz

10. Februar 2016



- » 2000 Studierende
 - » 50 Nationen
 - » 1.565 Bachelor- und Masterstudierende
 - » 203 Incomings
 - » 232 Post Graduate-Studierende
- » 450 Lehrende
- » 21 Studiengänge
- » 13 Post Graduate Programme
- » 170 Partnerhochschulen
 - » Department Wirtschaft & Technik
 - » Studiengang „Europäische Energiewirtschaft“
 - » BA, Vollzeit, 90 Studierende
 - » MA, Berufsbegleitend, 36 Studierende

>> Forschungscluster Smart Energies



Prof. (FH) Dr. Georg Konrad
georg.konrad@fh-kufstein.ac.at
Studiengangsleiter
Europäische Energiewirtschaft



Prof. (FH) Dr.-Ing. Wolfgang Woyke
wolfgang.woyke@fh-kufstein.ac.at
Stv. Studiengangsleiter
Europäische Energiewirtschaft



Dipl.-Ing. Harald Skopetz
Harald.Skopetz@fh-kufstein.ac.at
Hochschullehrer für Energiewirtschaft



Florian Prosser B.A.
florian.prosser@fh-kufstein.ac.at
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

>> Das Verbundprojekt Solclim



Gerlos: Vorkogel 2067 m

Verbundprojekt SolClim im Rahmen des Comet-Förderprogramm am K1-Zentrum „alpS“

Potenzialnutzung von Sonnenenergie im Hochgebirge

- klare Luft
- tiefe Temperaturen
- reflektierender Schnee

Betriebskampagne September 2013 bis März 2015

Absam: 700 m

STEPS

MCI®


Universität Innsbruck
Energieeffizientes Bauen

**HILBER
SOLAR**

fh
KufsteinTirol
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

alp-S



>> Das Anlagenkonzept

Standort Gerlos	2.067 m ü. NN
Standort Absams	700 m ü. NN

Je 3 Trägersysteme pro Standort

- Solwing F (starr nach S ausgerichtet)
- Solwing S (einachsig nachgeführt)
- Solwing T (annähernd 2-achsig nachgeführt)

Je 3 PV-Systeme pro Trägersystem

- **Modulsystem 1:** 15 Module FS377 (Dünnschicht CdS/CdTe)
 $P_{STC} = 1163 \text{ W}$; $\eta_{STC} = 10,8\%$; $A = 10,8 \text{ m}^2$
- **Modulsystem 2:** 4 Module Moser BaerSolar MBPV CAAP 220 (Multikristallin)
 $P_{STC} = 880 \text{ W}$; $\eta_{STC} = 13,4\%$; $A = 6,6 \text{ m}^2$
- **Modulsystem 3:** 4 Module CNPV-300 P (Polykristallin)
 $P_{STC} = 1200 \text{ W}$; $\eta_{STC} = 15,4\%$; $A = 7,8 \text{ m}^2$

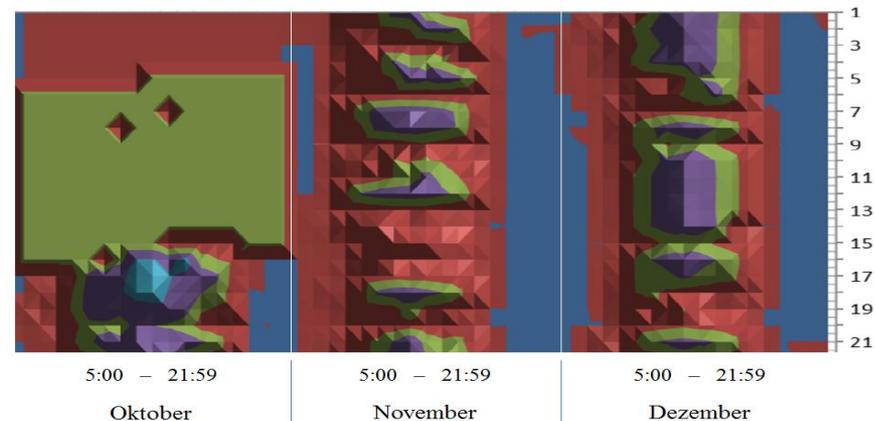
>> Datenaufbereitung

Messwerterfassung:

- 2400 bzw. 5000 Dateien mit jeweils 2 MB;
- ca. 1 s Auflösung komprimiert zu Minuten- und Stundenmittelwerten;
- 53 Messgrößen pro Standort;
- Referenzmodul auf jedem Trägersystem zur Messung der Einstrahlung;

Plausibilitätsprüfung z.B. des Messwerts
T_PX_WR2 in Absam mittels
Oberflächendiagramm.

(Absam, Solwing T, Modulsystem2,
elektrische Leistung)



>> Datenaufbereitung

Übersicht des täglichen Ertrags, sofern Daten vollständig vorliegen.

Standort Gerlos

	Dezember '13	Januar '14	Februar '14	März '14	April '14	Mai '14	Juni '14	Juli '14	August '14	September '14	Oktober '14	November '14
1	5.10	MW	4.60	3.07	7.30	4.41	2.70	k.MW	k.MW	1.10	1.06	5.62
2	5.30	0.70	1.07	1.30	7.47	3.40	2.56	k.MW	k.MW	0.88	1.97	5.99
3	4.53	MW	4.08	5.51	3.95	1.94	2.85	k.MW	k.MW	3.53	5.69	6.45
4	MW	0.88	4.61	MW	4.86	3.20	4.59	k.MW	k.MW	4.13	6.94	3.07
5	3.64	0.03	2.92	0.24	2.69	8.04	4.84	k.MW	k.MW	3.11	2.99	0.81
6	0.64	4.25	5.52	2.07	1.81	6.84	6.77	k.MW	k.MW	2.80	6.32	0.10
7	0.63	3.18	3.42	7.25	7.69	1.80	7.13	MW	2.54	3.00	5.97	1.49
8	3.16	2.95	3.04	7.43	3.98	6.91	7.50	MW	6.65	4.63	3.02	1.34
9	1.98	1.99	0.03	7.52	4.75	4.32	7.40	k.MW	4.44	3.30	7.08	4.49
10	4.34	0.19	2.97	6.81	3.39	6.16	6.34	MW	6.90	1.37	5.39	1.34
11	4.94	2.40	1.32	6.99	5.88	2.15	5.22	k.MW	1.16	1.68	2.45	1.74
12	4.82	5.41	1.37	7.44	3.12	4.49	k.MW	2.25	1.57	6.15	2.24	
13	4.84	MW	3.70	MW	2.19	4.20	k.MW	0.94	0.75	1.88	k.MW	
14	4.65	0.81	5.81	7.53	6.56	0.94	2.84	k.MW	1.83	1.59	4.83	k.MW
15	2.41	0.23	5.37	3.42	3.18	2.30	4.38	k.MW	2.04	3.20	2.58	k.MW
16	4.80	1.75	0.28	1.75	2.31	2.91	3.61	k.MW	2.77	5.22	2.64	k.MW
17	4.06	2.50	1.23	7.84	7.26	2.68	3.49	k.MW	7.64	5.31	k.MW	k.MW
18	MW	4.86	4.74	MW	3.62	6.71	4.99	k.MW	7.28	6.50	6.39	k.MW
19	1.62	MW	1.31	5.68	4.76	7.85	4.26	k.MW	1.74	6.02	6.30	k.MW
20	1.43	1.14	3.00	7.79	4.70	7.91	1.98	k.MW	1.39	4.42	4.43	k.MW
21	4.72	0.44	5.65	7.36	4.23	7.73	7.03	k.MW	2.59	3.75	k.MW	k.MW
22	1.48	5.05	0.28	5.67	3.65	7.52	7.60	k.MW	4.80	2.81	k.MW	k.MW
23	4.92	4.90	2.04	0.04	6.25	5.32	5.37	k.MW	0.88	6.96	k.MW	k.MW
24	4.23	0.03	6.90	0.36	4.04	7.71	k.MW	2.42	6.42	3.16	k.MW	k.MW
25	MW	0.46	6.73	3.54	5.98	6.82	k.MW	5.74	3.07	3.44	k.MW	k.MW
26	0.86	0.15	6.20	5.75	4.62	4.79	k.MW	2.28	1.42	1.73	k.MW	k.MW
27	3.13	0.03	6.82	7.96	2.44	1.19	k.MW	2.87	k.MW	6.49	k.MW	k.MW
28	4.63	0.03	6.74	7.92	2.60	3.08	k.MW	6.02	k.MW	6.46	k.MW	k.MW
29	0.03	2.31	MW	8.10	2.64	2.05	k.MW	4.07	7.06	6.28	k.MW	k.MW
30	1.17	3.23	k.MW	7.76	6.81	4.44	k.MW	1.27	4.77	4.15	k.MW	k.MW
31	4.50	0.82	MW	6.92	MW	2.88	k.MW	1.41	k.MW	5.51	k.MW	k.MW
	5.30	5.41	6.90	8.10	7.69	8.04	7.60	k.MW	7.64	7.06	7.06	6.45

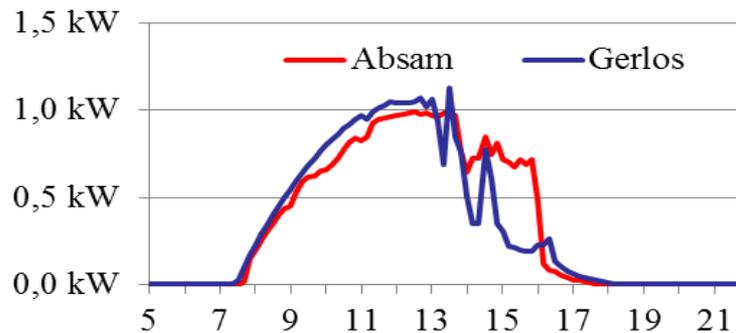
Standort Absam

	Oktober '13	November '13	Dezember '13	Januar '14	Februar '14	März '14
1		2.55	4.03	3.79	2.97	4.60
2		2.75	4.57	0.41	0.37	1.19
3		0.64	4.31	1.99	2.49	6.12
4		2.11	4.60	0.46	4.04	0.44
5		3.34	1.94	0.00	1.11	0.89
6		0.15	2.03	3.68	5.52	4.45
7		5.08	0.33	3.38	3.73	6.89
8	k.MW	4.81	4.56	2.76	3.03	6.46
9		0.60	2.51	1.78	0.50	7.08
10		1.06	4.14	0.29	1.89	6.70
11		2.11	4.60	1.14	3.13	
12		5.22	4.59	3.04	3.30	
13		0.28	4.58	4.22	3.09	
14		0.61	4.16	0.59	5.39	
15		0.70	1.98		4.83	
16		4.53	0.31	4.55	0.27	
17		6.34	0.45	3.45	0.87	
18		6.25	4.26	1.06	3.56	
19		5.55	0.97	0.69	0.27	
20		3.65	0.25	0.85	2.46	
21		5.64	3.21	4.27	0.51	3.38
22		4.09	3.79	1.52	2.59	2.20
23		0.74	0.00	4.17	4.37	5.54
24		4.70	0.35	3.37	0.55	6.77
25		4.87	0.00	2.12	4.27	6.14
26		5.40	0.37	0.29	5.52	
27		4.23	2.99	0.69	6.20	
28		4.67	0.00	4.40	1.33	6.38
29		0.57	3.57	0.19	5.30	
30		1.11	1.26	4.04	2.78	
31		3.71	4.11	1.17		

Beispiel: Tägliche Erzeugung Solwing F, Modulsystem 3, in kWh

>> Tägliche Erzeugungsprofile

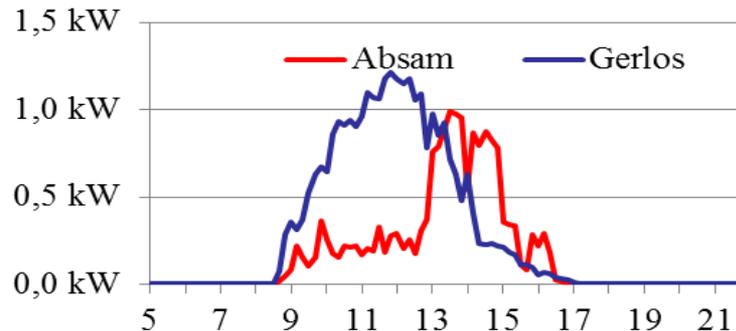
3. März 2014: Absam 6,12 kWh; Gerlos 5,51 kWh



3. März 2014:

- Sonniger Tag mit Eintrübung
- Eintrübung am Gerlos intensiver
- Tagesertrag am Gerlos deutlich tiefer als Absam.

1. Februar 2014: Absam 2,97 kWh; Gerlos 4,61 kWh



1. Februar 2014:

- Deutlich unterschiedliches Wettergeschehen an beiden Standorten
- Berglage erreicht STC-Bedingungen
- Tagesertrag am Gerlos deutlich höher als Absam.

Erzeugung im Vergleich von Berg- und Tallage, Solwing F, Modulsystem 3

>> Kennzahlen für den Tagesvergleich

Solwing F, Modulsystem 3				
	1. Februar 2014		3. März 2014	
	Absam	Gerlos	Absam	Gerlos
Tagesertrag	2,97 kWh	4,61 kWh	6,12 kWh	5,51 kWh
Absoluter Mehrertrag	1,64 kWh		-0,61 kWh	
Relativer Mehrertrag	55%		-10%	
Strahlungsertrag	3,06 kWh/m ²	4,46 kWh/m ²	6,28 kWh/m ²	5,49 kWh/m ²
Performance Ratio	81%	86%	81%	84%

$$PR = \frac{E}{G \cdot \eta \cdot A}$$

- E Energieertrag
- PR Performance Ratio
- G Strahlungsertrag
- η Modulwirkungsgrad
- A Modulfläche des Modulsystems

>> Kalendertäglicher Vergleich der Erträge

	Dez	Jan	Feb	März
1	1,06		1,64	-1,53
2	0,73	0,29	0,70	0,10
3	0,22		1,59	-0,61
4		0,41	0,57	
5	1,70		1,81	-0,64
6	-1,39	0,68	0,00	-2,38
7	0,30	-0,21	-0,31	0,35
8	-1,40	0,19	0,01	0,98
9	-0,93	0,20	-0,47	0,44
10	0,20	-0,10	0,68	0,11
11	0,25	1,26	-1,81	
12	0,23	2,37	-1,94	
13	0,26		0,61	
14	0,49	0,22	0,41	
15	0,43		0,53	
16	0,25		0,00	
17	0,61		0,36	
18			1,17	
19	0,93		1,05	
20	0,58		0,54	
21	0,45	-0,08	2,27	
22	-0,04	2,45	-1,92	
23	0,35	0,53	-3,50	
24	0,86	-0,52	0,13	
25		-3,81	0,58	
26	0,49	-0,13	0,68	
27	0,14	-0,66	0,62	
28	0,22	-1,29	0,38	
29	-0,16	-2,98		
30	-2,87	0,45		
31	0,40	-0,35		

Kalendertägliche Mehr-/Minderertrag von Trägersystem

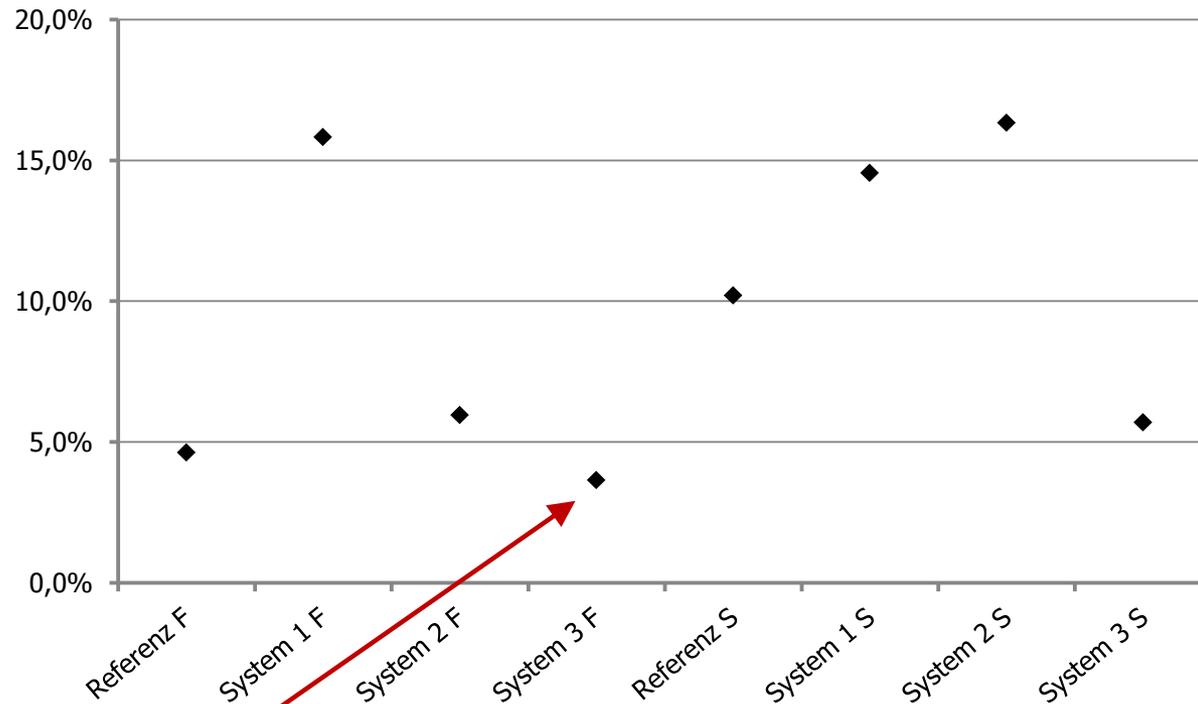
Solwing F, Modulsystem 3:

- Schnittmenge valider Daten bei ca. 80 Tagen;
- Grüne Felder entsprechen einem Mehrertrag in kWh von Gerlos gegenüber Absam
- Rote Felder kennzeichnen einen Minderertrag
- In Summe ergibt sich ein Mehrertrag von ca. 10 kWh bei einem Gesamtertrag in Absam von 265 kWh

⇒ **3,6% Mehrertrag**

⇒ **Performance Ratio: Absam 86%, Gerlos 85%**

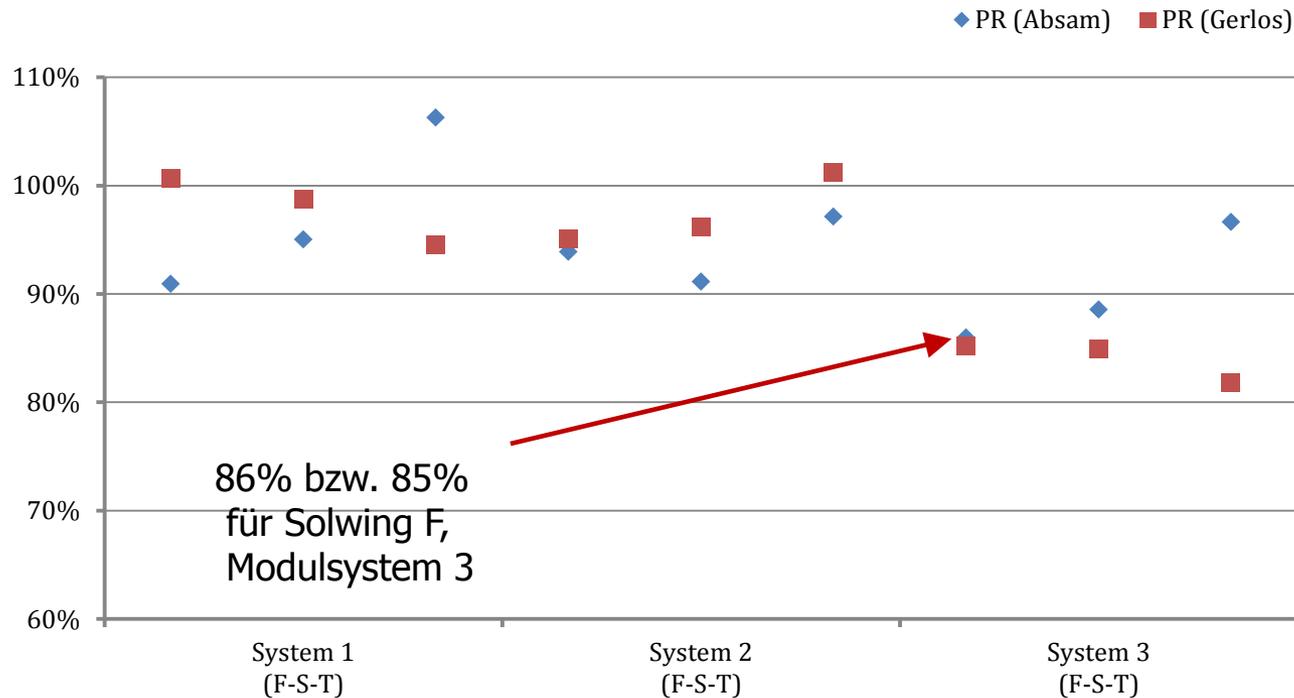
>> Mehrertrag im Vergleichszeitraum



3,6% für Solwing F,
Modulsystem 3

Der Mehrertrag der Höhenlage Gerlos
gegenüber der Tallage in Absam

>> Performance Ratio im Vergleichszeitraum



Die Performance Ratio (PR) der Modulsysteme 1, 2 und 3 jeweils für die Trägersysteme F, S und T

>> Zusammenfassung

Energieertrag von PV-Anlagen in alpinen Höhenlagen

- Langzeitstudien erfordern kontinuierliche Begleitung der Datenerfassung, um Datenlücken zu verhindern;
- Ertragslage in Höhenlage ca. 10% höher, PR ist tendenziell ähnlich der von Tallagen;
- Keine Präferenz für Trägersysteme oder Modulsysteme erkennbar
- Neuer Standort mit zusätzlichen Schwerpunkten Energiespeicher, bifacial solar cells und unter Folgen der Klimaerwärmung in Vorbereitung



source: www.smartflower.com

Das Projekt „Auswertung von Betriebsdaten der PV-Anlagen SOLCLIM“ wurde aus Mitteln des vom Land Tirol eingerichteten Wissenschaftsfonds gefördert.