



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Volkswirtschaftsdepartement EVD
Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART

Photovoltaik

Energie und Wärme aus Photovoltaikanlagen

Ludo Van Caenegem, Alina Pasca

Informationstagung Landtechnik
Tänikon, 13./14. Oktober 2009





Fakten

- PV-Anlagen sind **teuer**
- **Energieertrag:**
 - Photovoltaik: $1 - 1.2 \cdot 10^6$ kWh/ha Jahr
 - Biomasse: $4 - 8 \cdot 10^4$ kWh/ha Jahr
- Landw. Betriebe verfügen über **grosse Dachflächen**, die sich für PV-Anlagen eignen
- Photovoltaik wird gefördert: **Einspeisevergütung** ab 2009



Förderung von Solarstrom

- Kostendeckende Vergütung ab 01.01.09 während 25 Jahren
- 16 Mio Fr. (5 % von 320 Mio) für Photovoltaik
- Entspricht etwa 25 MW ($\approx 250\,000\text{ m}^2$)
- Investitionen Fr. pro kWhp: Fr. 10 000.-

	Leistungsklasse	Vergütung (Rp/kWh)
Freistehend	<10 kW	65
	<30 kW	54
	<100 kW	51
	>100 kW	49
Angebaut	<10 kW	75
	<30 kW	65
	<100 kW	62
	>100 kW	60
Integriert	<10 kW	90
	<30 kW	74
	<100 kW	67
	>100 kW	62



In-Dach < > Auf-Dach PV-Anlagen

	In-Dach	Aufbau
Vorteile	Ersetzt konventionelle Dachhaut	Besserer elektrischer Wirkungsgrad dank Kühlung?
	Thermische Nutzung für Heubelüftung	Ideale Neigung möglich (unabhängig vom Dach)
	Kühlung möglich	Gute Zugänglichkeit
	Hoher Einspeisetarif	
Nachteile	Geringere elektr. Leistung wenn ungenügend gekühlt	Konventionelle Dachhaut erforderlich
	Unterdach erforderlich	Keine thermische Nutzung möglich
	Zugänglichkeit bei Reparaturen	Niedriger Einspeisetarif
	Dichtigkeit des Dachs	



Fragen

- Wieviel Wärme kann PV-Modulen entzogen werden?
- Wie stark steigt der elektrische Wirkungsgrad der PV-Module bei Belüftung (=Kühlung)?
- Lohnt sich mechanische Kühlung der PV-Modulen ohne Nutzung der Wärme?
- Wie kann man die Wärme sinnvoll nutzen (Beispiel Heubelüftung)?

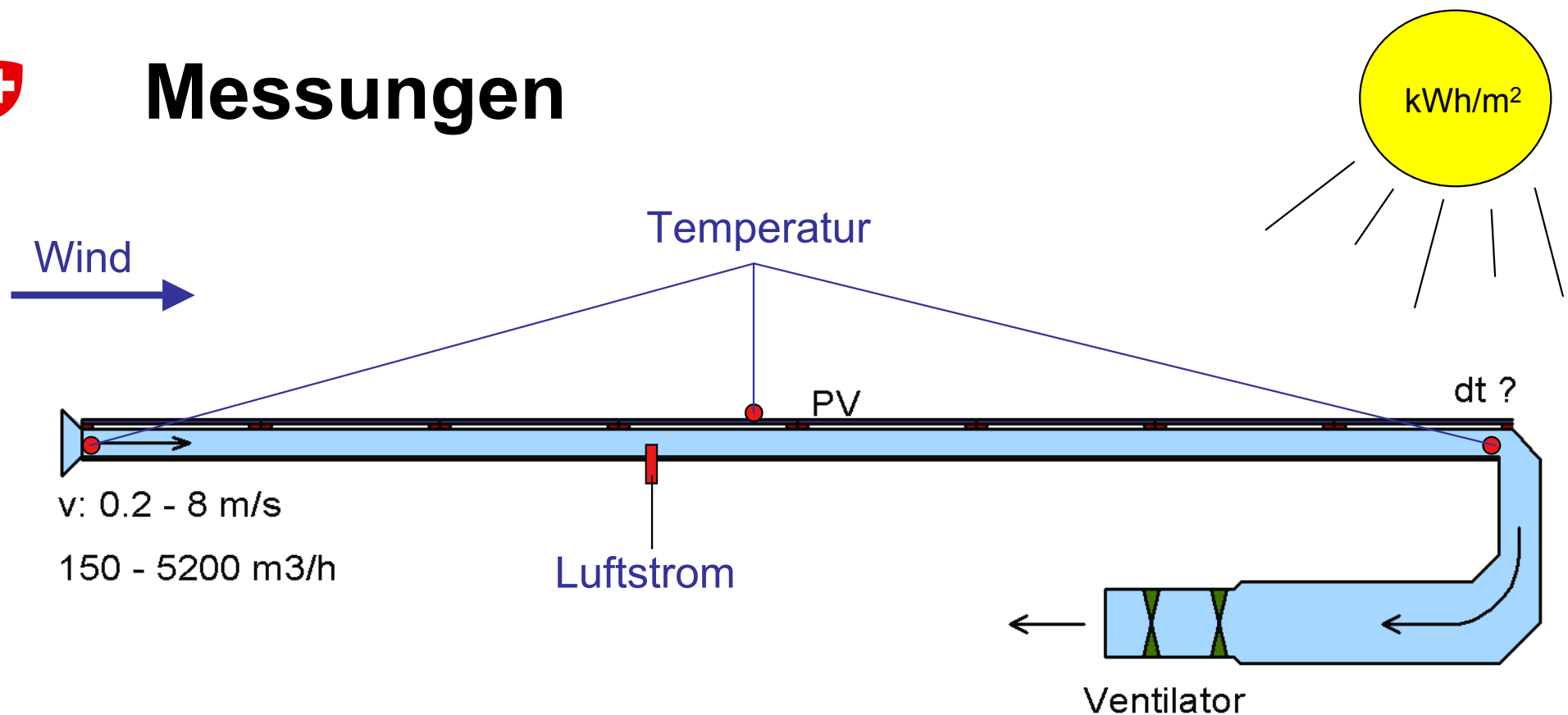


Versuchsanlage





Messungen



Elektrischer und thermischer Wirkungsgrad in Abhängigkeit der:

- Aussenbedingungen: Globalstrahlung, Wind, Sonnenstand
- Luftgeschwindigkeit (zwischen Unterdach + Paneelen), Modultemperatur

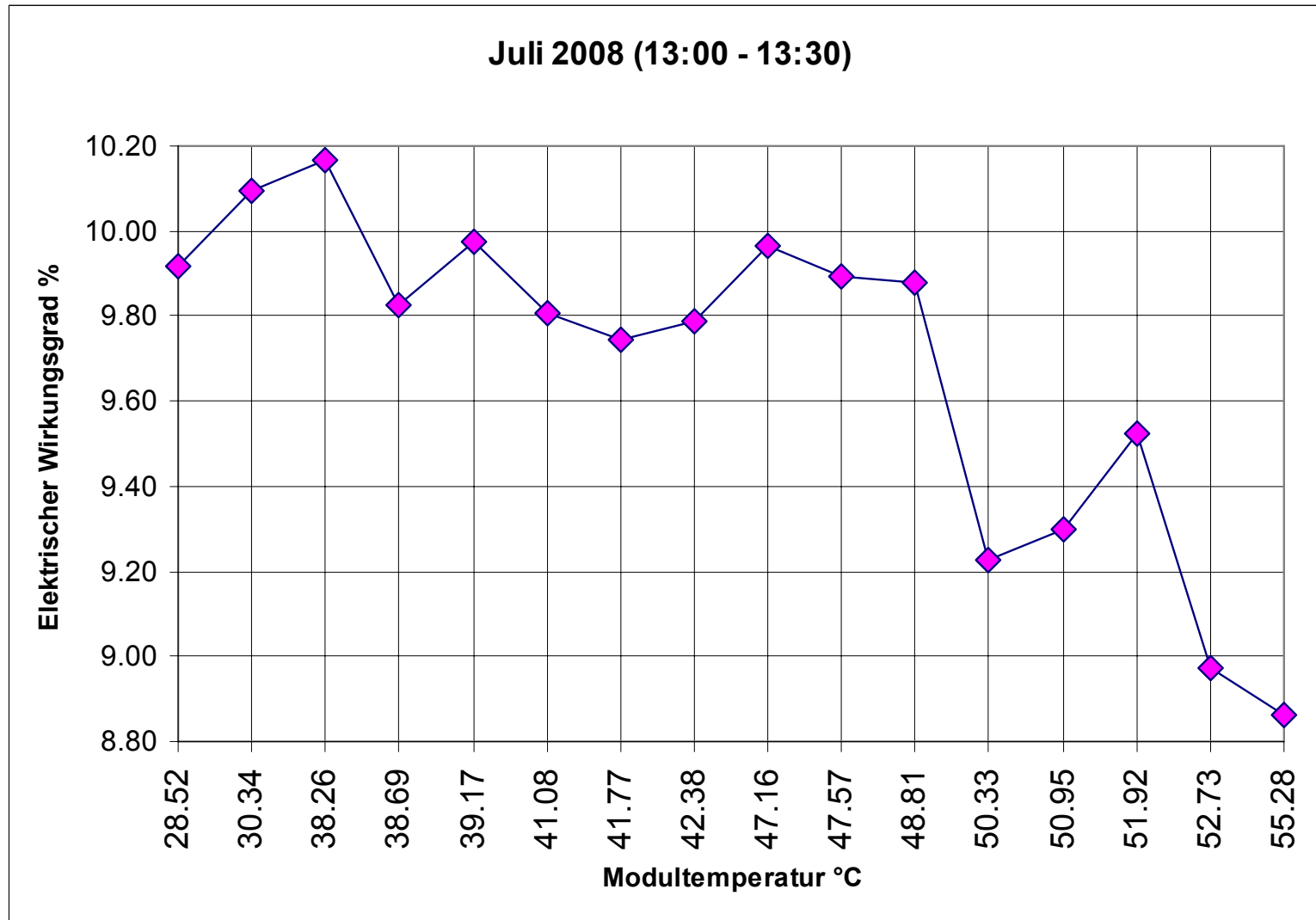


Ergebnisse Juli 2008

Datum	Periode	Globalstrahl.	Elektr. En.	Wärme	v Kanal	Wärme
		kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	m/s	Strom
8.7	07:53 - 16:45	5.73	0.52	2.46	5.22	4.73
10.7	07:22 - 16:25	7.39	0.65	3.05	2.66	4.69
11.7	10:08 - 16:26	5.84	0.5	2.53	3.6	5.06
15.7	08:13 - 16:08	6.92	0.63	3.99	6.83	6.33
16.7	07:50 - 16:34	7.22	0.66	3.25	4.6	4.92
21.7	08:34 - 16:36	4.63	0.42	1.94	5.33	4.62
23.7	08:10 - 24:00	8.25	0.76	3.81	7.32	5.01
24.7	00:00 - 24:00	8.35	0.77	3.48	6.65	4.52
25.7	00:00 - 16:06	6.65	0.6	2.68	5.24	4.47
28.7	08:12 - 16:45	6.31	0.53	2.35	2.48	4.43
29.7	08:15 - 16:53	6.26	0.54	2.54	4.09	4.70
30.7	08:10 - 16:26	5.89	0.52	2.85	5.17	5.48
31.7	07:58 - 16:22	6.82	0.6	3.47	6.2	5.78
	Mittelwert	6.64	0.59	2.95	5.03	4.98

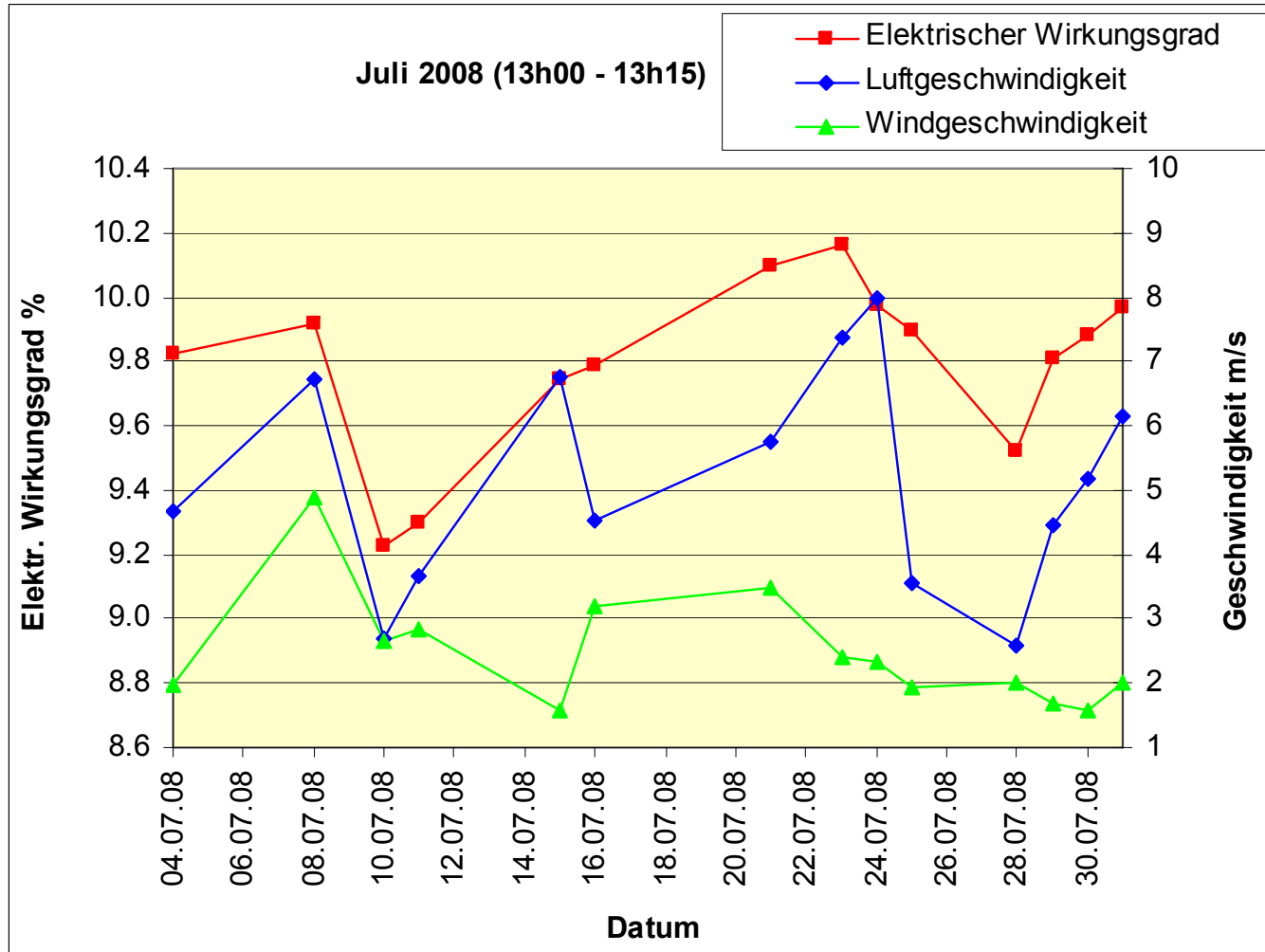


Elektrischer Wirkungsgrad in Abhängigkeit der Modultemperatur





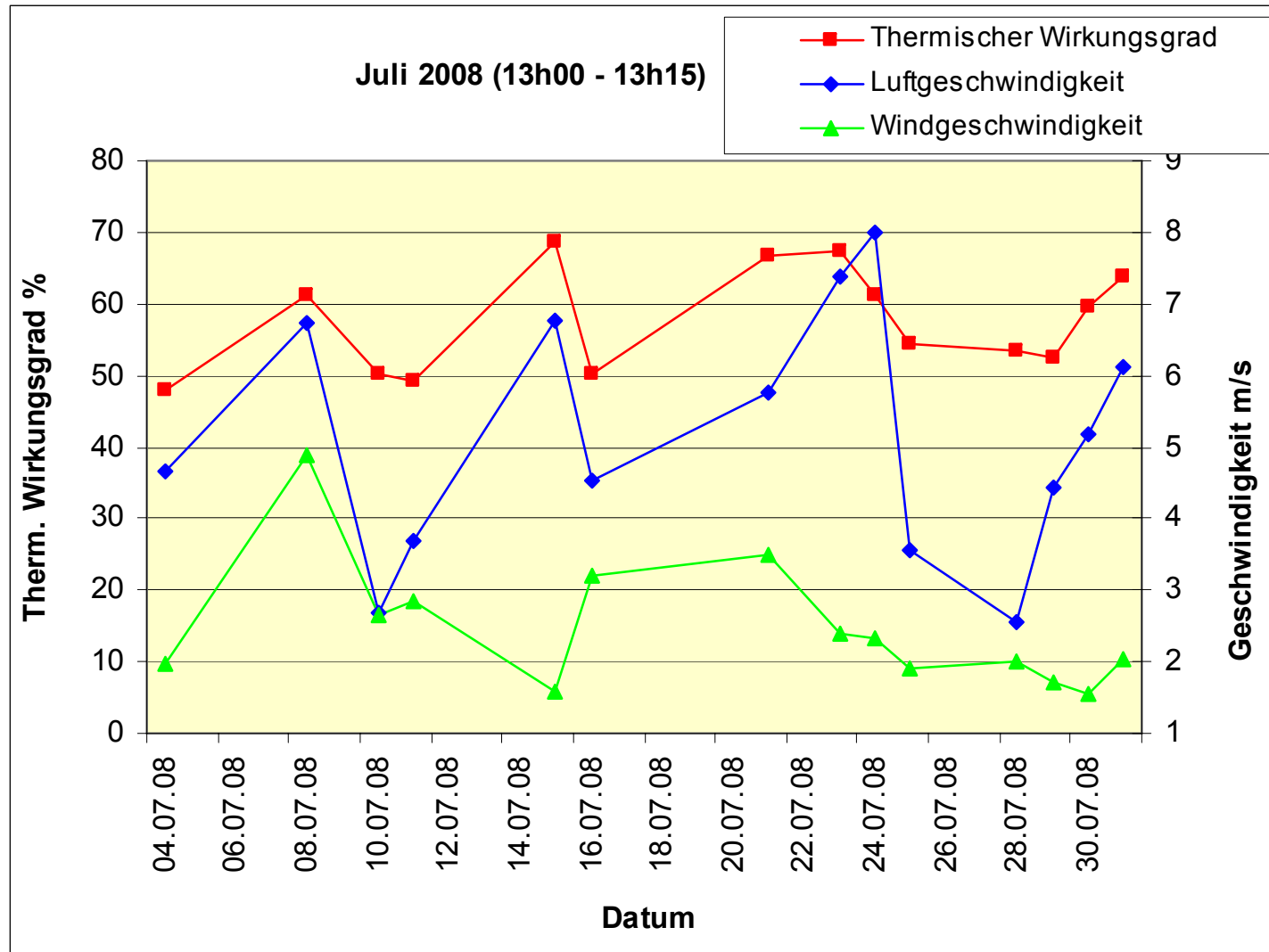
Elektrischer Wirkungsgrad in Abhängigkeit der Luftgeschwindigkeit



El. Wirkungsgrad sinkt mit +/- 0.5 % pro °C Temperaturanstieg PV

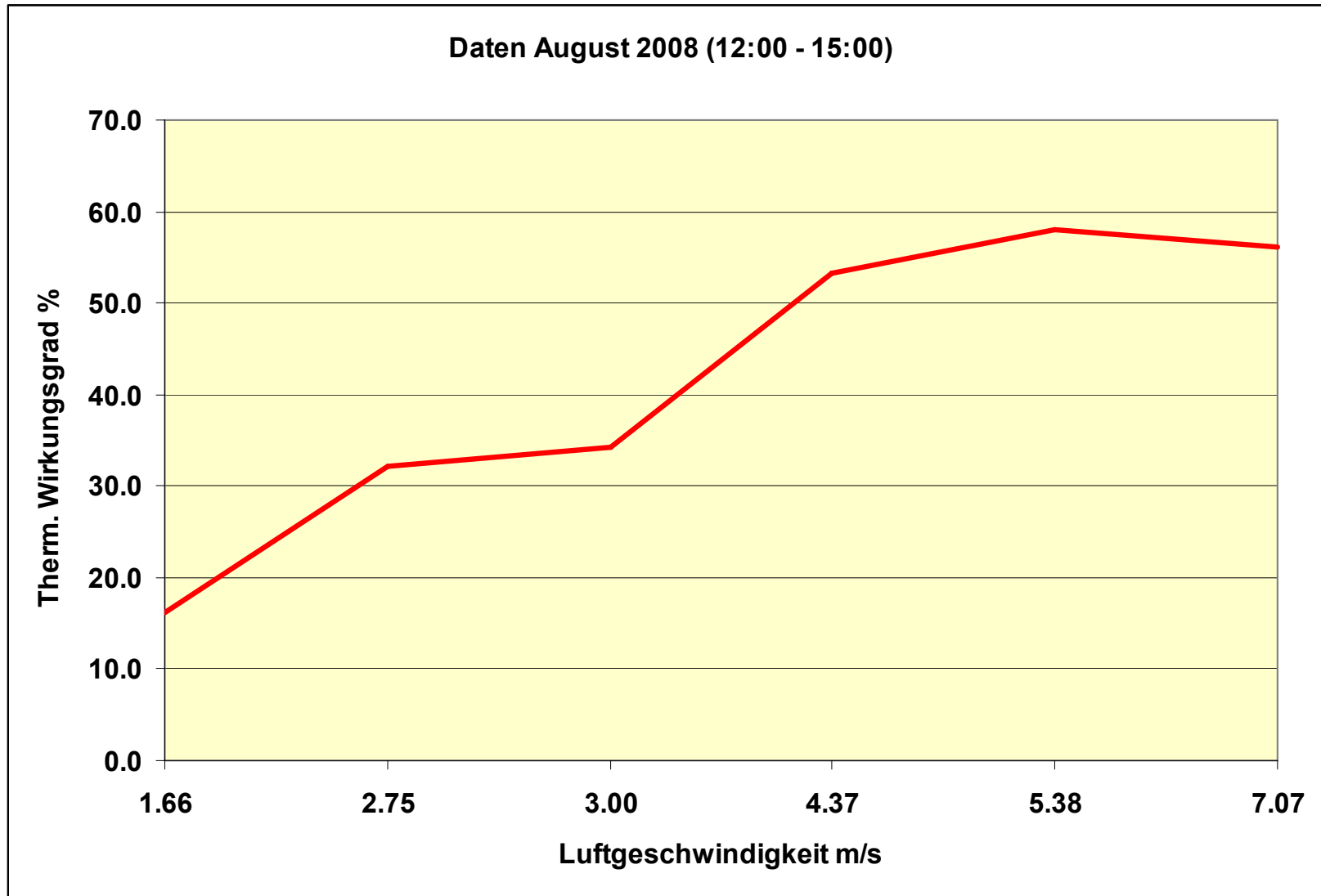


Thermischer Wirkungsgrad in Abhängigkeit der Luftgeschwindigkeit





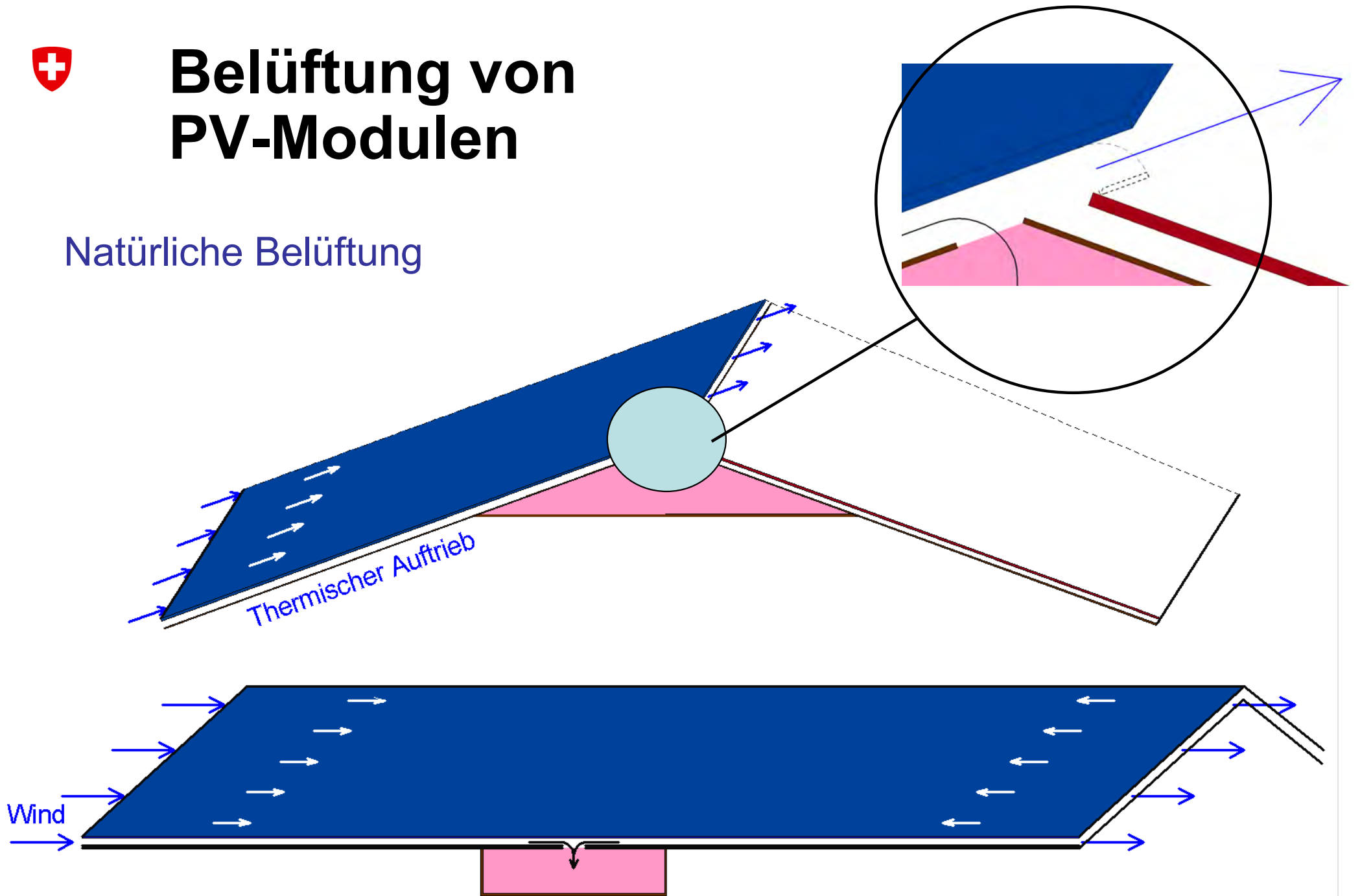
Thermischer Wirkungsgrad in Abhängigkeit der Luftgeschwindigkeit (II)





Belüftung von PV-Modulen

Natürliche Belüftung



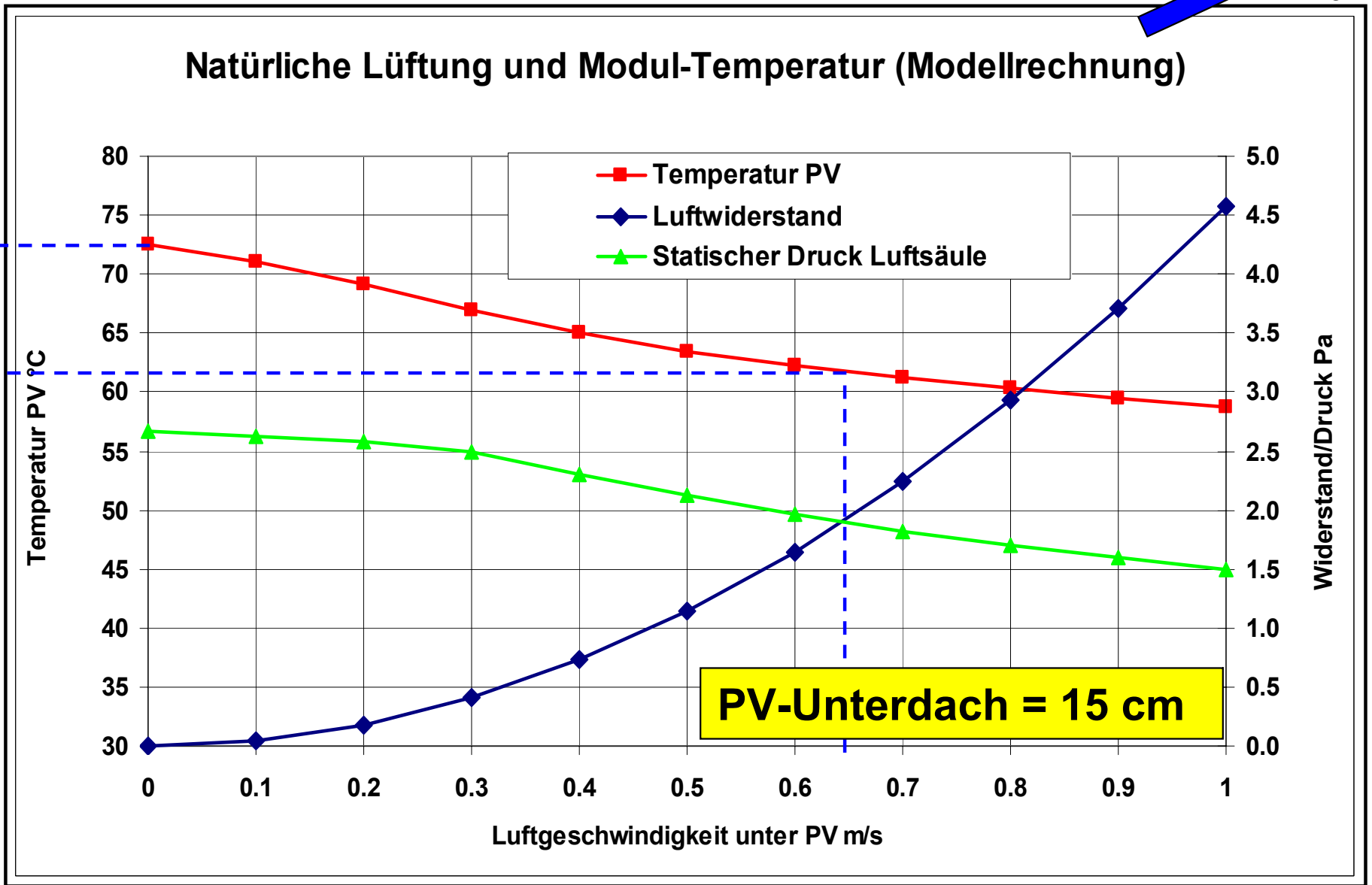


Natürliche Lüftung (Schwerkraft)

12 m

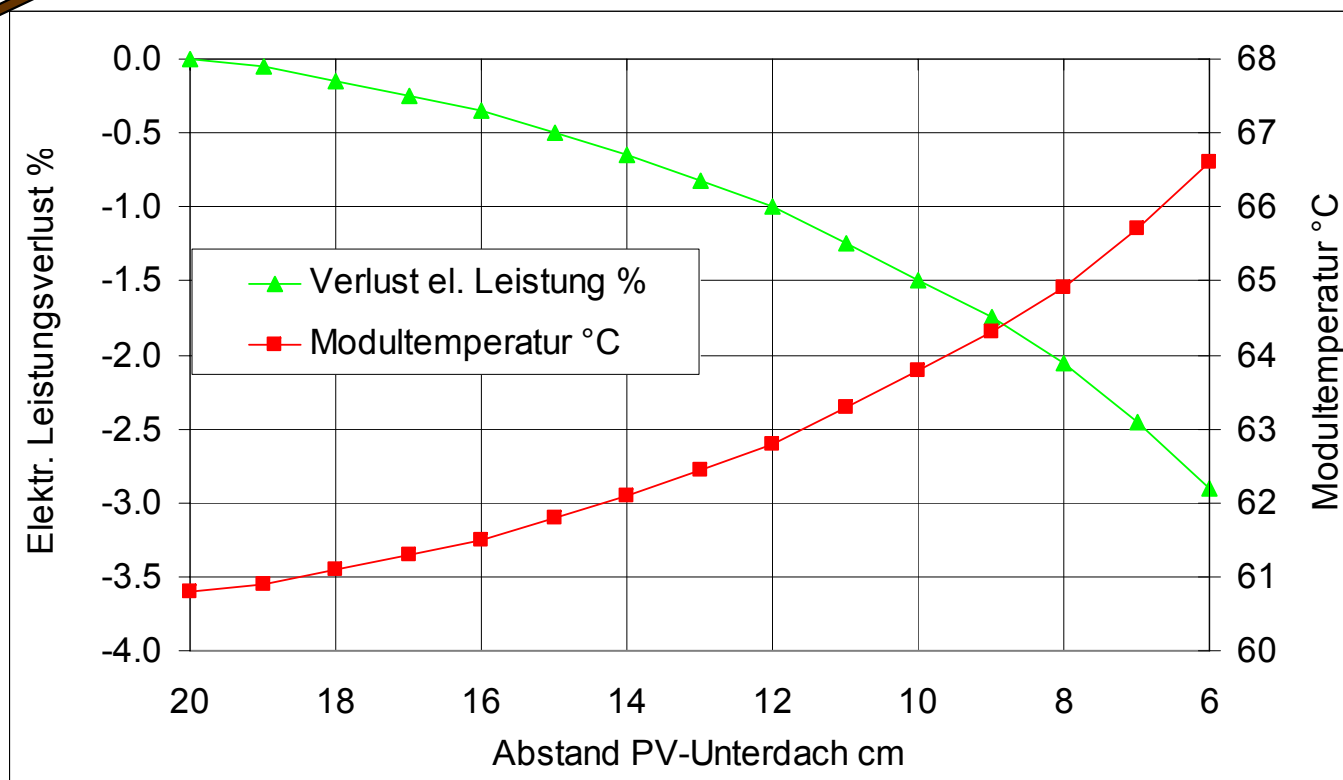
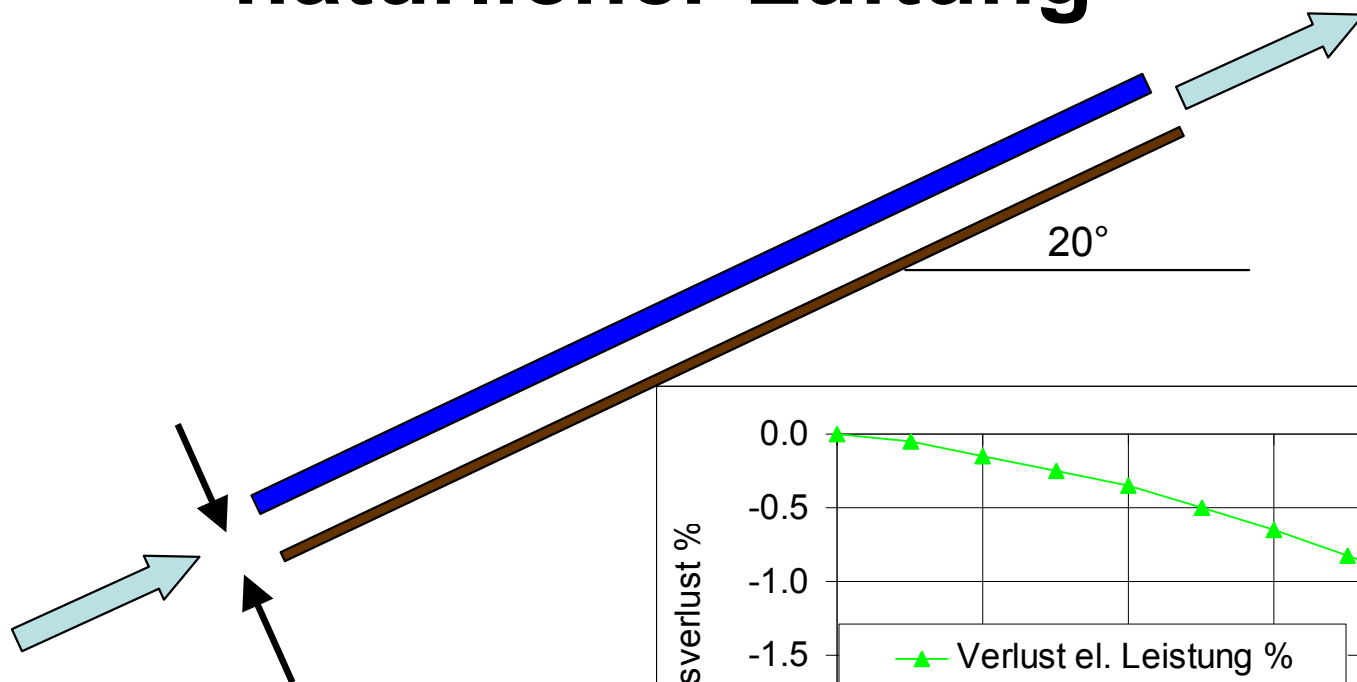
20°

10°





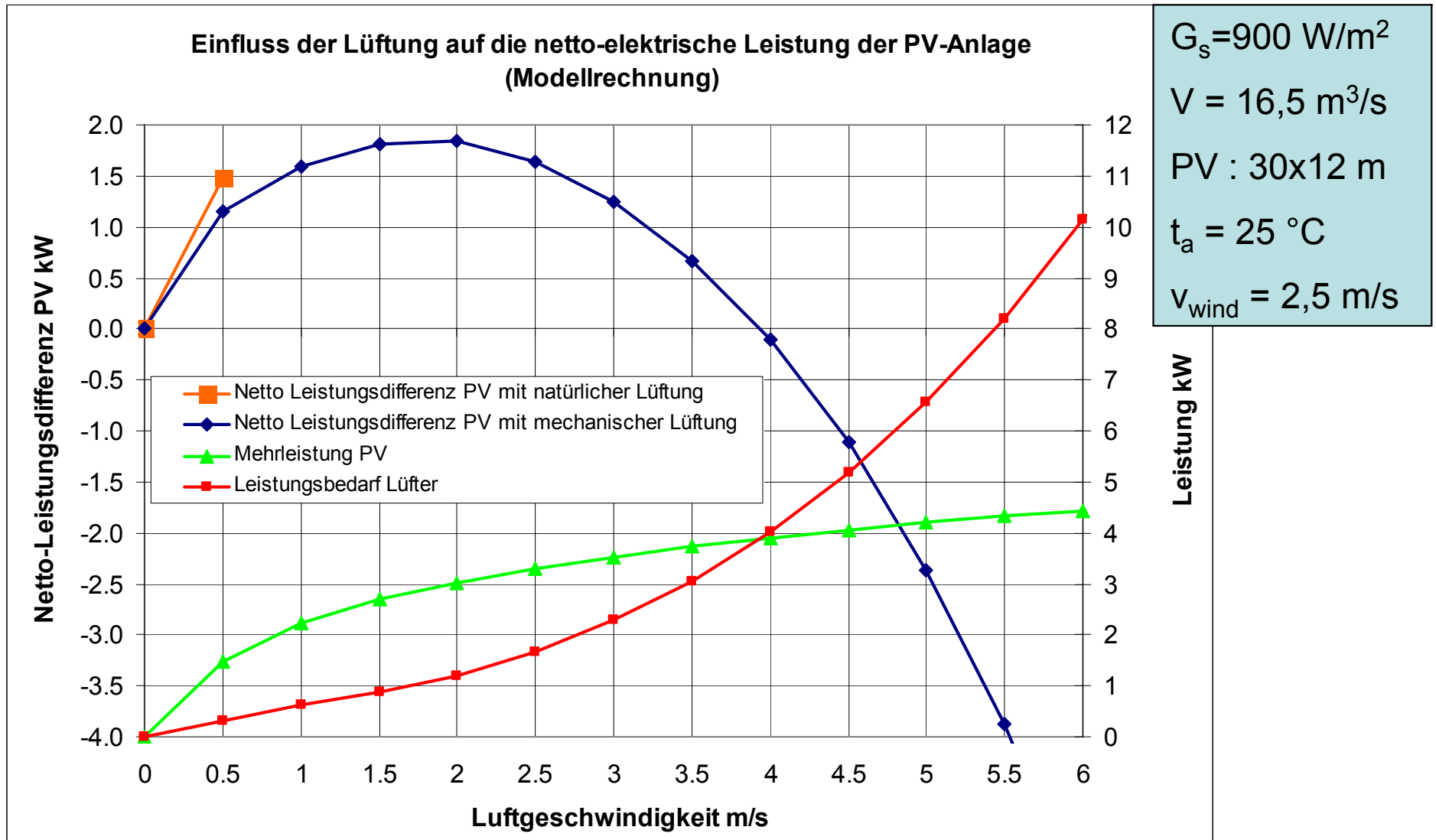
Einfluss Abstand PV – Unterdach bei natürlicher Lüftung





Mechanische Lüftung

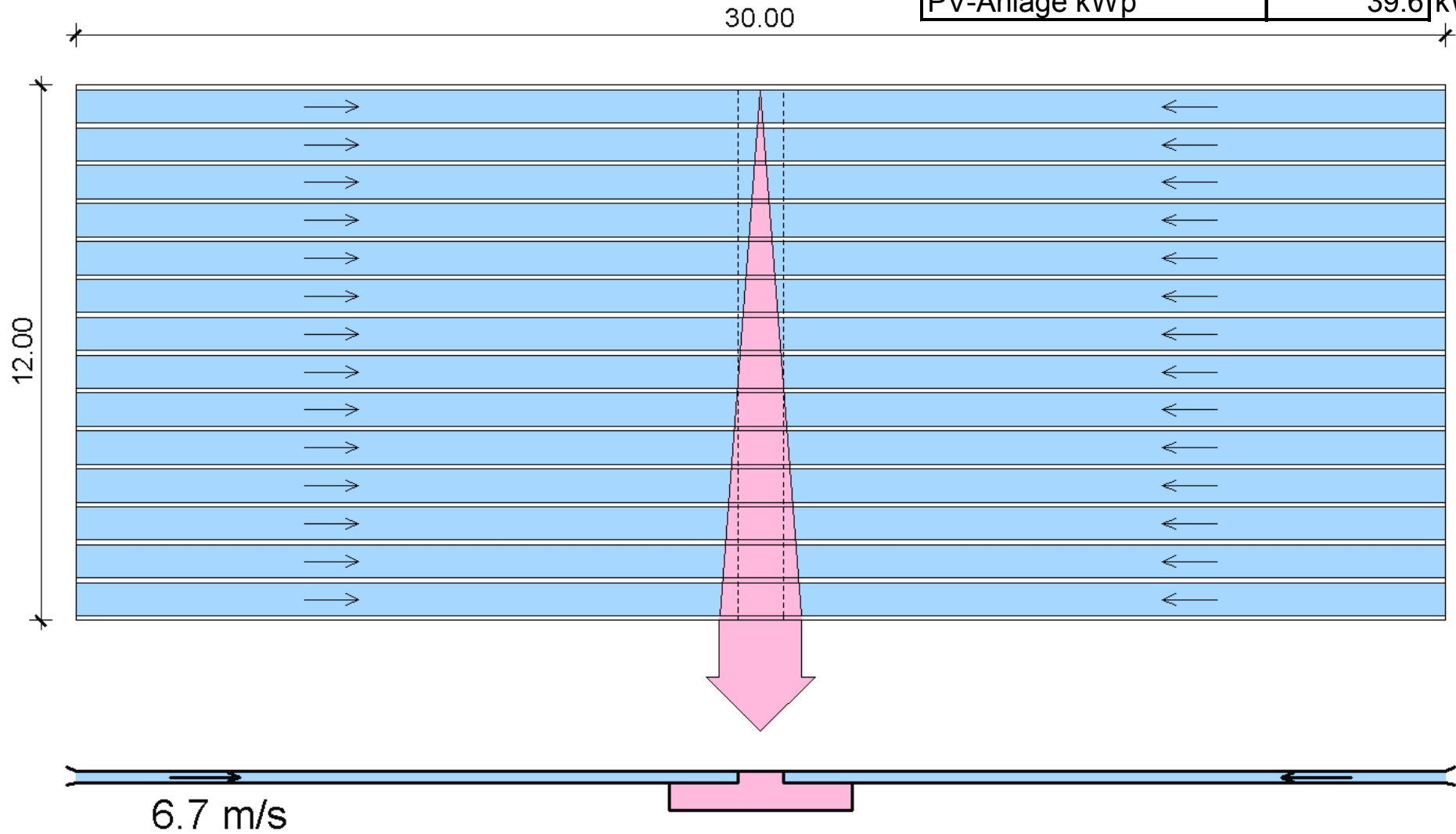
Energieverbrauch < > Energiegewinn (Fallbeispiel)





Wärmenutzung PV-Anlage 360 m² für Heubelüftung

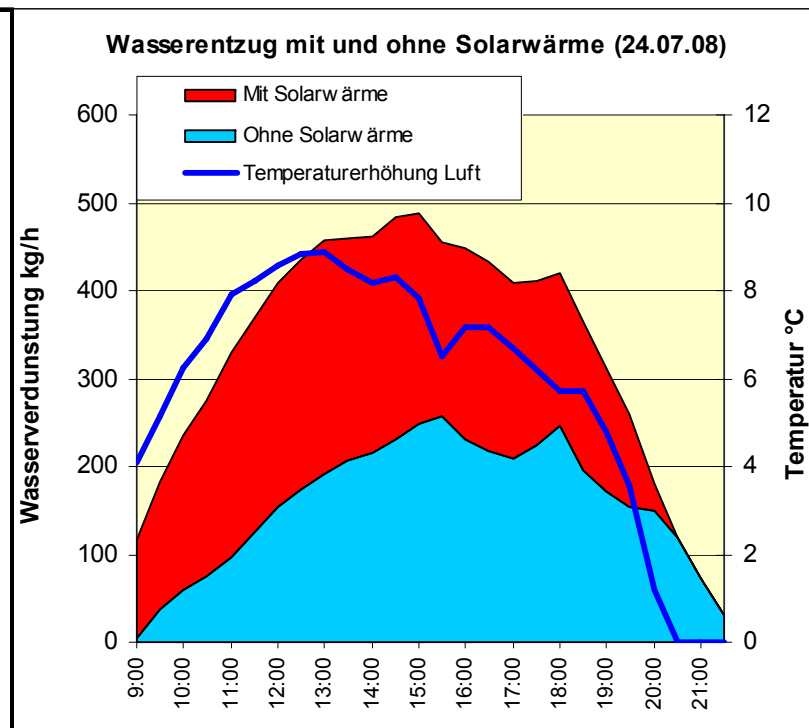
Anzahl GVE	50	GVE
Heumenge kg TS/GVE	3000	kg/GVE
Gesamte Heumenge	150000	kg
Heustockfläche	250	m ²
Erforderl. Luftrate	27.5	m ³ /s
PV-Anlage Fläche	360	m ²
PV-Anlage kWp	39.6	kWp





Wirtschaftlichkeit der thermischen Nutzung von PV-Anlagen für die Heubelüftung

	Ohne PV	Mit PV	
% TS Heu vor der Trocknung	60	60	%
% Heu TS nach der Trocknung	88	88	%
Wasserentzug	0.53	0.53	kgH ₂ O/kgHeu
Gesamter Wasserentzug	79545	79545	kg H ₂ O
Möglicher Wasserentzug/Tag	3928	8266	kg/Tag
Trocknungszeit	20.25	9.62	Tage
Trocknungszeit	243	115	h
Lüfterleistung (450/525Pa; η=0.55)	22.50	26.25	kW
Energiebedarf Lüfter	5468	3031	kWh
Differenz Energiebedarf Lüfter		-2437	kWh
Senkung Modultemperatur (Mittelwert Tag)		-10	°C
Zunahme el. Wirkungsgrad während Heubelüftung		5	%
Mittlere el. Leistung PV-Anlage		57.6	W/m ²
Mittlere el. Leistung PV-Anlage		20.7	kW
Mehrproduktion Strom dank Heubelüftung		120	kWh



	kWh	Fr/kWh	Betrag Fr.
Energiebedarf Lüfter	-2437	0.2	-487
Energie zusätzlich eingespiessen	120	0.67	80
Ertrag			568



Planungsinstrument: SOKO Programm

ART-SOKO Dimensionierung von Sonnenkollektoren für die Heubelüftung - Projekt 1

Projekt Variante Resultate ?

Projekt 1
Variante 1

Kollektor-Typ: Eternit braun quergewellt
Anzahl Kollektorfelder: 1

Kollektor-Länge 1: 10.53 m
Kollektor-Länge 2: 20.00 m

Kollektor-Breite 1: 7.25 m
Kollektor-Breite 2: 15.00 m

Max. Balken-Höhe: 20.0 cm
Darstellung: Tabelle

Heustock Nummer		1	2	3	4	5	6
Fläche des Heustocks	m ²	50	180	180	180	180	180
Höhe des Heustocks	m	4	5	5	5	5	5
Durchsatz des Ventilators	m ³ /s	5.5	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8
Ventilator in Betrieb	ja/nein	ja	nein	nein	nein	nein	nein
Durchsatz bzgl. Kollektorfläche	m ³ /(s*m ²)	0.072	0	0	0	0	0
Strömungsgeschwindigkeit	m/s	0.11	0	0	0	0	0
Druckverlust	Pa	420	0	0	0	0	0

Kollektorfeld 1

	cm	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11
Kanalhöhe	cm	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11
Luftgeschwindigkeit	m/s	3.79	3.99	4.21	4.46	4.74	5.06	5.42	5.84	6.32	6.9
Druckverlust	Pa	26	29	34	40	48	57	69	85	107	137
Wirkungsgrad	%	48.9	49.1	49.4	49.7	50	50.4	50.9	51.6	52.4	53.5
Temperaturerhöhung	K	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	5	5	5.1	5.2	5.3

Kollektorfeld 2

Kanalhöhe	cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Luftgeschwindigkeit	m/s	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Druckverlust	Pa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wirkungsgrad	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Temperaturerhöhung	K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Kollektorfeld 3

Kanalhöhe	cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Luftgeschwindigkeit	m/s	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Druckverlust	Pa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wirkungsgrad	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Temperaturerhöhung	K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Kollektorfeld 4

Kanalhöhe	cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Luftgeschwindigkeit	m/s	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Druckverlust	Pa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wirkungsgrad	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Temperaturerhöhung	K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Schlussfolgerungen

- Durch kombinierte Nutzung (elektrisch-thermisch) kann 50 bis 70 % der globalen Sonnenenergie genutzt werden.
- Der thermische Wirkungsgrad (40–60 %) von kombiniert genutzten PV-Anlagen ist etwa fünf mal höher als der elektrische (10–12 %).
- Dank natürlicher Lüftung produzieren in-Dach PV-Anlagen nicht weniger Strom als auf-Dach PV-Anlagen
- Eine mechanische Lüftung der PV-Anlagen ist nur bedingt sinnvoll.
- Wird die “Abwärme” der PV-Anlage für die Anwärmung der Luft genutzt, halbiert sich die Zeit für die Heutrocknung.
- Während der Heubelüftung erhöht sich die solare Stromproduktion um 3 bis 10 %.