



20 Jahre erfolgreicher Betrieb der 1 MW PV-Anlage Solardach Messe München

Gerd Becker · Fabian Flade · Bodo Giesler · Wolfgang Rehm ·
Bruno Schiebelsberger · Walter Weber

32. Symposium Photovoltaische Solarenergie 2018

Solarenergieförderverein Bayern e. V.

www.sev-bayern.de



Überblick

Inhalt

- Standort und technischer Aufbau
- Ertrag und Betriebsgüte PR
- Organisation des Betriebes
- Betriebserfahrungen (Module, Wechselrichter, Komponenten)
- Thermografische Untersuchungen
- Modulvermessungen
- Besonderer Anlagenausfall
- Gleichstromkabel
- Kenngrößen Wechselrichter
- Öffentlichkeitsarbeit
- Zusammenfassung





Standort und technischer Aufbau

Standort

- Auf 6 Hallendächern der Messe München

Module

- $7812 \times 130 \text{ W} = 1016 \text{ kW}$ - beste Hinterlüftung
- 12 gleiche Teilgeneratoren WA - WM
- Südorientierung, Aufstellung im 28° -Winkel
- 84 monokristalline Si-Zellen $280 - 300 \mu\text{m}$ (nach Ätzen), vorsortiert

Zentralwechselrichter

- Master-Slave-Slave Betrieb
- Im Keller in klimatisiertem Raum
- DC-Kabel Cu, max. 400 mm^2 und 500 m
- Einspeisung in Mittelspannungsnetz

Monitoring

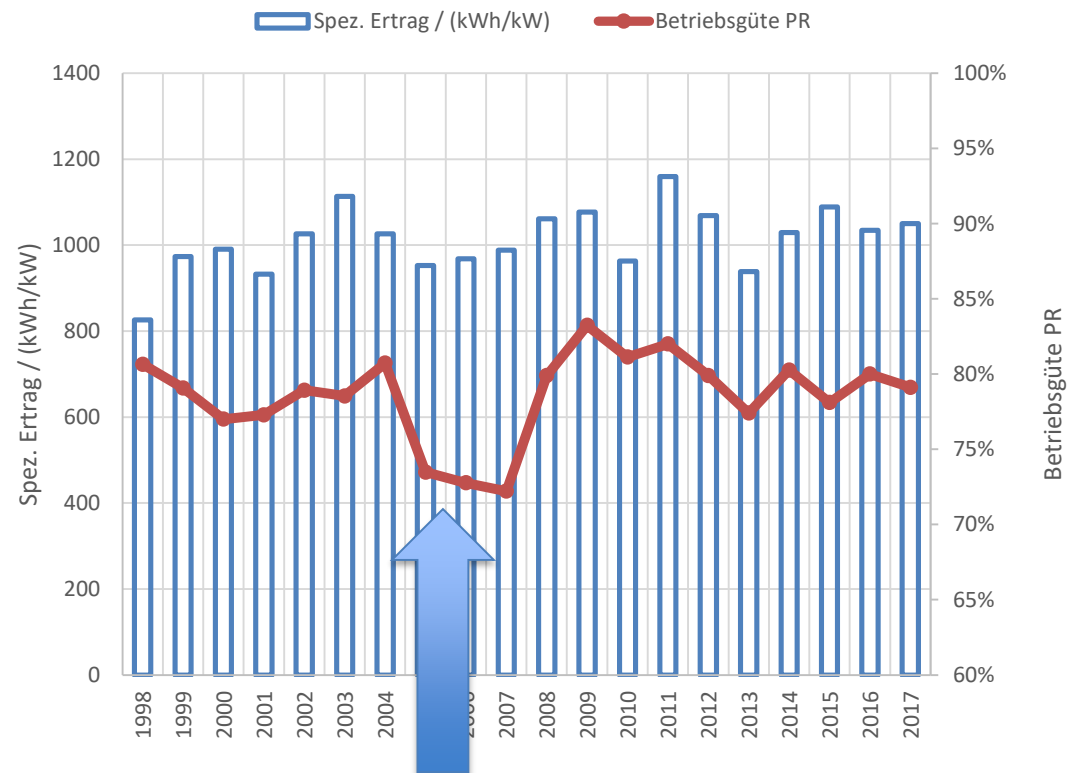
- Messdaten Minutenraster, ggf. mehr (ab 2007)



Ertrag und Betriebsgüte PR

1999 – 2017

- 1998 noch Inbetriebnahme
- Erträge: 938 – 1160 kWh/kW
 1. Platz 2011 mit 1160 kWh/kW
 2. Platz 2003 mit 1113 kWh/kW
 -
 7. Platz: 2017 mit 1050 kWh/kW
 -
- Mittlerer Ertrag: 1022 kWh/kW
- PR: 72 % bis weit über 80 %



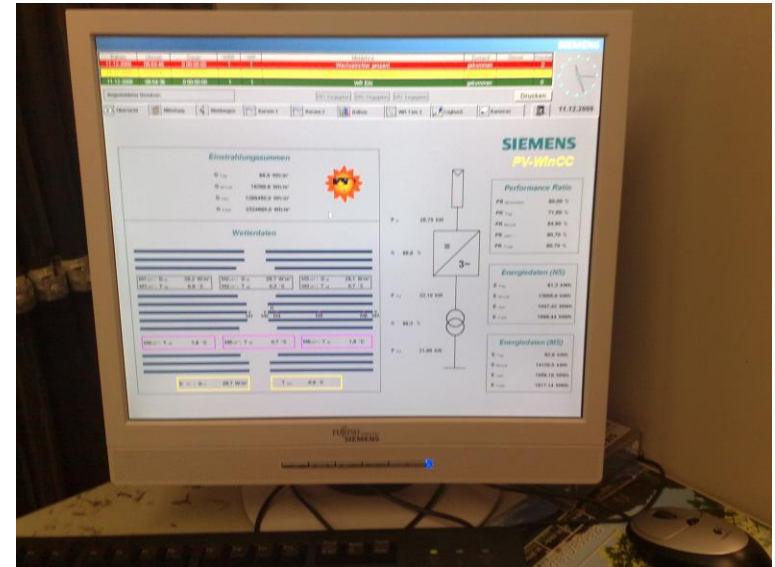
Wechselrichter vor „Retrofit“



Organisation

Im Betrieb

- Kontinuierliche Überwachung in der Warte der SWM
- Schnelle Fehlerbehebung
- Regelmäßiger Jahresbericht
- Regelmäßige Begehungen
- Zusätzliche Untersuchungen
 - Vermessungen der Module
 - Thermografie
- Gut geführtes Logbuch



Eintrag	Datum	Fehler	Ursache	Reparatur
113	21.08.2015	Spannungsausfall 20kV	20kV Kuppelschalter in der Schaltanlage der Messe hat abgeschaltet wegen Störung im Netz	Mit den Elektrikern der Messe den 20kV-Schalter eingeschaltet und PV-Anlage entstört
114	08.09.2015	DC Überspannungsableiter ausgelöst		Gewechselt
115	08.09.2015	DC Überspannungsableiter ausgelöst		Gewechselt
116	19.05.2016	Überspannungsableiter ausgelöst		Gewechselt
117	20.05.2016	AC Spannung ausserhalb der Toleranz	Defekter Kondensator	Kondensator getauscht und Anlage gereinigt
118	15.07.2016	Überspannungsableiter WR1 ausgelöst	Alterung	Ableiter getauscht
119	02.09.2016	Pufferbatterien in ZG und EG leer	Meldung SPS	Pufferbatterien in ZG und EG gewechselt
120	05.09.2016	Keine Verbindung zum Rechner	USV defekt am 4.9.16 ab ca. 16 Uhr	Rechner ohne USV angesteckt



Betriebserfahrungen

Module

- Betriebsbeginn im Jahr 1997: Verfügbar 7812 Module + ca. 40 Ersatzmodule
- Derzeit 2018: ca. 60 Module nicht in Betrieb, (Ersatz) + 40 Ersatzmodule → ca. 100 benötigte Module seit Betriebsbeginn
- 5-mal Glasbruch
- Wenige Module Delamination
- Wenige Module mit Browning ①, Strangstrommessungen zeigten keine Unterschiede zu nicht verfärbten Modulen
- Geringer Moosansatz an unteren Halteklammern, keine Reinigung (1500 €/Dach)
- Heiße Lötstellen, die Schwachstelle immer an der gleichen Stelle, Anfangs wenig, jetzt mehr Schäden, 11 in 2017 getauscht ②
- Sehr selten: Totalschaden ③ (Schuss?)



①



②



③



Zentralwechselrichter

- 1999 - 2004: Gute Betriebsgüte PR
- Ab 2005:
 - Schlechte Betriebsgüte PR
 - Meldungen „Störungen Gleichstromschalter“
- Ab März 2007: „Retrofit“, Gleichstromschalter entfallen
- „Retrofitteter“ Wechselrichter maximale Leistung $>1,25$ MVA
- Wechselrichterraum wurde früher klimatisiert: Hoher Energieaufwand
- Heute: Abwärme des Wechselrichters wird in den kühlen Keller geblasen



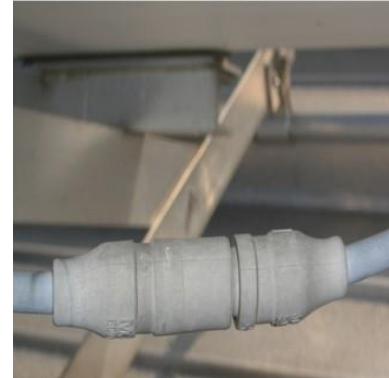


Betriebserfahrungen

Stecker, Kabel, Kästen etc.

- Einige Steckverbindungen ein Spalt offen ①
- Wenige Kabeldurchführungen defekt ②
evtl. haben Raben gepickt
- Die Balkenklauen zur Befestigung der
Module wurden bezüglich ihrer Festigkeit
überprüft → wenige kritische Fälle ③
- Sehr selten Anschlussdose → Bypass-Diode
durchgebrannt ④
- Unrat auf Hallendächern
- Zahlreiche Generatoranschlusskästen feucht:
zusätzliche Ablaufbohrung
- Moosansatz an den unteren Halte-
klammern: keine Reinigung (1500 €/Dach)

①



②



③



④



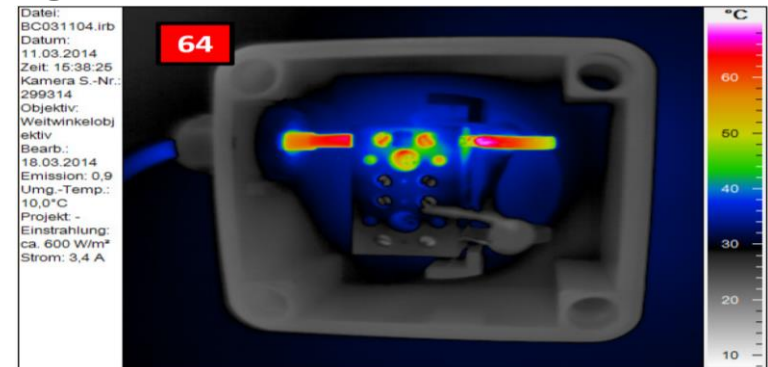


Thermografische Untersuchungen

2012 – 2014 an mehreren Tagen

- Nennenswerte Erwärmung bei 30 Modulanschlussdosen ①
- 7 Module: Erwärmte Lötunkte zwischen den Querverbindern und Abgängen
- 40 Module: Reaktionen auf die verschmutzungsbedingte Verschattung der Zellen direkt oberhalb der unteren Klemmen
- An einem Messtag wurde festgestellt, dass insgesamt 6 Modulstränge mit 16,4 kW im Leerlauf waren ②
- Bis auf ein Modul keine Hinweise auf leistungsrelevante Zellbrüche

①



②

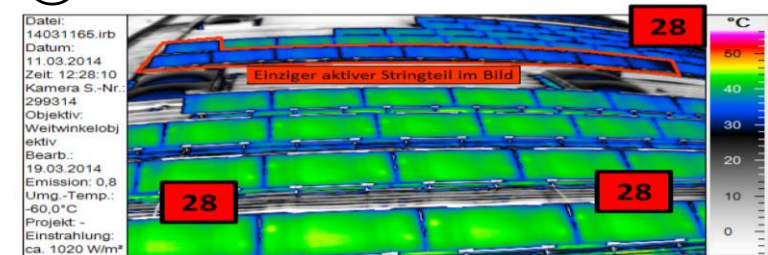


Abbildung 2: Thermogramm der beiden ausgefallenen Felder (grün) auf Halle B2, lediglich ein Stringteil im hinteren Feld war noch aktiv. Die genaue Verschaltung dieses Stringteils über ein anderes Feld hin zu einem anderen GAK war auf Grund der undokumentierten Umbauten in diesem Feld nicht weiter nachvollziehbar. (Siehe auch Kapitel: Umbauten und Doku)
Genaue Positionsangaben aller Auffälligkeiten, siehe Listen und Strinzepläne am Ende des Berichts



Module seit 1997 in Betrieb

- Vermessungen 2005, 2006, 2012 und 2017 bei zwei Prüflaboren PL1 und PL2
- Messungen der „Leistung bei STC“ von bestrahlten Modulen sowie weitere Untersuchungen:

Prüflabor, Parameter und Jahr Messung		2005	2006	2012	2017
Prüflabor 1	Anzahl Module	6	3	12	keine Messung
	Mittlere Leistung / W	125,9	125,7	122,7	
	ΔP	-3,2%	-3,3%	-5,6%	
Prüflabor 2	Anzahl Module	keine Messung	9	9	12
	Mittlere Leistung / W		122,3	121,6	121,9
	ΔP		-5,9%	-6,4%	-6,2%

(Messunsicherheit: $\pm 2,5 \%$, Bezug: Nennleistung)

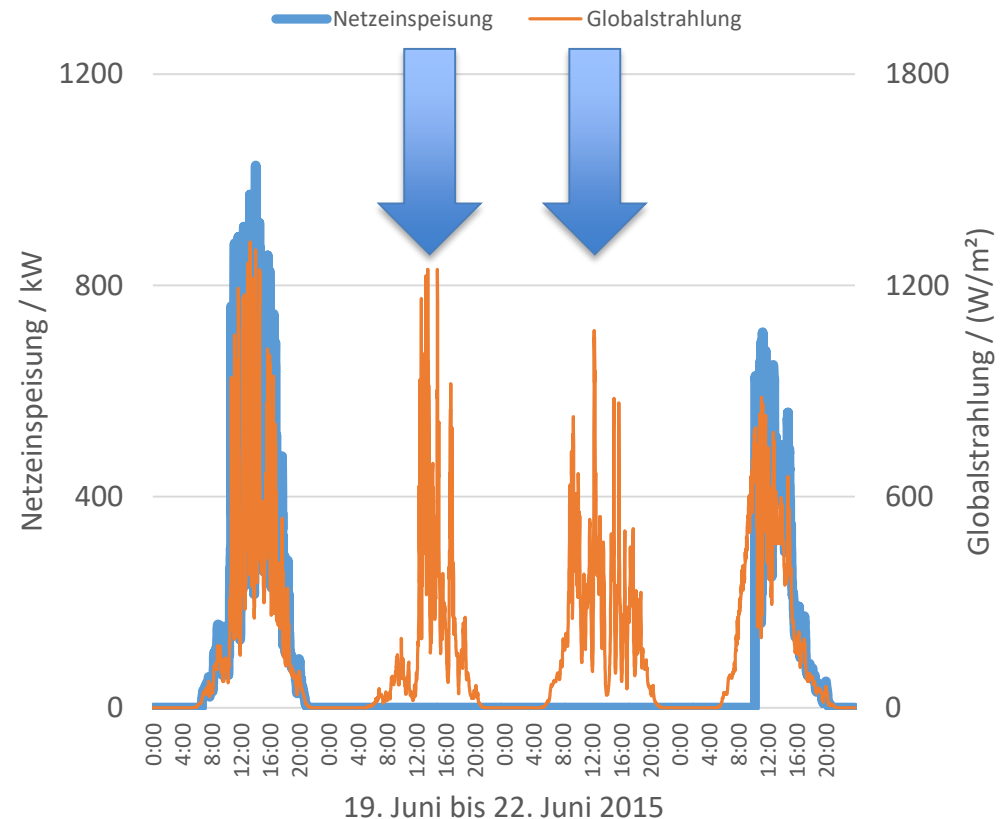
- 2006: Große Unterschiede PL1 (-3,3 %) und PL2 (-5,9 %)
- 2012: Ähnliche Resultate PL1 (-5,6 %) und PL2 (-6,4 %)
- 2017 nach 20 Jahren: Δ zur Nennleistung: -6,2 % / Degradation $-6,2 \% / 20 = -0,31 \%/a$
- 2017: Visuelle Inspektion zeigte keine besonderen Auffälligkeiten / Isolationswiderstand i.O. / Elektrolumineszenzaufnahmen: einige inaktive Zellbereiche



Besonderer Anlagenausfall

Fehlerablauf

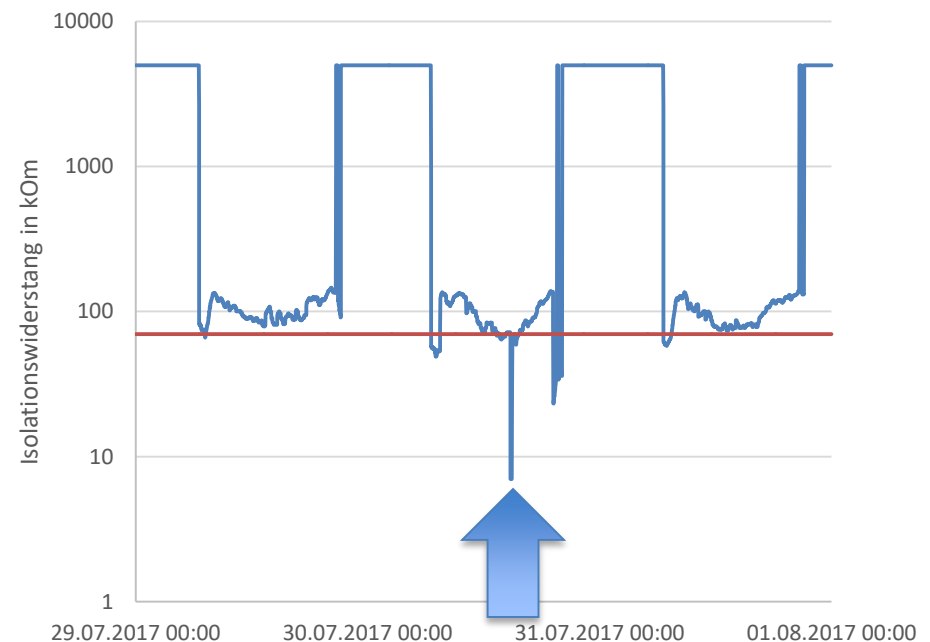
- Fehlerhafte Softwareroutine zur Einschaltung wurde am Freitag 19. Juni 2015 geändert
- Änderung fehlerhaft, so dass am nächsten Morgen die Anlage nicht eingeschaltet wurde
- Die betriebsführenden SWM haben keine Meldung erhalten, da „nur der Einschaltbefehl fehlte“
- Am Montag, 22. Juni 2015: Fehlererkennung um ca. 10:20 h Einschaltung
- **Merke: Keine Softwareänderungen an Freitagen!**





Isolationswiderstand

- Beispielhaft: Isolationswiderstand der DC-Kabel am 29. Juli - 31. Juli 2017
- I.d.R. Grenzwert eingehalten: 70 k Ω
- Kurzzeitige „Spitze“: evtl. Auslösung Überspannungsableiter
- Sommer: Niedrige Isolationswiderstände
- Winter: Minimale Isolationswiderstände höher:
 - Jan 2017 $\rightarrow$ 117 k Ω
 - Dez 2017 $\rightarrow$ 125 k Ω

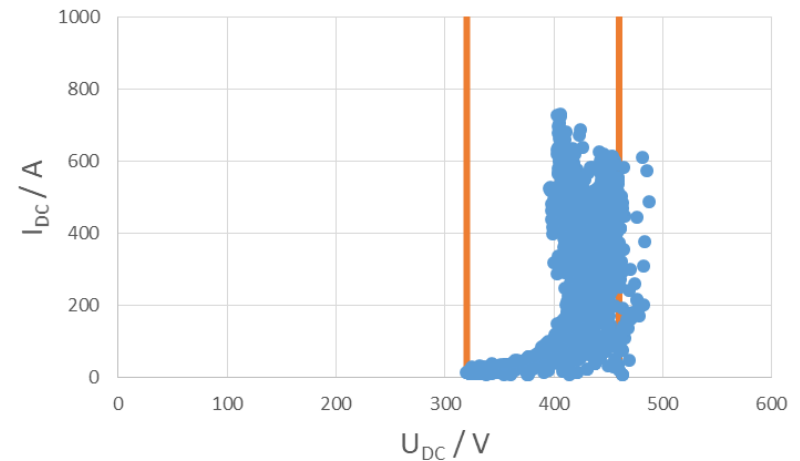
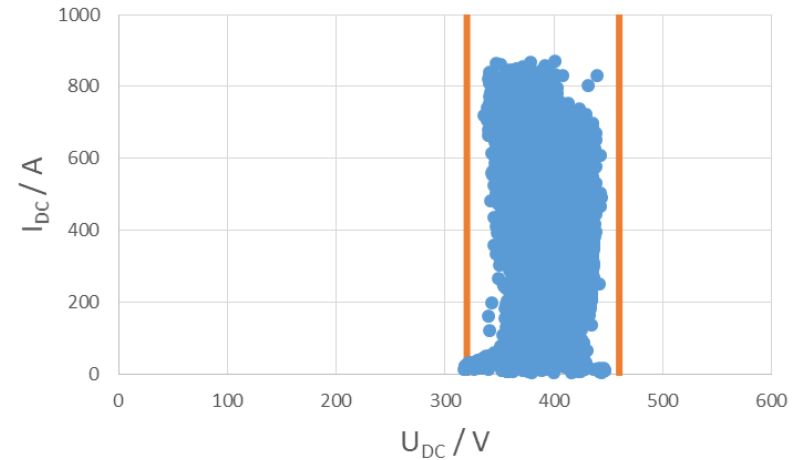




Kenngrößen Wechselrichter

MPP-Regelung - Punktwolke

- Eingangsspannungsbereich: 320 V – 460 V, leichte Überschreitung möglich
- Oben: U_{DC} / I_{DC} Juli 2017
- Unten: U_{DC} / I_{DC} November 2017
- Höhere Gleichspannungen im November
- MPP-Regelung funktioniert

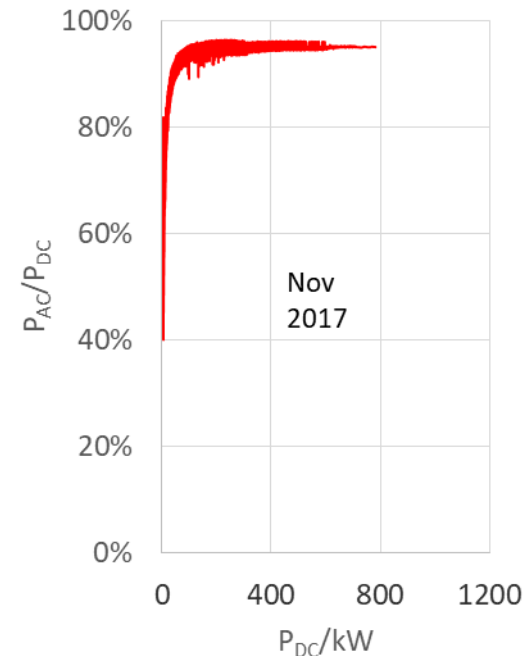
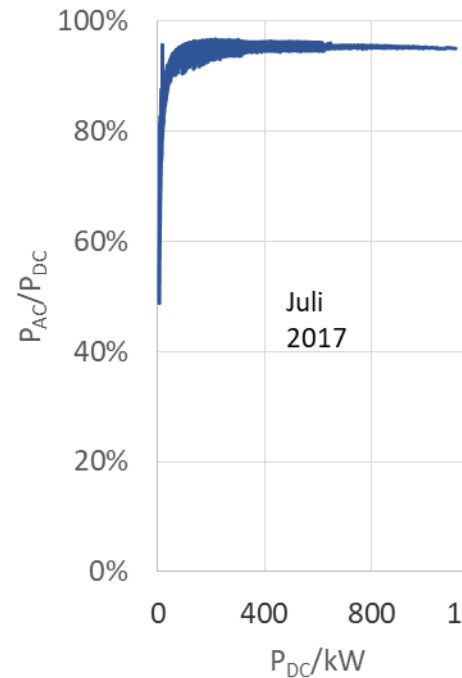
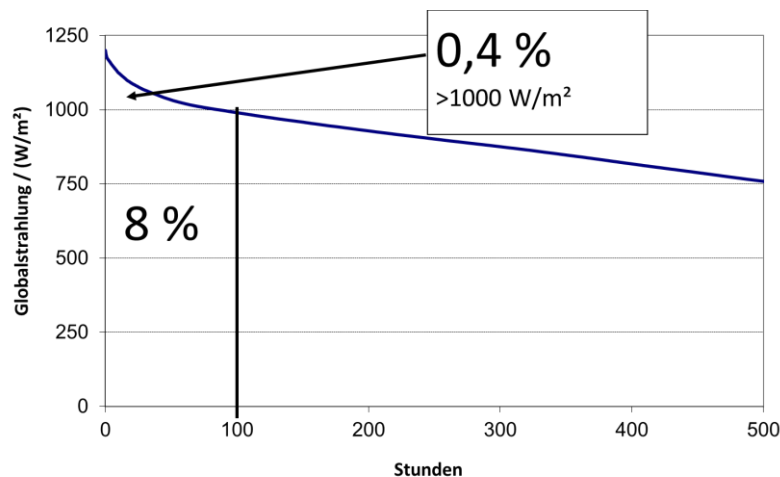




Kenngroößen Wechselrichter

Wirkungsgrad / max. Leistung

- Gutes Schwachlastverhalten
- Beste Wirkungsgrade: 97 % im Nov
- Maximale Leistungen Juli > 1000 kW, im November bei 800 kW
- Max. Globalstrahlung wird genutzt:





Besucherplattform

- Das Solardach mit Wechselrichterraum ist oft Ziel von Besuchern, hier Exkursion mit Studenten
- Interessierte aus zahlreichen Ländern
- 60 Führungen pro Jahr: ca. 1000 Besucher pro Jahr, ca. 20000 Besucher seit Inbetriebnahme





Zusammenfassung

Beste Erträge und PR

- 938 – 1160 kWh/kW, PR von 72,2 % bis weit über 80 %

Gründe für guten Betrieb

- Beste Hinterlüftung
- Monokristalline vorsortierte Si-Zellen 280 µm bis 300 µm
- Hohe Verfügbarkeit Wechselrichter nach „Retrofit“,
- Max. Leistung Wechselrichter mit 1,25 MVA (> 1 MW PV Generator) → Leistungsspitzen der Globalstrahlung werden genutzt
- Kontinuierliche Überwachung, regelmäßige Begehungen und Wartungen

Zusätzliche Funktionsprüfungen

- Thermografie , Vermessungen der Module, Isolationswiderstände
- Kennlinien Wechselrichter, MPP-Regelung

Ausblick

- Derzeit im 21. Betriebsjahr, Betrieb sicher noch einige Jahre, also 25 – 30 Betriebsjahre
- Messe München – Eigentümer seit 2017 – wird wiss. Untersuchungen weiterhin fördern