
WIEVIEL MEHRERTRAG SIND DURCH MULTI-MPPT WECHSELRICHTER MÖGLICH?

UNTERSUCHUNGEN FÜR VERSCHIEDENE ANLAGENKONFIGURATIONEN UND STANDORTE



Andreas Hensel, Leonhard Probst, Prof. Bruno
Burger

Andreas.hensel@ise.fraunhofer.de

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE

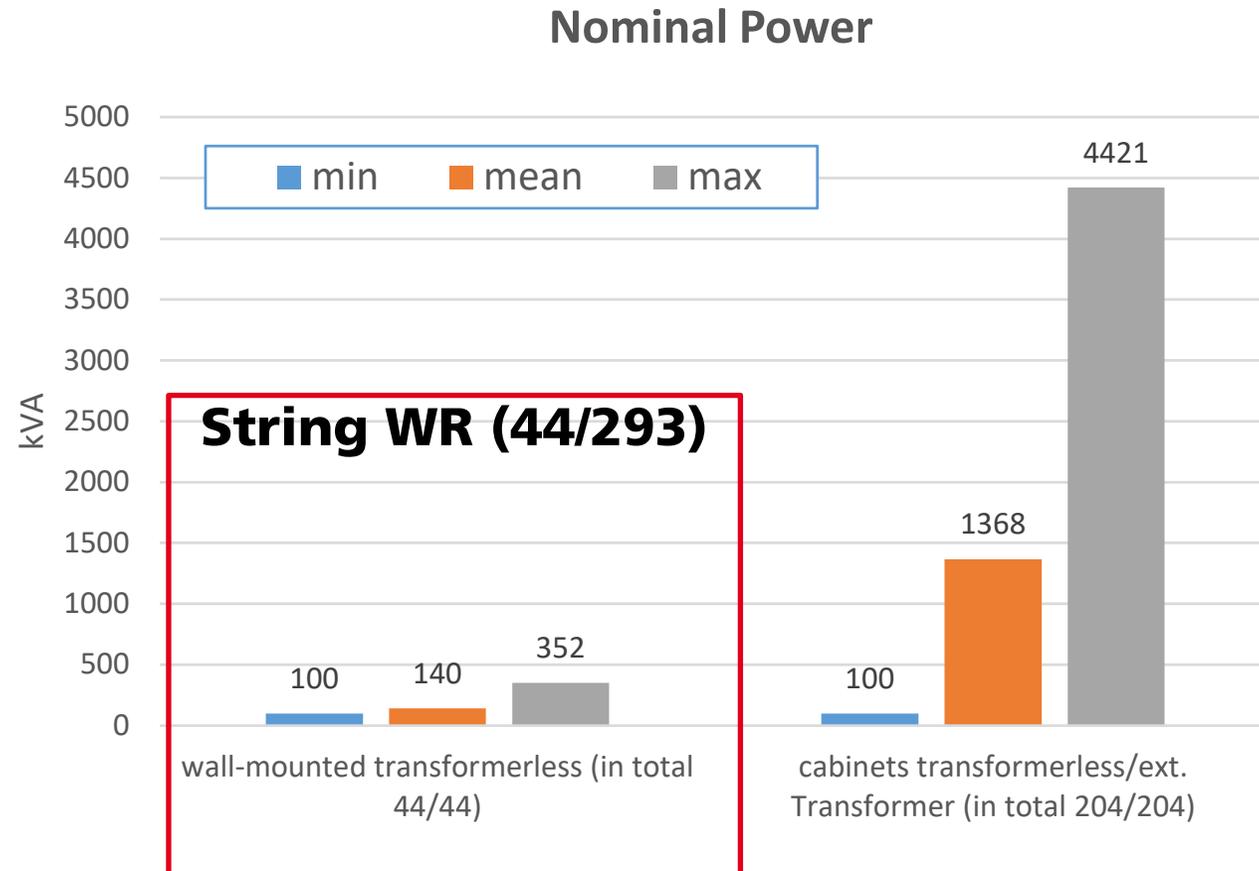
www.ise.fraunhofer.de

PV Magazine Webinar

30th of November, 2021

Motivation

- Marktanteil von großen Stringwechselrichtern steigt
- Marktübersicht der größten WR-Hersteller (gemäß PV-magazine) + Siemens + Kehua + ABB + Delta + Schneider (293 Geräte von 18 Herstellern) in der Leistungsklasse > 100kVA
- Multi-MPPT: 36/44
- Single-MPPT: 8/44

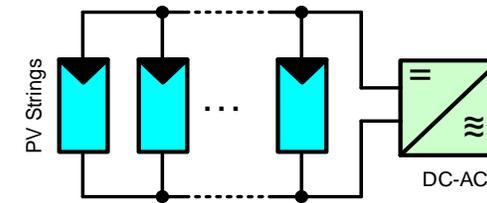


Grafik: Fraunhofer ISE, Daten: www.pv-magazine.com/2020/04/29 und Datenblätter der Hersteller

Agenda

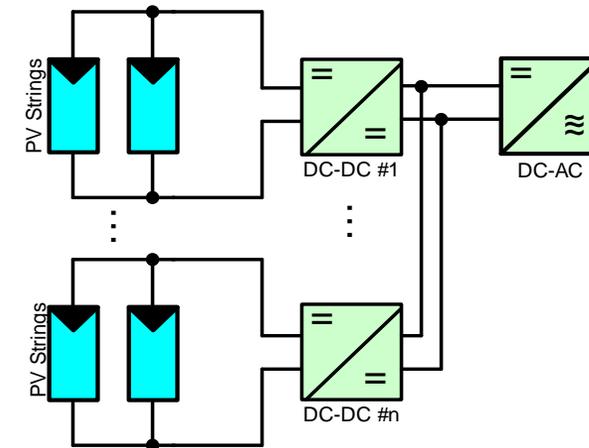
- Grundlagen zu Multi-MPPT
- Untersuchte Szenarien und Effekte
- Simulationsbedingungen
- Ergebnisse
- Zusammenfassung / Ausblick

Single MPPT



VS.

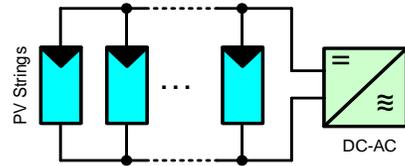
Multi MPPT



Grundlagen

Unterschiede von Single-MPPT und Multi-MPPT-WR

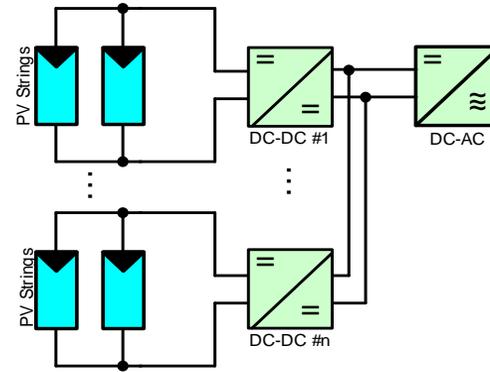
Single MPPT



- Parallelschaltung aller Strings
- **I. A. einstufige Topologie**
- Minimale Eingangsspannung ist definiert über AC-Ausgangsspannung

- z.B. 60 kVA / 1000 V System:
 - 8 Strings a 18 Module

Multi MPPT



- Parallelschaltung von 1-2 Strings / bzw. 30 A pro Eingang (max.12 pro WR)
- **Zweistufige Topologie**
- Minimale Eingangsspannung ist unabhängig von der AC-Ausgangsspannung, daher höhere AC Spannungen möglich

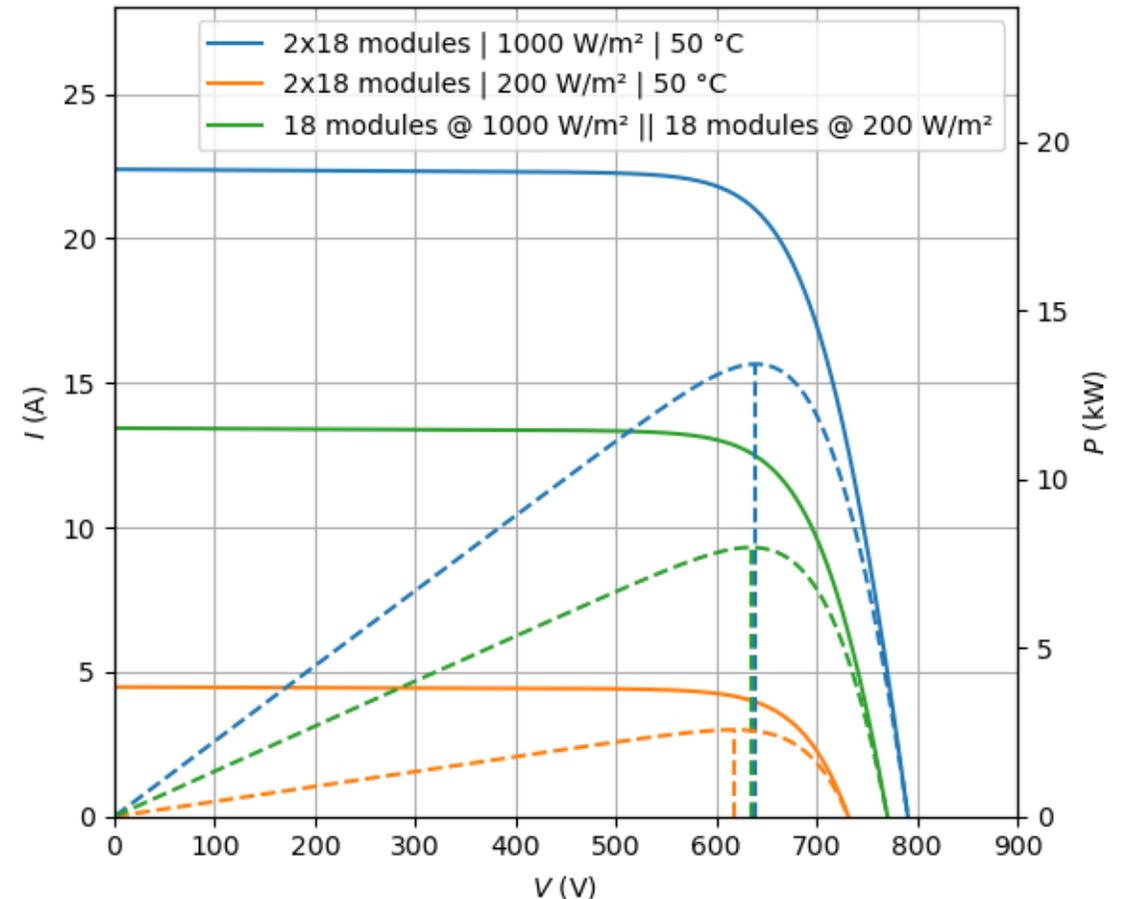
- z.B. 60 kVA / 1000 V System / 6 MPPTs:
 - 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1

Grundlagen

Mismatch zwischen Strings

- Inhomogenitäten führen zu unterschiedlichen U/I-Kurven der Module
- Mismatch im Bsp. 0,18%
- Mismatch kann bei kleinteiligem MPPT ausgeglichen werden

Wie groß ist der Effekt für verschiedene Konfigurationen und Standorte?



Untersuchte Effekte

- Fokus der Studie ist auf C-Si PV Modultechnologie

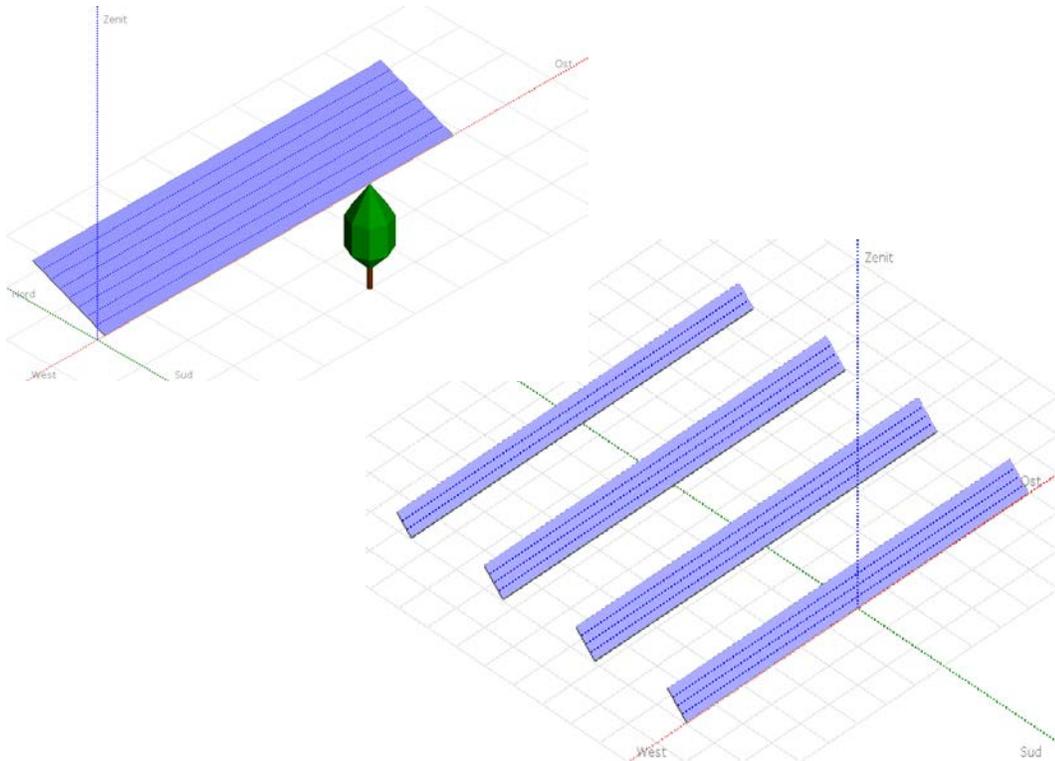
Effekt	Einfluss bei Multi-MPPT	in PVSyst abgebildet	nur global in PVSyst abgebildet
Heterogene Strangkonfiguration	Ja	Nein	-
Nahverschattung durch Baum	Ja	Ja	-
Nahverschattung bei fixen Modultischen	Ja	Ja	-
Nahverschattung bei Trackersystem /N-S	Ja	Ja	-
Vorbeiziehende Wolken	keine detaillierte Analyse	Nein	-
Verschmutzung	keine detaillierte Analyse	Ja	Ja
Alterung der Module	Ja	Ja	Ja
Streuung der Modulparameter	Ja	Y	Ja
Variation des Aufstellwinkels	Ja	Ja	-
Variation der Ausrichtung	Ja	Ja	-
Inhomogene Temperaturverteilung	Ja	Ja	Ja
Unterschiedliche Strangkabellängen	Ja	Ja	Ja
Wirkungsgradverluste	Ja	Ja	-
Unterschreitung der minimalen Eingangsspannung	Ja	Ja	-
Wechselrichter AC Spannung	keine detaillierte Analyse	Nein	-

Effekt wird in PVSyst abgebildet
Effekt wurde durch separate Simulationen untersucht
Effekt wurde nicht detailliert untersucht

Untersuchte Szenarien

■ Zwei Unterschiedliche Grundszenarien

■ Variation von verschiedenen Parametern

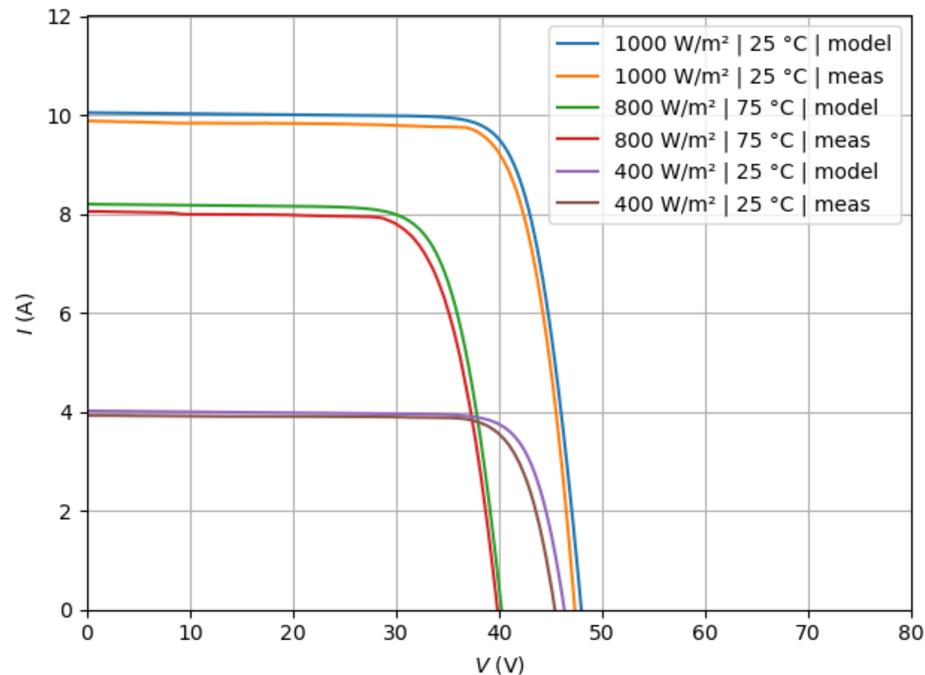


Parameter	Scenario A	Scenario B
Plant Type	Rooftop	Ground-mounted
Inverter Power	60 kVA	165 kVA
Inverter	Kaco Blueplanet 60	Kaco Blueplanet 165
P_{DC}/P_{AC} ratio	1	1
Number of MPPTs	1 (6)	1 (9)
PV Module	CS3W-410P 1500V	
Max. PV Generator voltage	1000 V	1500 V
Number of Modules per String	18	AK: 28 AD: 29
Number of Strings	8	15 (16)
Orientation	South	
Optimal Tilt	AK: 40° AD: 22°	
Opt. Tracker System	-	Single Axis NS

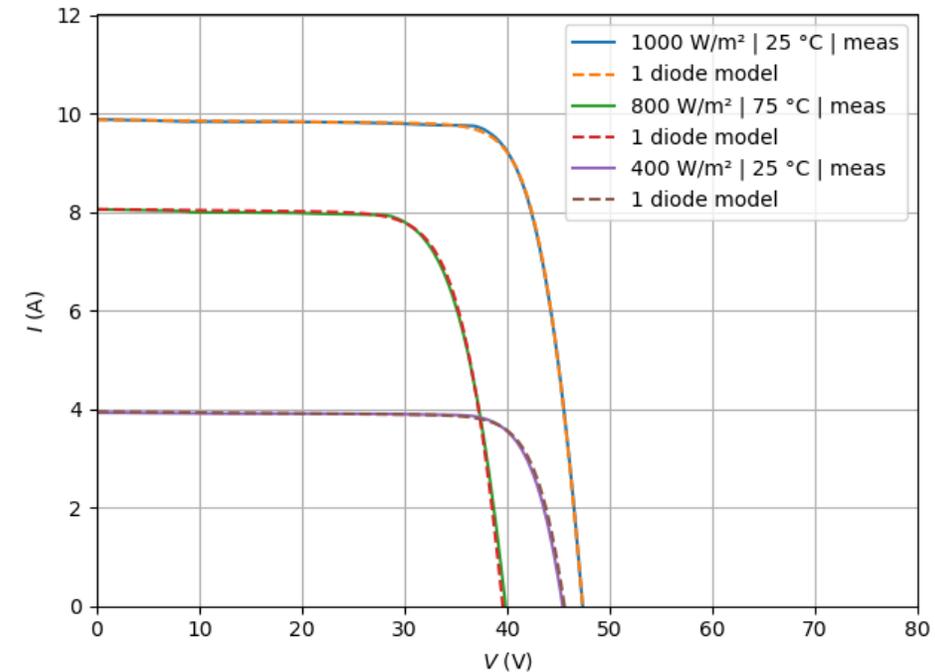
Genauigkeit des Eindiodenmodells

Untersuchung der PVSystem-Daten mit Messdaten

- Vgl. PVSystem Modell und Messdaten
- PAN Datei stellt Module besser als Messung



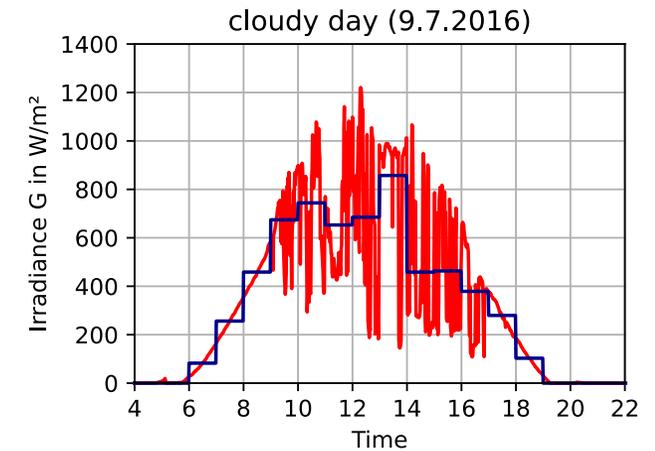
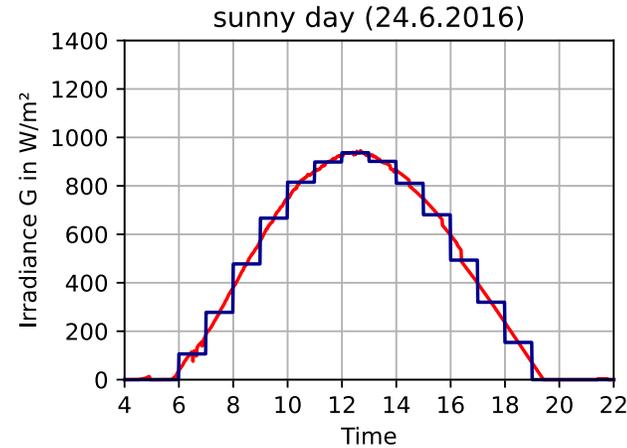
- Re-Fit des Modells mit Messdaten durchgeführt ergibt sehr gute Genauigkeit des Modells



Schlussfolgerung: Heutige Module werden mit dem in PVSystem benutzten Modell sehr gut modelliert, aber die Zuverlässigkeit der Daten ist fragwürdig

Effekt der Auflösung der Wetterdaten

- PVsyst© Simulationen werden mit stündlichen Daten durchgeführt
- Höhere Auflösung an wolkigen Tagen führt zu genaueren Ergebnissen
- Eigene Simulationen zu Szenario A:
 - 8 Strings a 18 Modulen (CS3W-410P 1500V)
 - 8 Strings a 20 Modulen (CS3W-410P 1500V)
- Folgende Grenzwerte wurden betrachtet (Single-MPPT)
 - Minimale Eingangsleistung P_{\min} : 120 W
 - Maximale Eingangsleistung P_{\max} : 60 kW
 - Minimale MPP Spannung U_{\min} : 580 V
 - Maximale MPP Spannung U_{\min} : 900 V



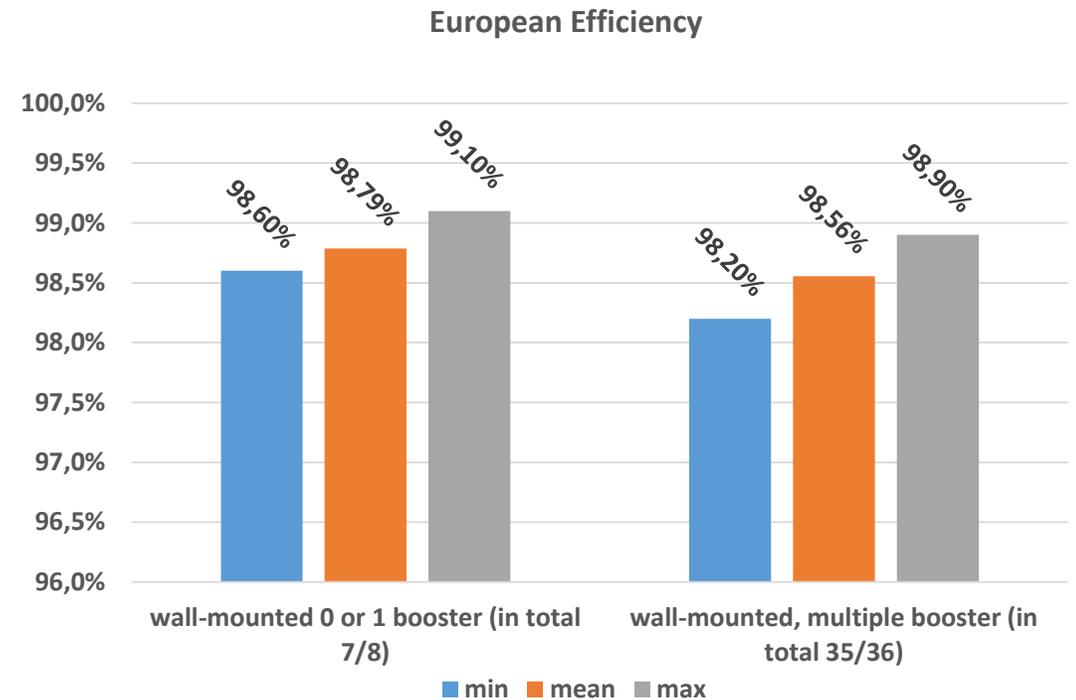
Ergebnisse

- Zeitauflösung führt zu unterschiedlichen Ergebnissen
- Ertragsverlust durch P_{\max} liegt bei **0.25 %** bei einer Stringlänge von 20 Modulen
- Verluste durch P_{\min} & V_{\min} sind vernachlässigbar ($> 0,01\%$)
- Auch Alterung führt bei 0,55%/Jahr nur zu 0,1% im 25. Jahr bedingt durch V_{\min}

Voraussetzungen

Zuverlässigkeit der Wechselrichtermodelle

- Wirkungsgrade insgesamt sehr hoch und nah zusammen
- Erwartbar ist ein schlechterer Wirkungsgrad bei zweistufigen Topologien
 - Datenblätter / Angaben spiegeln dies nur minimal wieder
- Messungen am ISE ergaben einen mittlere Abweichung zw. Herstellermodell und Messung von -0,3 % bzw. 0,4 %-Punkten für zwei verschiedene Wechselrichter unterschiedlicher Hersteller
- Große Abweichungen besonders im Teillastbereich (> 1%-Punkt)
- **Wirkungsgradverluste in der Studie nicht berücksichtigt**
 - Simulation des theoretisch möglichen Mehrertrags an den DC-Klemmen



Warning: PVSyst cannot guarantee the parameters of the database. These may suffer of erroneous transcription (even by manufacturers!), or modifications in the datasheets. This is the reason why the *Data Source* parameter usually mentions the year of the latest update. Therefore *when effectively using a component*, you are strongly advised to carefully check the parameters with respect to your recent datasheets.

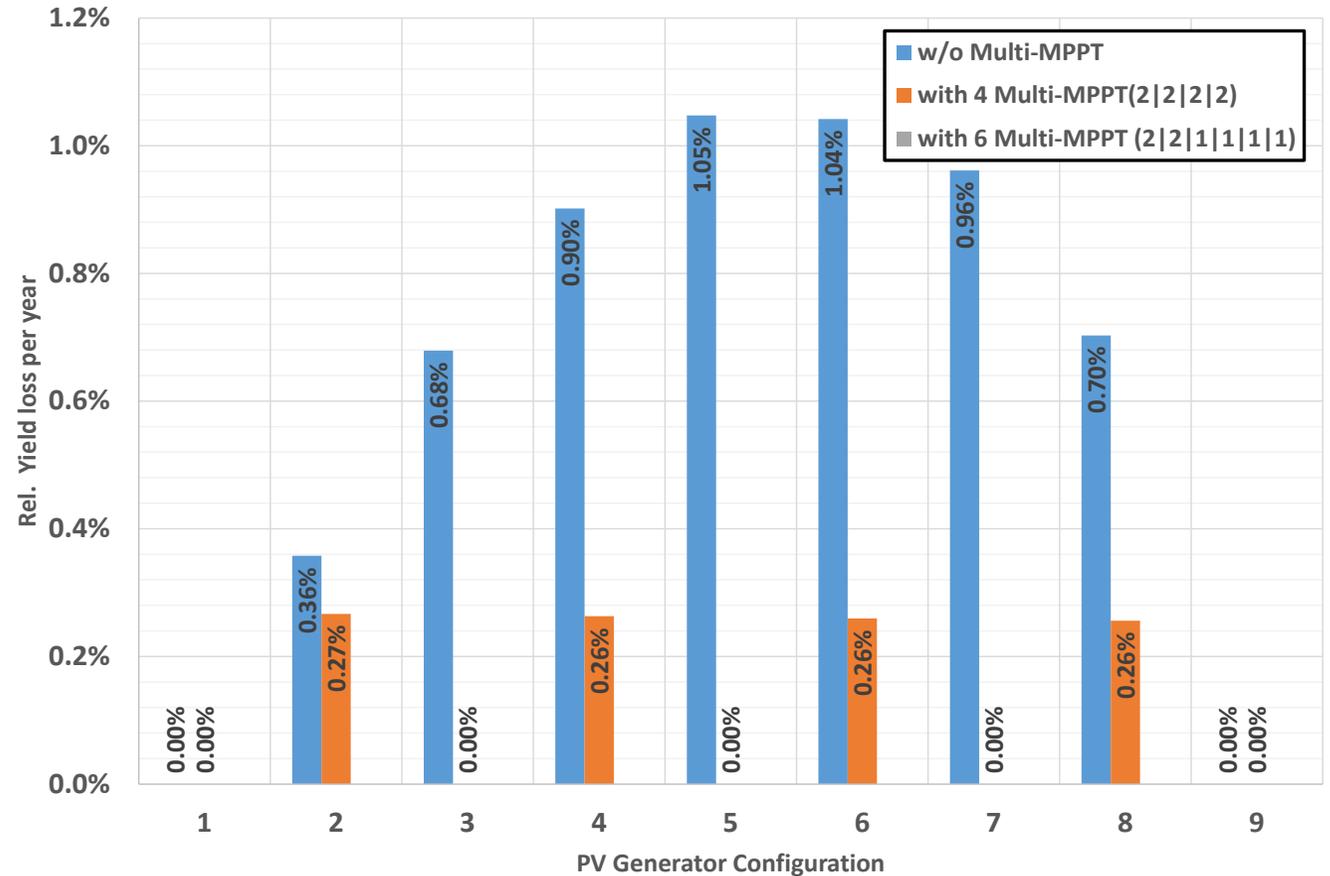
Source: https://www.pvsyst.com/help/inverter_database.htm

Ergebnisse

Inhomogene PV Generator Konfiguration

- Ermittlung von synthetischen Kennlinien des resultierenden Generator
- Kein Mismatchverluste bei 6 MPPTs
- Bei 4 MPPTs nur Mismatch bei ungeradem Verhältnis
- Max. theo. Ertragsverluste bei 50 / 50

Var.	Str1	Str2	Str3	Str4	Str5	Str6	Str7	Str8
1	18	18	18	18	18	18	18	18
2	18	18	18	18	18	18	18	19
3	18	18	18	18	18	18	19	19
4	18	18	18	18	18	19	19	19
5	18	18	18	18	19	19	19	19
6	18	18	18	19	19	19	19	19
7	18	18	19	19	19	19	19	19
8	18	19	19	19	19	19	19	19
9	19	19	19	19	19	19	19	19

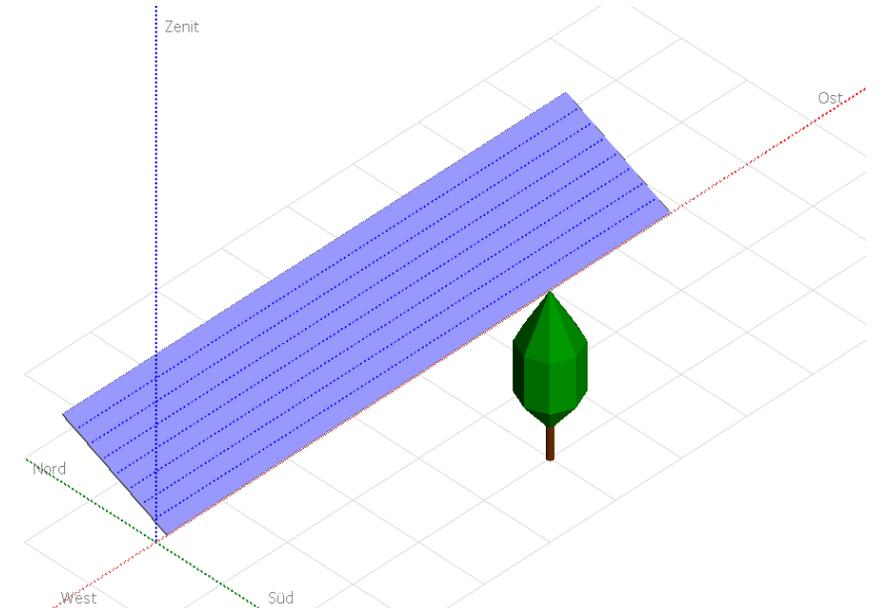


Results

Nahverschattung durch ein Hindernis (Baum)

- Szenario 1 $P_{DC}/P_{AC} = 0,98$ (8 Strings a 18 Module)
- Theoretischer Mehrertrag ~1 % in diesem Fall
- Mehrertrag wird vorr. durch Wechselrichterverluste reduziert

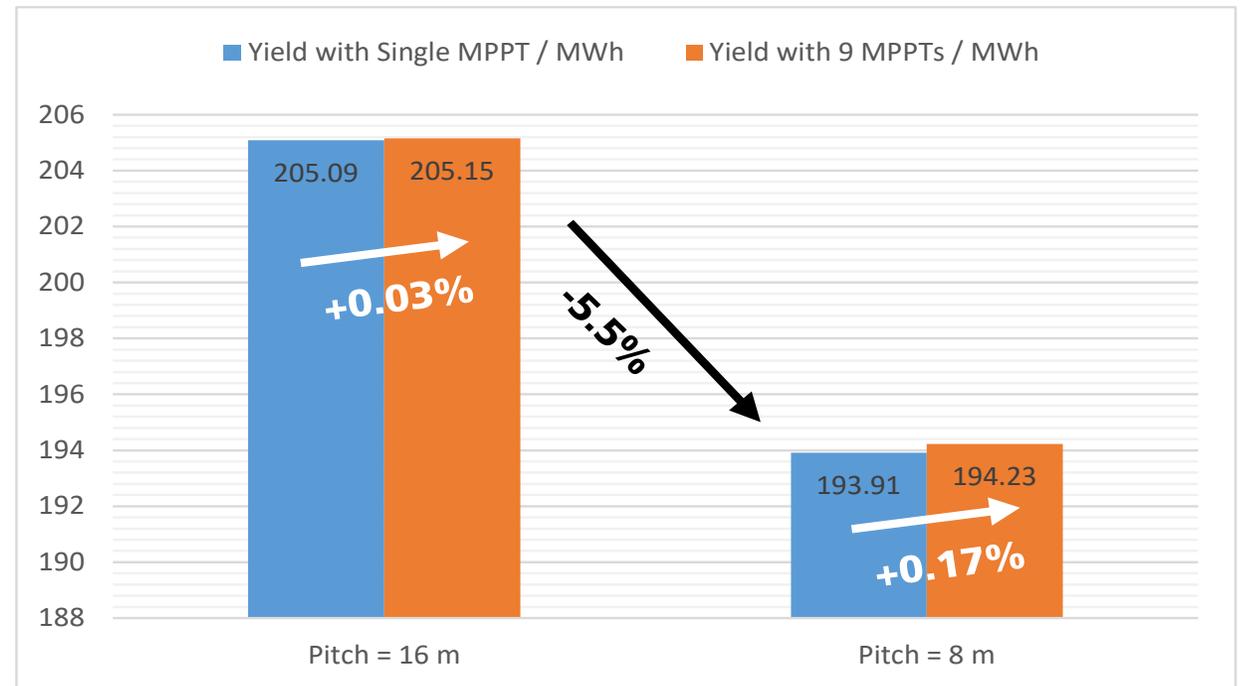
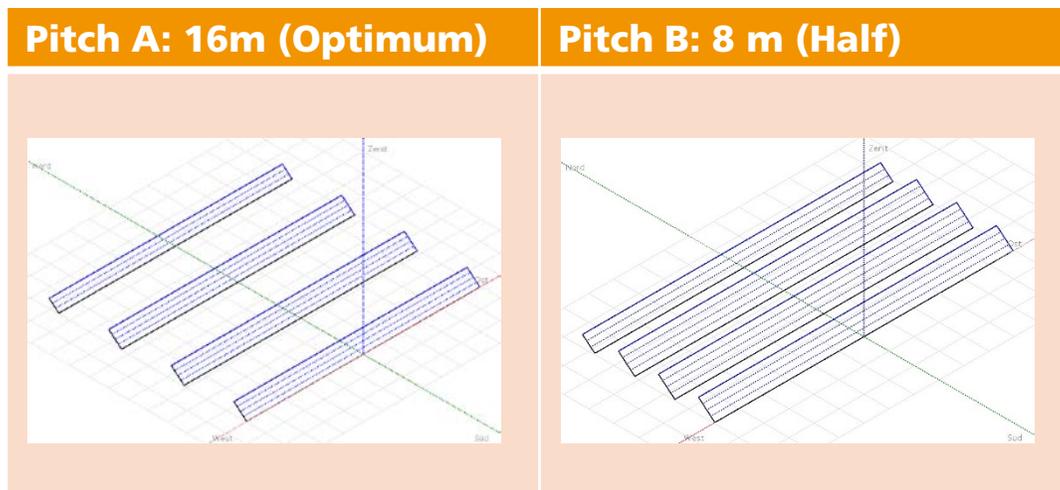
Location	Th. Yield with Single MPPT <i>MWh/year</i>	Th. Yield with Multi MPPT <i>MWh/year</i>	Rel Yield Gain
AK	68.853	69.560	1.0 %
AD	108.400	109.470	1.0 %



Ergebnisse

Reihenverschattung von Freiflächenanlagen

- $P_{DC}/P_{AC} = 1,04$ (15 Strings a 28 Modules)
- Tische: 4 Reihen a 28 Modules: Kollektorhöhe = $4 \cdot 1048 \text{ mm} = 4,2 \text{ m}$
- Ergebnisse für Arkona (Abu Dhabi minimal größer, aber skaliert auf kleinere Abstände)



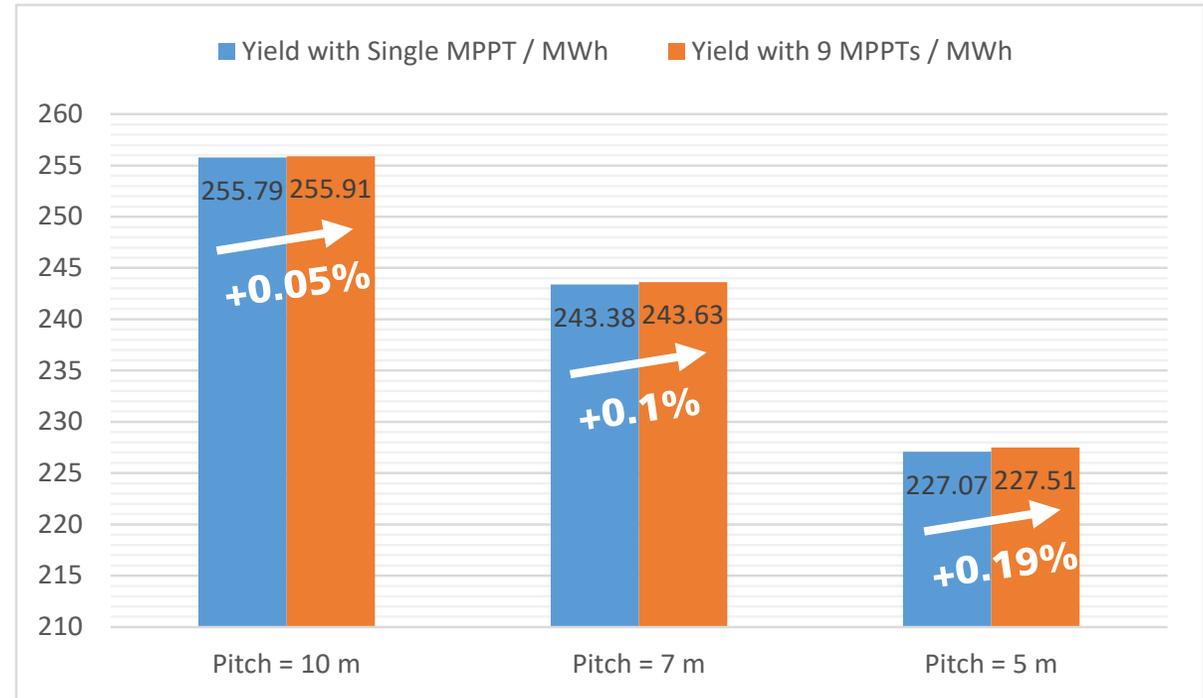
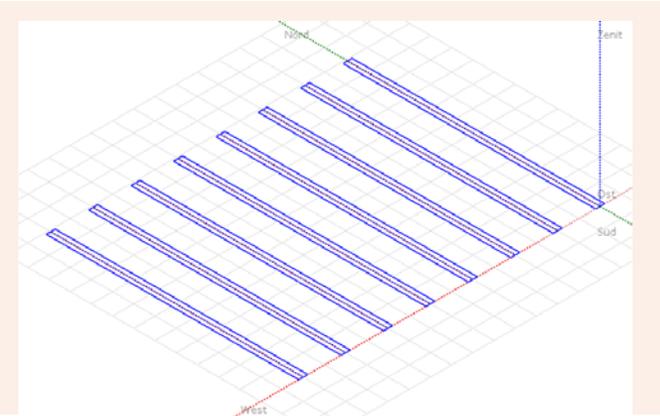
Ergebnisse

Reihenverschattung bei N-S Tracker und Freiflächenanlagen

- $P_{DC}/P_{AC} = 1,11$ (16 Strings a 28 Module)
- Tracker: Einzelachsnachführung (N-S-Achse), 2 Rows a 28 Modules
- Abu Dhabi minimal größer, aber skaliert auf kleinere Abstände

Arkona

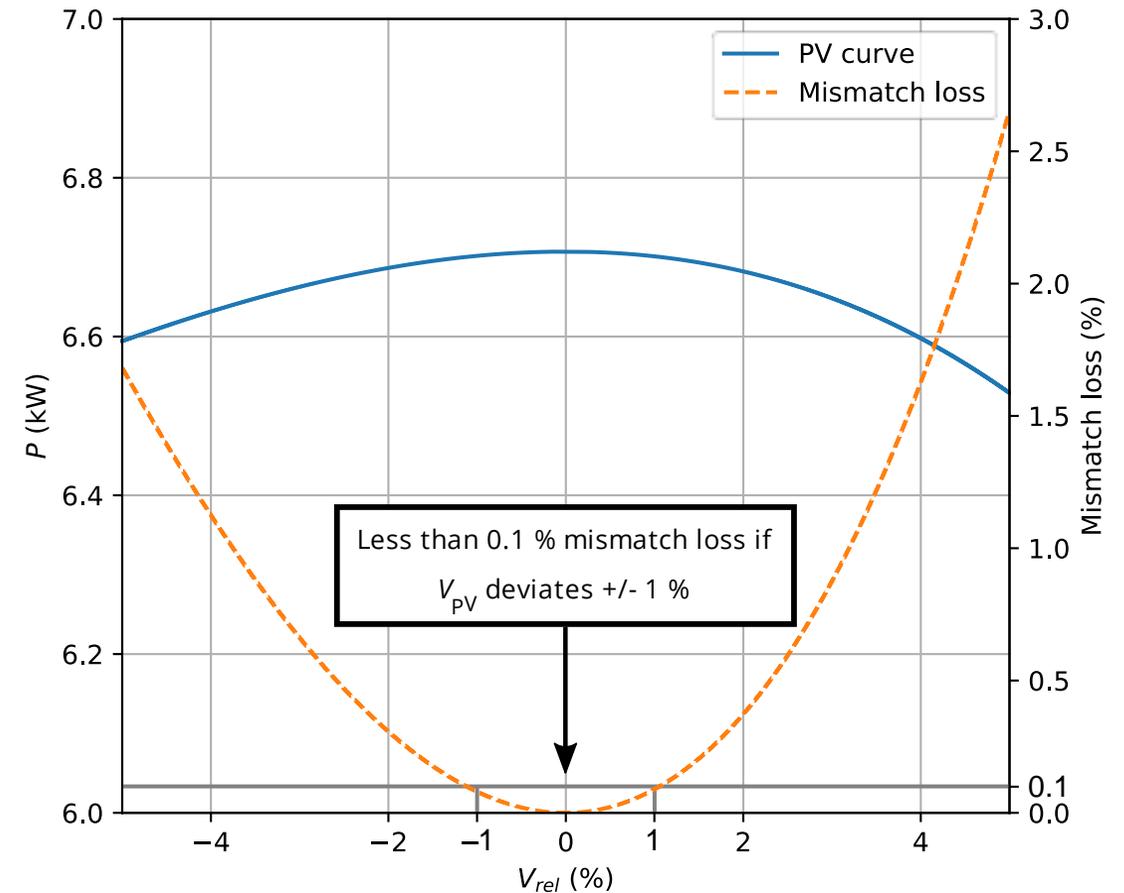
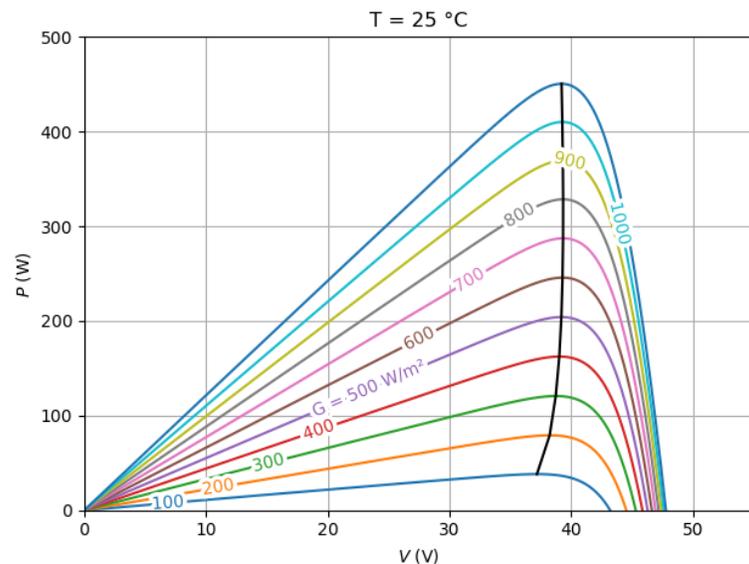
Pitch A: 10 m
Pitch B: 7 m
Pitch C: 5 m



Ergebnisse

Erläuterung zu den Resultaten

- Flache U,P Kurve um den MPP
- Variation der Einstrahlung ändert den MPP nur leicht
- Faustregel 1% Abweichung in U führt zu 0,1 % Abweichung in P bei 1000 W/m² und 50 °C
- Bei geringeren Einstrahlungen und kleinerem T noch weniger

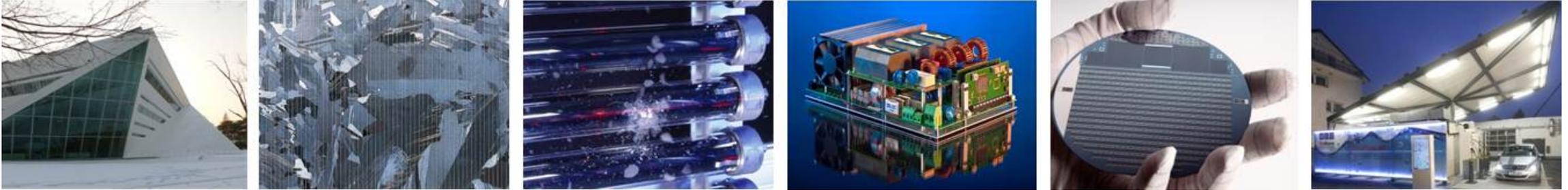


Zusammenfassung

- Eindiodenmodell repräsentiert heutige Module ausreichend genau
- Auflösung der Wetterdaten führt zu keinen fundamentalen Änderung der Ergebnisse
- Mehrertrag wird ggf. durch schlechtere Effizienz von mehrstufigen WR ausgeglichen
- Angaben zu Wirkungsgraden nicht aussagekräftig für einen Vergleich von Wechselrichtern
- **Kein signifikanter Mehrertrag bei homogenen Anlagen**
- *Ergebnisse gültig für c-Si Module*

Effekt	Max. Mehrertrag durch Multi-MPPT
Heterogene Strangkonfiguration	bis zu 1 %
Nahverschattung durch Baum	~ 1 %
Nahverschattung durch Modultisch mit fester Neigung	< 0.1 %
Nahverschattung durch Modultisch mit einachsiger Nachführung	< 0.1 %
<i>Wolkenbewegung</i>	<i>nicht relevant</i>
<i>Verschmutzung</i>	<i>nicht relevant</i>
<i>Moduldegradation (Alterung)</i>	<i>nicht relevant</i>
Anpassungsverluste durch Streuung der Modulparameter	< 0.01 %
Anpassungsverluste durch unterschiedliche Neigungswinkel	< 0.01 %
Anpassungsverluste durch unterschiedliche Ausrichtungen	< 0.1 %
Anpassungsverluste durch inhomogene Temperaturverteilung	< 0.1 %
Widerstandsverluste (Länge der Verkabelung)	< 0.01 %
<i>Wechselrichterverluste aufgrund des Wandlungswirkungsgrads</i>	<i>n. berücksichtigt</i>
<i>Wechselrichterverluste aufgrund der Spannungsgrenzen</i>	<i>nicht relevant</i>
<i>Wechselrichter AC-Spannung</i>	<i>n. berücksichtigt</i>

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Studie: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/news/2021/fraunhofer-ise-vergleicht-wechselrichter-mit-multi-mppt-und-single-mppt.html>

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE

Andreas Hensel

www.ise.fraunhofer.de

Andreas.hensel@ise.fraunhofer.de