

Guten Tag!

Dipl.-Ing.(FH) André Schumann:

Retrofitting von PV-Großanlagen durch den Einsatz von Leistungsoptimierern – Kosten-Nutzen-Analysen anhand präziser Simulationen bestehender PV-Anlagen

31. PV-Symposium, Bad Staffelstein, 10. März 2016

Leistungsoptimierer

Motivation, Fragestellung

- Bekannt seit Intersolar Award 2009
- Untersuchungen über den Nutzen von Leistungsoptimierern bisher vor allem im Zusammenhang mit partiellen Verschattungen bei Kleinanlagen
- Welche Potentiale gibt es ggf. für den Einsatz von Leistungsoptimierern in großen Freiflächenanlagen?
- Lassen sich diese Potentiale simulationstechnisch identifizieren?
- Ist der Einsatz wirtschaftlich sinnvoll?

Leistungsoptimierer

Gliederung

- Prinzip Leistungsoptimierer
- Arten von Mismatch
- Beispielanlagen
- Fazit

Leistungsoptimierer > Prinzip

PV-Anlagenbetrieb ohne Optimierer

- Betriebspunkt (MPP) wird mehr- oder weniger zentral vorgegeben
- Aufgrund von **Mismatch** wird nicht jedes Modul im individuellen MPP betrieben
 - Stromschwächstes Modul bestimmt Strangstrom
 - Ausgleichströme aufgrund ungleicher Spannungen paralleler Stränge
 - Betriebspunkt abhängig von Verschaltung und Temperatur

Prinzip von (idealen) Leistungsoptimierern

- Jedes PV-Modul wird im MPP betrieben
- Optimierer liefert **mismatch-freies** Strom-Spannungs-Paar (η ca. 99,5%):
 - Alle Optimierer innerhalb eines Stranges liefern gleichen Strom
 - Alle parallelen Stränge liefern gleiche Spannung
 - Spannung ggf. auf Wirkungsgrad des Wechselrichters optimiert

Leistungsoptimierer > Prinzip

Im Folgenden

- Kein Produktvergleich
- Annahme: „Optimaler Optimierer“ (immer MPP-Betrieb jedes Moduls)
- Potentielle Ertragssteigerung mit Optimierern ergibt sich vor allem aus den Mismatch-Verlusten ohne Optimierer
 - ➔ Identifikation der verschiedenen Arten von Mismatch in PV-Freiflächenanlagen

Leistungsoptimierer > Arten von Mismatch

Mismatch-Verlust	Potential
Modultoleranzen bei Nennwerten	Geringfügig, typ. 0,1 % bis 0,4 %
Modultoleranzen bei Betriebsbedingungen	Geringfügig, typ. 0,1 %
Verschattung	Je nach Anlage teils erheblich
Diffuslichtabschwächung bei Vertikalverschaltung	Je nach Anlage teils erheblich
Topographie/ Einstrahlungsunterschiede	Je nach Anlage teils erheblich
Temperaturunterschiede	Irrelevant, < 0,1 %
Spannungsabfall DC-Kabel	Irrelevant, < 0,1 %
Sonstige	Z.B. unterschiedliche Verschmutzung und Degradation. Erst nach Anlagenprüfung quantifizierbar. Ggf. erheblich

Leistungsoptimierer > Arten von Mismatch

Mismatch-Verlust	Potential
Modultoleranzen bei Nennwerten	Geringfügig, typ. 0,1 % bis 0,4 %
Modultoleranzen bei Betriebsbedingungen	Geringfügig, typ. 0,1 %
Verschattung	Je nach Anlage teils erheblich
Diffuslichtabschwächung bei Vertikalverschaltung	Je nach Anlage teils erheblich
Topographie/ Einstrahlungsunterschiede	Je nach Anlage teils erheblich
Temperaturunterschiede	Irrelevant, < 0,1 %
Spannungsabfall DC-Kabel	Irrelevant, < 0,1 %
Sonstige	Z.B. unterschiedliche Verschmutzung und Degradation. Erst nach Anlagenprüfung quantifizierbar. Ggf. erheblich

- Klassischer Mismatch-Verlust aufgrund von Fertigungstoleranzen
- Mit Analyse von Flash-Berichten gut quantifizierbar/simulierbar
- Heutzutage aufgrund enger Leistungsklassen und geringer Streuungen der Spannungen und Ströme geringfügig
- Aufgrund höherer Fertigungs-Toleranzen bei älteren Anlagen >1 % Verlust möglich

Leistungsoptimierer > Arten von Mismatch

Mismatch-Verlust	Potential
Modultoleranzen bei Nennwerten	Geringfügig, typ. 0,1 % bis 0,4 %
Modultoleranzen bei Betriebsbedingungen	Geringfügig, typ. 0,1 %
Verschattung	Je nach Anlage teils erheblich
Diffuslichtabschwächung bei Vertikalverschaltung	Je nach Anlage teils erheblich
Topographie/ Einstrahlungsunterschiede	Je nach Anlage teils erheblich
Temperaturunterschiede	Irrelevant, < 0,1 %
Spannungsabfall DC-Kabel	Irrelevant, < 0,1 %
Sonstige	Z.B. unterschiedliche Verschmutzung und Degradation. Erst nach Anlagenprüfung quantifizierbar. Ggf. erheblich

- Mismatch aufgrund von abweichendem Verhalten bei realen Betriebsbedingungen
- Vorliegende Labormesswerte zeigen uneinheitliche Tendenzen, die aber nur zu geringfügigen Mismatch-Verlusten führen

Leistungsoptimierer > Arten von Mismatch

Mismatch-Verlust	Potential
Modultoleranzen bei Nennwerten	Geringfügig, typ. 0,1 % bis 0,4 %
Modultoleranzen bei Betriebsbedingungen	Geringfügig, typ. 0,1 %
Verschattung	Je nach Anlage teils erheblich
Diffuslichtabschwächung bei Vertikalverschattung	Je nach Anlage teils erheblich
Topographie/ Einstrahlungsunterschiede	Je nach Anlage teils erheblich
Temperaturunterschiede	Irrelevant, < 0,1 %
Spannungsabfall DC-Kabel	Irrelevant, < 0,1 %
Sonstige	Z.B. unterschiedliche Verschmutzung und Degradation. Erst nach Anlagenprüfung quantifizierbar. Ggf. erheblich

- Mismatch-Verlust aufgrund von Serienverschattung mit verschatteten Bereichen
- Bedeutende Verluste bei partiellen Schatten
- Je nach Konstruktion und Verschattung auch bedeutende Verluste bei Reihenverschattung
- Gut simulierbar

Leistungsoptimierer > Arten von Mismatch

Mismatch-Verlust	Potential
Modultoleranzen bei Nennwerten	Geringfügig, typ. 0,1 % bis 0,4 %
Modultoleranzen bei Betriebsbedingungen	Geringfügig, typ. 0,1 %
Verschattung	Je nach Anlage teils erheblich
Diffuslichtabschwächung bei Vertikalverschaltung	Je nach Anlage teils erheblich
Topographie/ Einstrahlungsunterschiede	Je nach Anlage teils erheblich
Temperaturunterschiede	Irrelevant, < 0,1 %
Spannungsabfall DC-Kabel	Irrelevant, < 0,1 %
Sonstige	Z.B. unterschiedliche Verschmutzung und Degradation. Erst nach Anlagenprüfung quantifizierbar. Ggf. erheblich

- Spezieller Mismatch bei Reihensystemen mit mehrzeiligen Modultischen und vertikal verschalteten Modulen
- Aufgrund vorgelagerter Modulreihen empfangen Module an unterer Tischposition ganzjährig weniger Diffus- und Albedo-Einstrahlung als an oberer Tischposition
- Indirekt simulierbar

Leistungsoptimierer > Arten von Mismatch

Mismatch-Verlust	Potential
Modultoleranzen bei Nennwerten	Geringfügig, typ. 0,1 % bis 0,4 %
Modultoleranzen bei Betriebsbedingungen	Geringfügig, typ. 0,1 %
Verschattung	Je nach Anlage teils erheblich
Diffuslichtabschwächung bei Vertikalverschattung	Je nach Anlage teils erheblich
Topographie/ Einstrahlungsunterschiede	Je nach Anlage teils erheblich
Temperaturunterschiede	Irrelevant, < 0,1 %
Spannungsabfall DC-Kabel	Irrelevant, < 0,1 %
Sonstige	Z.B. unterschiedliche Verschmutzung und Degradation. Erst nach Anlagenprüfung quantifizierbar. Ggf. erheblich

- Spezieller Mismatch bei Reihensystemen auf unebenen Gelände mit tischübergreifender Verschattung
- Ost-West-Geländeneigungen haben starken Einfluss auf Modulazimut
→ Zu einem Zeitpunkt unterschiedliche Einstrahlung auf benachbarte Tische
- Indirekt simulierbar

Leistungsoptimierer > Arten von Mismatch



Leistungsoptimierer > Arten von Mismatch

Unterschied benachbarter, miteinander verschalteter Tische			Resultierender Mismatch-Verlust (Jahr)
Δ Azimut	Δ Geländeneigung bei 20° Modulneigung	Δ Geländeneigung bei 25° Modulneigung	
1°	0,1°	0,1°	-0,2%
2°	0,3°	0,4°	-0,4%
3°	0,5°	0,6°	-0,6%
4°	0,8°	1,0°	-0,9%
5°	1,2°	1,5°	-1,1%
6°	1,6°	2,0°	-1,3%
7°	1,9°	2,4°	-1,5%
8°	2,3°	2,9°	-1,7%
9°	2,6°	3,4°	-1,9%
10°	3,0°	3,8°	-2,1%
11°	3,4°	4,3°	-2,3%
12°	3,7°	4,8°	-2,5%
13°	4,1°	5,2°	-2,8%
14°	4,5°	5,7°	-3,0%
15°	4,8°	6,2°	-3,2%

Leistungsoptimierer > Arten von Mismatch

Mismatch-Verlust	Potential
Modultoleranzen bei Nennwerten	Geringfügig, typ. 0,1 % bis 0,4 %
Modultoleranzen bei Betriebsbedingungen	Geringfügig, typ. 0,1 %
Verschattung	Je nach Anlage teils erheblich
Diffuslichtabschwächung bei Vertikalverschattung	Je nach Anlage teils erheblich
Topographie/ Einstrahlungsunterschiede	Je nach Anlage teils erheblich
Temperaturunterschiede	Irrelevant, < 0,1 %
Spannungsabfall DC-Kabel	Irrelevant, < 0,1 %
Sonstige	Z.B. unterschiedliche Verschmutzung und Degradation. Erst nach Anlagenprüfung quantifizierbar. Ggf. erheblich

- Mismatch-Verlust aufgrund von unterschiedlichen Modultemperaturen
- Bei Freiflächenanlagen betragen die Temperaturunterschiede in den Randbereichen üblicherweise weniger als 1 °C
- I_{sc} -Temperatur-Koeffizient sehr gering (serieller Mismatch gering)
→ keine relevanten Mismatch-Verluste

Leistungsoptimierer > Arten von Mismatch

Mismatch-Verlust	Potential
Modultoleranzen bei Nennwerten	Geringfügig, typ. 0,1 % bis 0,4 %
Modultoleranzen bei Betriebsbedingungen	Geringfügig, typ. 0,1 %
Verschattung	Je nach Anlage teils erheblich
Diffuslichtabschwächung bei Vertikalverschaltung	Je nach Anlage teils erheblich
Topographie/ Einstrahlungsunterschiede	Je nach Anlage teils erheblich
Temperaturunterschiede	Irrelevant, < 0,1 %
Spannungsabfall DC-Kabel	Irrelevant, < 0,1 %
Sonstige	Z.B. unterschiedliche Verschmutzung und Degradation. Erst nach Anlagenprüfung quantifizierbar. Ggf. erheblich

- Mismatch im Falle unterschiedlich dimensionierter DC-Hauptkabel
- In einem Bereich von $\pm 0,5$ % der MPP-Spannung ist Leistung annähernd konstant
→ Nicht relevant bei üblichen Auslegungen

Leistungsoptimierer > Arten von Mismatch

Mismatch-Verlust	Potential
Modultoleranzen bei Nennwerten	Geringfügig, typ. 0,1 % bis 0,4 %
Modultoleranzen bei Betriebsbedingungen	Geringfügig, typ. 0,1 %
Verschattung	Je nach Anlage teils erheblich
Diffuslichtabschwächung bei Vertikalverschaltung	Je nach Anlage teils erheblich
Topographie/ Einstrahlungsunterschiede	Je nach Anlage teils erheblich
Temperaturunterschiede	Irrelevant, < 0,1 %
Spannungsabfall DC-Kabel	Irrelevant, < 0,1 %
Sonstige	Z.B. unterschiedliche Verschmutzung und Degradation. Erst nach Anlagenprüfung quantifizierbar. Ggf. erheblich

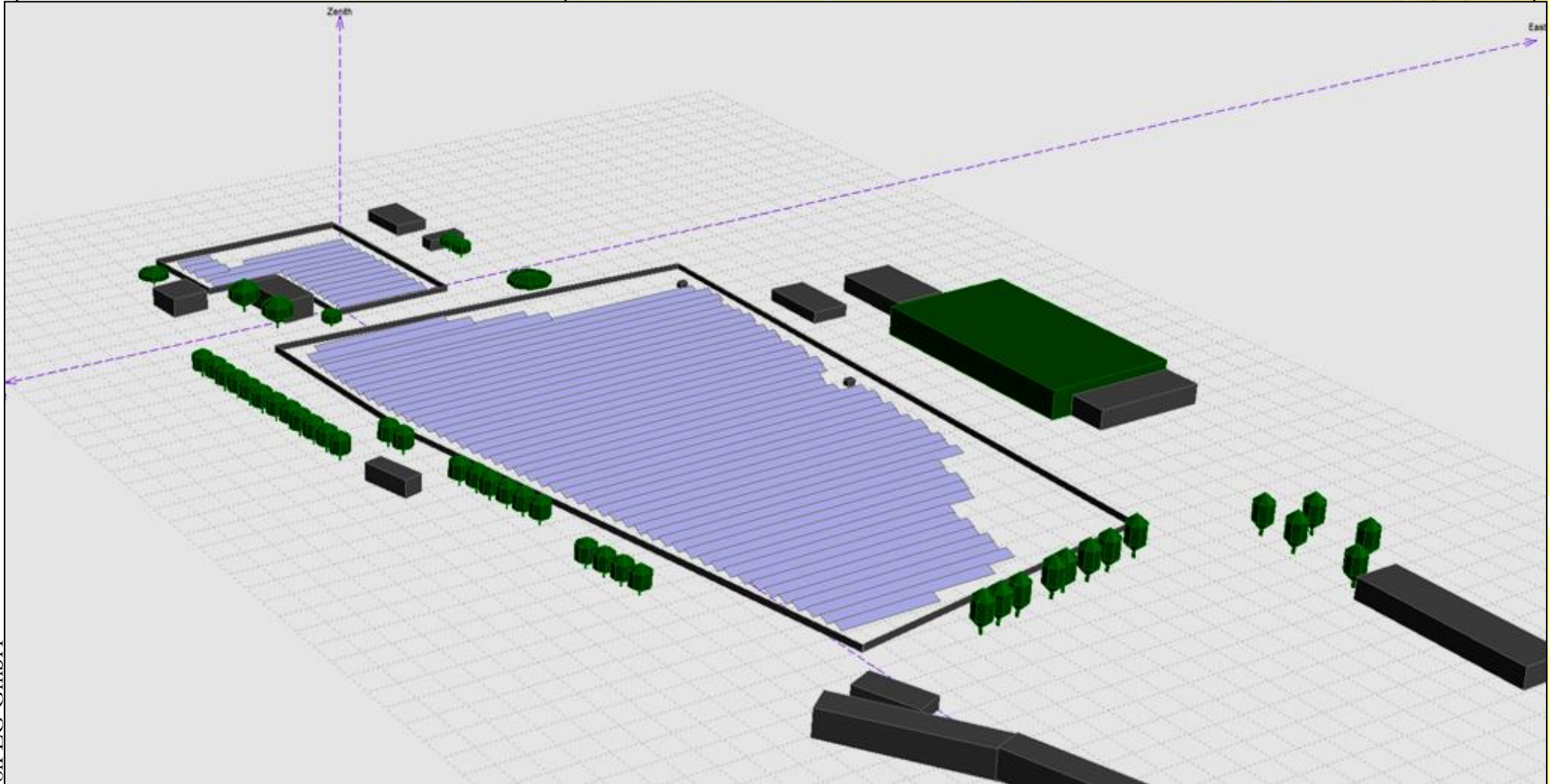
- Mismatch aufgrund unterschiedlich verschmutzter Module
- Mismatch aufgrund unterschiedlich degradiertter Module
- Anlagen-Inspektion erforderlich
- Monitoring ermöglicht ggf. Eingrenzung der Prüfung auf einige repräsentative Stränge
- Wie hoch fallen diese Verluste in typischen Anlagen aus? → Feldtests erforderlich

Leistungsoptimierer > Beispielanlagen

	Anlage 1
Anlagengröße	3,8 MW _p , 4,3 ha
Standort	Sachsen
Modultyp	Poly-Si, 245 W _p
Wechselrichtertyp	130 x 23 kW
Module pro Strang	24
Stränge pro MPPT	5
Neigung	25°
Azimut (Abw. Süd)	0°
Modulanordnung	4 Module quer
Reihenabstand	4,84 – 5,05 m
Verschattungswinkel	meist > 50°
Strangverschaltung	Horizontal, tlw. vertikal und reihenübergreifend
Verschattung	Eigen- und externe Versch.
Geländestruktur	eben
Ertrag (Gutachten)	950 kWh/kW _p
Inbetriebnahme	Mai 2013
Einspeisevergütung	10,82 ct/kWh
Ertragssteigerung Optimierer	4,7 %

Leistungsoptimierer > Beispielanlagen

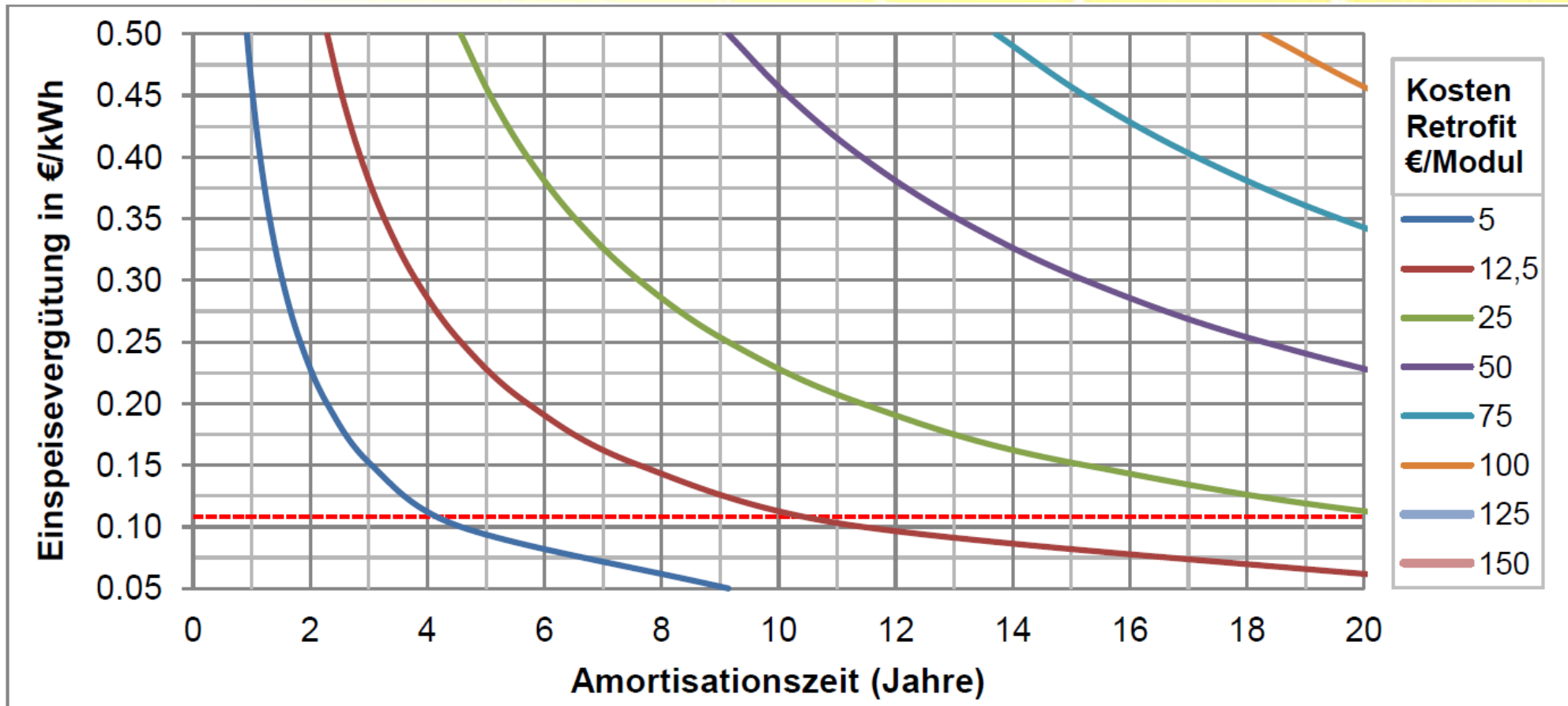
Anlage 1



Leistungsoptimierer > Beispielanlagen

Steckbrief Anlage 1

3,8 MW_p, 4,3 ha, Poly-Si, 23 kW Wechselrichter, sehr hohe Eigen- und Fremdverschattung, Inbetriebnahme 05/2013, 10,82 ct/kWh
Ertragsteigerung durch Optimierer: 4,7 % (Partielle Verschattung, Bypass-Dioden bei Strangverschattung)



Leistungsoptimierer

Zusätzlicher Nutzen

- Monitoring auf Modulebene
- Einmal-Effekt nach Retrofit durch Identifizierung unterdurchschnittlicher Module
- Moduldefekte wirken sich nicht auf weitere Module aus
→ Gezielter Austausch im Rahmen von Routine-Wartungen
- Sicherheits- und Abschaltfunktionen

Bedenken

- Wirtschaftlichkeit?
- Massenhafter Einsatz weiterer elektronischer Bauteile → Ausfallrisiko?

Leistungsoptimierer

Fazit

- Mismatch-Effekte aufgrund von Verschattung, Diffuslichtabschwächung und Geländeprofil können erheblich sein und lassen sich anhand Datenlage simulieren
- Weitere Ertragssteigerungspotentiale ggf. bei Anlagen-Inspektion ermittelbar
- Ggf. Einsatz nur in Teilbereichen sinnvoll
- Wirtschaftlichkeit meist nur im Zusammenhang mit einer hohen Einspeisevergütung und/oder Retrofitkosten deutlich kleiner 25 €/Modul
- Preiskorridor derzeit nicht erreicht jedoch mit Skaleneffekten denkbar, sofern Potentiale des Retrofitmarkt für Großanlagen von den Herstellern erkannt werden

The background of the slide is a close-up, high-angle photograph of a solar panel array. The panels are yellowish-gold with a grid of thin, darker lines. The perspective is from above, looking down at the panels, which are arranged in a diagonal pattern across the frame.

Danke für die Aufmerksamkeit!

Adressen:

info@solpeg.de

www.solpeg.com

SOLPEG
Solar Power Expert Group