
MAXIMALE ERTRÄGE VON PV KRAFTWERKEN

PV Power-Photovoltaik Kraftwerke zur Eigenstromerzeugung



Klaus Kiefer

Fraunhofer-Institut für Solare
Energiesysteme ISE

Weiß-rotes Business Event

23. September 2014

Mercedes Benz Arena

www.ise.fraunhofer.de

Allgemeine Anforderungen an Photovoltaik Kraftwerke

- **Investoren:** maximale Erträge
- **Anlagenbetreiber:**
hohe Anlagenperformance und
geringe laufende Kosten
- **Banken:** wollen ihr Geld zurück

- Hochwertige und zuverlässige
Komponenten
- Gut dimensioniertes und
funktionierendes **Gesamtsystem**



Stromgestehungskosten und Performance Ratio sind die entscheidenden Bewertungskriterien

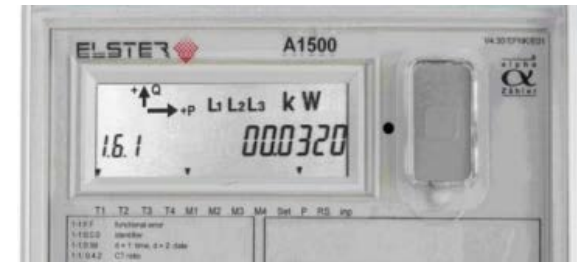
Levelized Costs of Energy



LCOE :



Performance Ratio



PR :

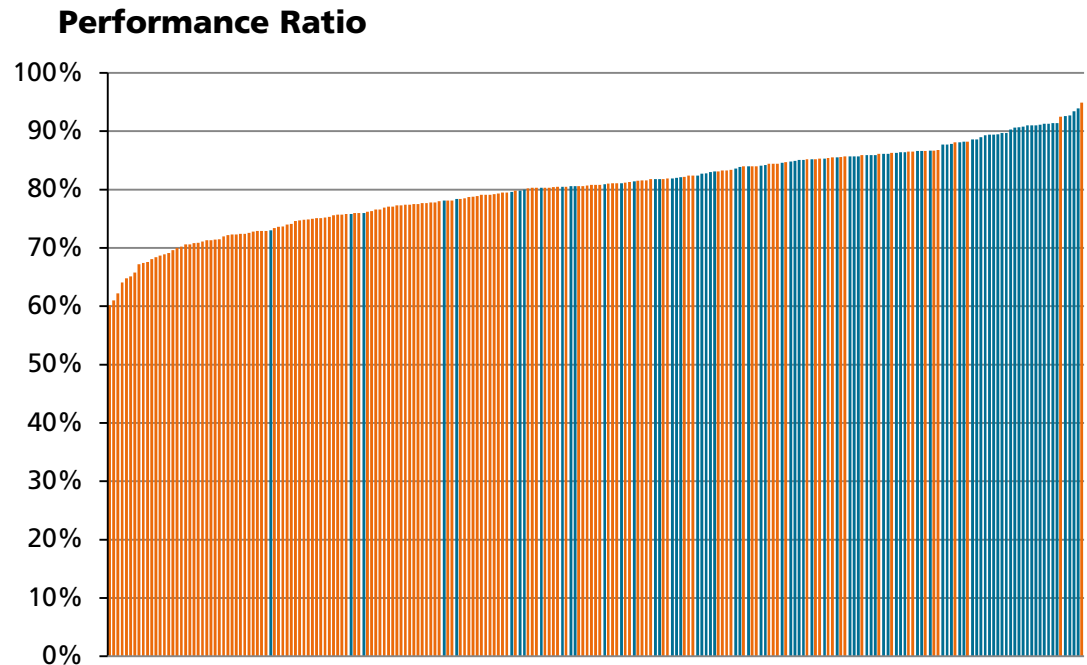


Performance Ratio von PV Kraftwerken

Benchmarking für das Jahr 2013

Gemessene Jahreswerte
von etwa 300 Anlagen

Blaue Balken sind neuere
Anlagen mit durchgehender
Qualitätssicherung

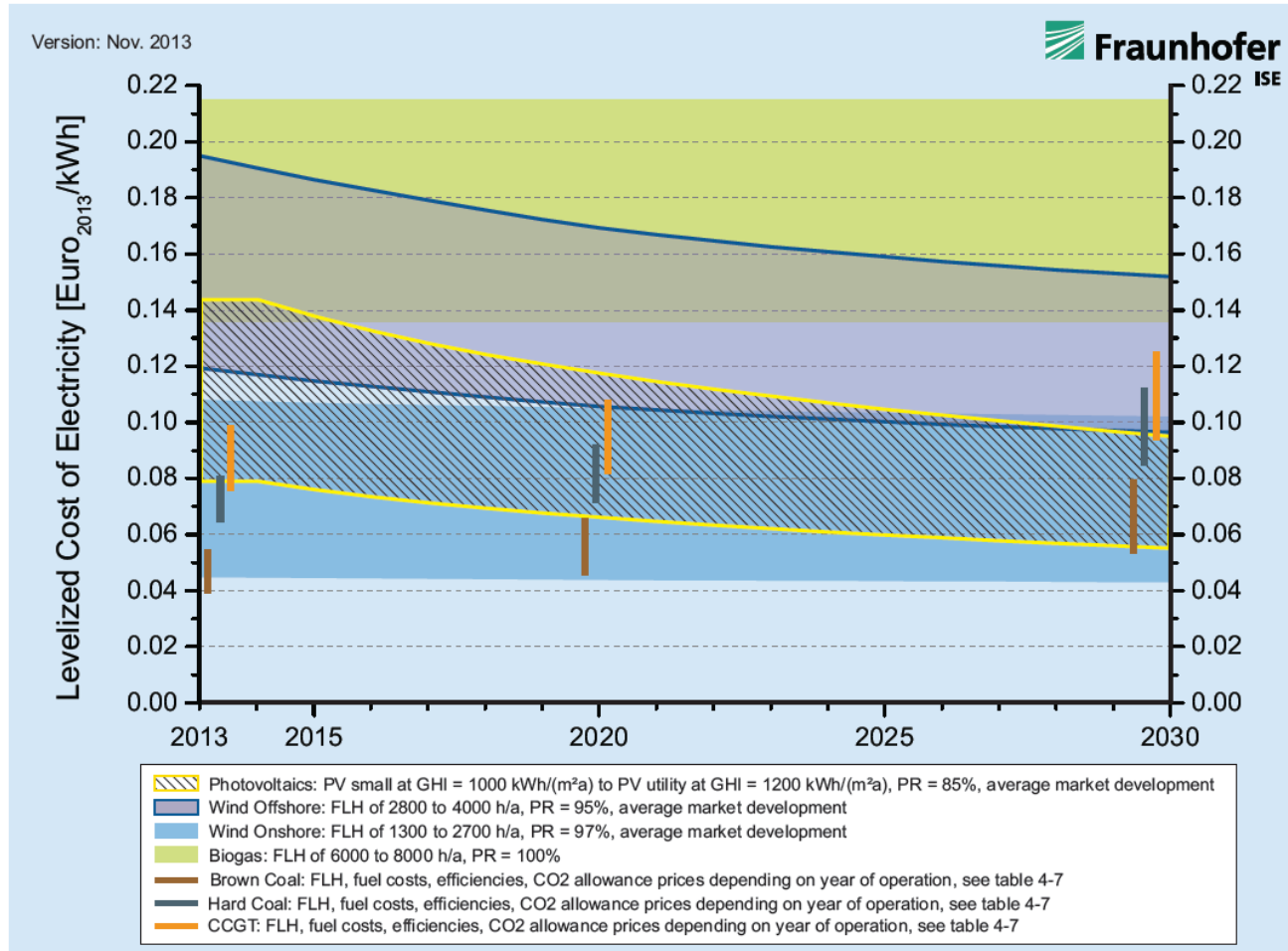


Sehr gute Anlagen erreichen Werte um die 90 %

Fraunhofer ISE, Jahresauswertungen PV Systeme 2013, Freiburg

Stromgestehungskosten im Vergleich

Photovoltaik ist heute schon wettbewerbsfähig



Levelized Cost of Electricity, Renewable Energy Technologies, Fraunhofer ISE, 2013

Levelized costs of energy and quality

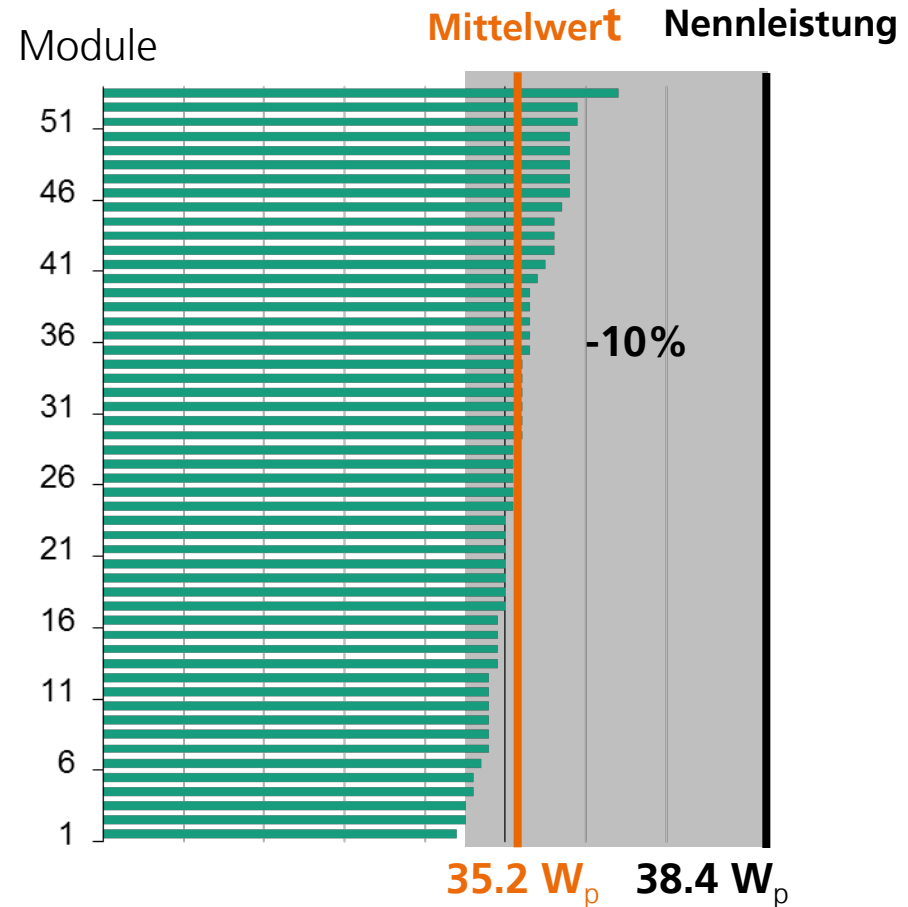
$$LCOE = \frac{\text{cost of produced electric energy}}{\text{produced electric energy}} = \frac{I_0 + C_0 \sum_{t=1}^n \frac{(1+i)^t}{(1+r)^t}}{R_P \eta_{STC} \cdot E_y \sum_{t=1}^n \frac{(1+d)^t}{(1+r)^t}}$$

quality sensitive

LCOE	Levelized cost of energy
I_0	initial investment for power plant
C_0	annual operation & maintenance cost
n	service life
i	annual inflation rate
r	annual discount rate
R_P	initial Performance Ratio of power plant
η_{STC}	initial module efficiency (STC)
E_y	yearly sum of energy irradiation on module plane
d	annual degradation rate



Langzeiterfahrung Module kristalline Module 28 Jahre in Betrieb



Langzeiterfahrung

Anlage in Norddeutschland mit 20 Jahren Betriebszeit

Leistung: 4,88 kWp

Baujahr: 1993

Standort: 24147 Klausdorf
bei Kiel

Ausrichtung: -10 Grad Süd

Dachneigung: 45 Grad



Langzeiterfahrung von Systemen

Anlage in Norddeutschland mit 20 Jahren Betriebszeit

Einstrahlung

1060 kWh/m² (+/-13 %)

Ertrag

810 kWh/kWp (+/-13 %)

Performance Ratio

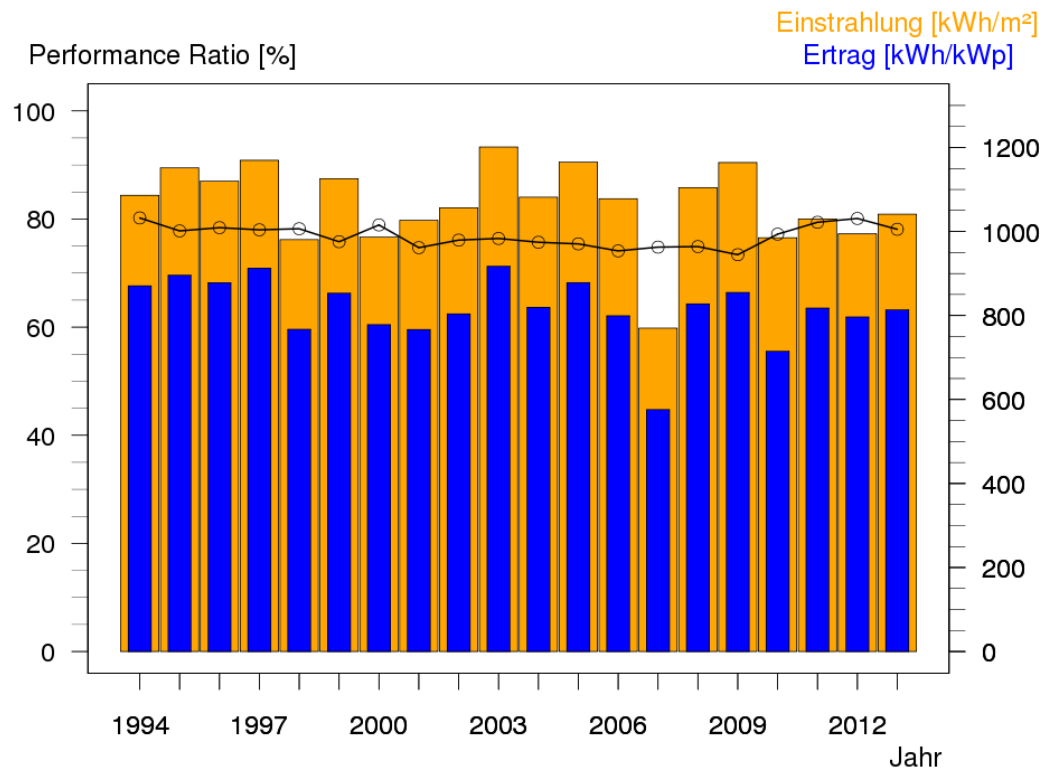
77 % (+/- 2,7 %)

Ereignisse:

2001: Erneuerung Messtechnik

2007: Datenverfügbarkeit 75 %

2009: neuer Wechselrichter



Langzeiterfahrung von Systemen

Anlage in Süddeutschland mit 15 Jahren Betriebszeit

Leistung: 50 kWp

Baujahr: 1999

Standort: 76185 Karlsruhe

Ausrichtung: +10 Grad Süd

Dachneigung: 30 Grad



Langzeiterfahrung von Systemen

Anlage in Süddeutschland mit 15 Jahren Betriebszeit

Einstrahlung

1250 kWh/m² (+/- 5,1 %)

Ertrag

1000 kWh/kWp (+/- 6,3 %)

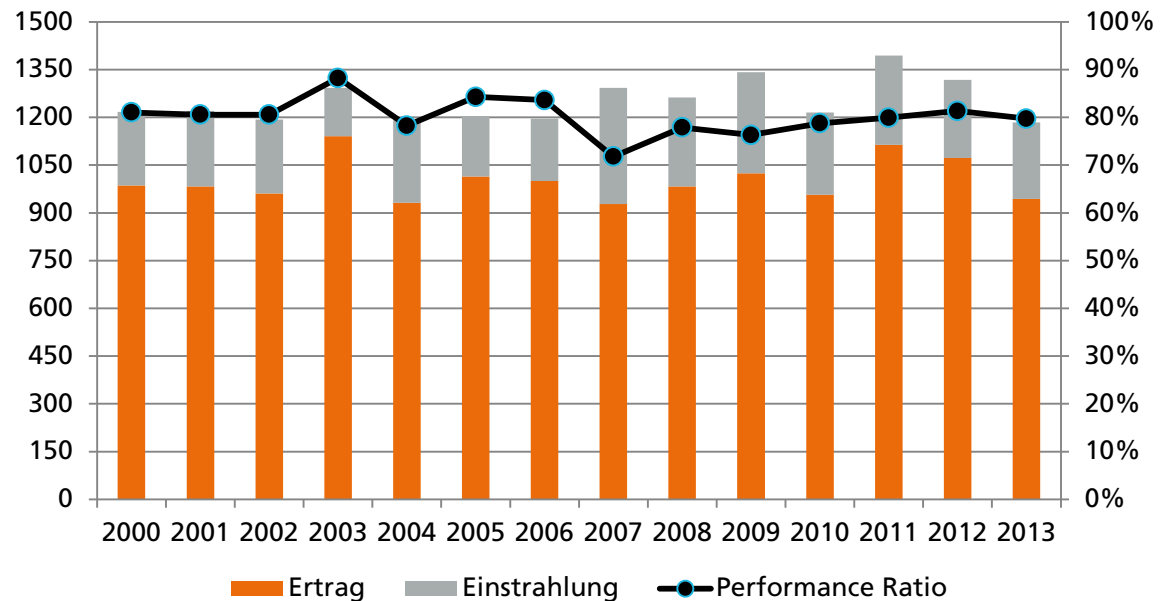
Performance Ratio

80 % (+/- 4,6 %)

Ereignisse:

2007: Erneuerung Messtechnik

2013: Austausch Wechselrichter



Qualitätssicherung PV-Module und Kraftwerke

Fraunhofer ISE Qualitätszirkel



- **Ertragsgutachten**
Exakte Ertragsprognosen für PV-Kraftwerke
- **Modulcharakterisierung**
Hochpräzise Leistungsmessung und Modulklassifizierung
- **Anlagenprüfung**
Umfangreiche Vor-Ort-Analyse des gesamten PV-Kraftwerkes
- **Performance Ermittlung**
Soll/IST Vergleich realer Betrieb mit Prognose

Beispiel für Nutzung Freifläche

PV Kraftwerk Templin, Deutschland

- 128 MWp Leistung
- 34.000 Vier-Personen-Haushalte (Würzburg)
- Fläche entspricht 288 mal Mercedes Benz Arena
- Mehr als 1,5 Millionen Module
- 115 Wechselrichter mit einem Megawatt Leistung
- Investition von 250 Millionen Euro



Bild © Commerzreal: PV Kraftwerk mit 128 MW in Templin

Qualitätssicherung

Ertragsgutachten für Einzelstandorte

- Örtliches Strahlungsangebot
- Planungsunterlagen
 - Ausrichtung und Neigung Solargenerator
 - örtliche Verschattungen des Solargenerators
 - Datenblattangabe der Hersteller
 - Systemauslegung



Bild © Pohlen-Solar: PV Kraftwerk mit 1500 KWp in Altenstadt

Qualitätssicherung

Ertragsgutachten für Einzelstandorte

Umfassende Ertragssimulation und -Prognose über alle Gewinn- und Verlustschritte in einer PV-Anlage – einschließlich der Unsicherheiten



Calculation step	Uncertainty*	Value	Unit	Gain/Loss**	PR***
Irradiation global horizontal	5.0%	1550	kWh/m ²		
Irradiation on tilted surface	2.5%	1821	kWh/m ²	17.5%	100.0%
Shading					
<i>External Shading</i>	0.5%	1803	kWh/m ²	-1.0%	99.0%
<i>Internal Shading</i>	2.0%	1765	kWh/m ²	-2.1%	96.9%
Soiling	1.0%	1739	kWh/m ²	-1.5%	95.5%
Reflection losses	0.5%	1695	kWh/m ²	-2.5%	93.1%
Deviation from STC operation of modules					
<i>Spectral losses</i>	1.0%	1661	kWh/kWp	-2.0%	91.2%
<i>Irradiation-dependent losses</i>	1.0%	1682	kWh/kWp	1.3%	92.4%
<i>Temperature-dependent losses</i>	1.0%	1634	kWh/kWp	-2.9%	89.7%
Interconnection losses (mismatch)	0.5%	1602	kWh/kWp	-2.0%	88.0%
Cabling losses	0.5%	1579	kWh/kWp	-1.4%	86.7%
Inverter losses	1.5%	1538	kWh/kWp	-2.6%	84.5%
Power limitation of inverter	0.5%	1538	kWh/kWp	0.0%	84.5%
Transformer	0.0%	1538	kWh/kWp	0.0%	84.5%
Total	6.5%	1538	kWh/kWp		84.5%

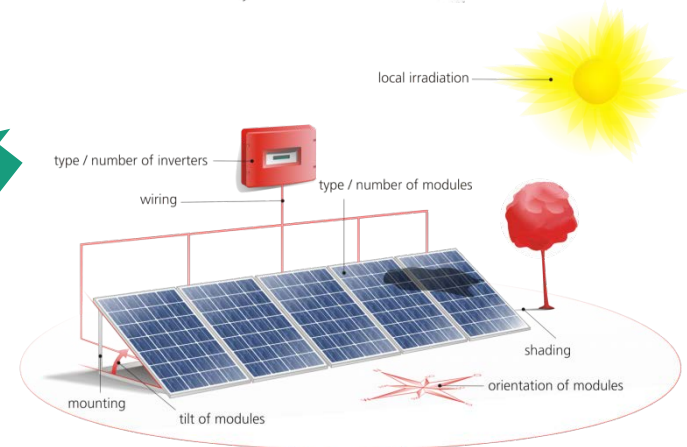
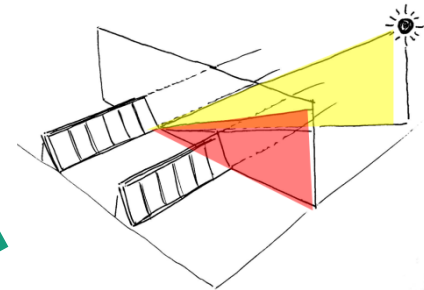
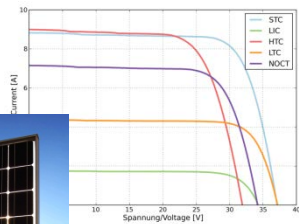
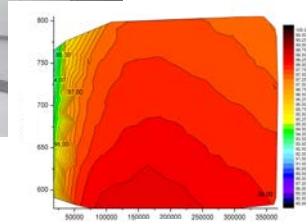
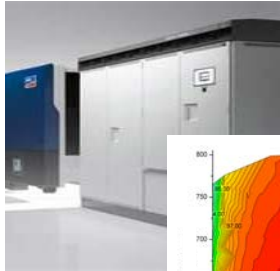
* Uncertainties are related to single standard deviation

** Gain/Los : energetic Gain / Loss according to the step of calculation of the simulation

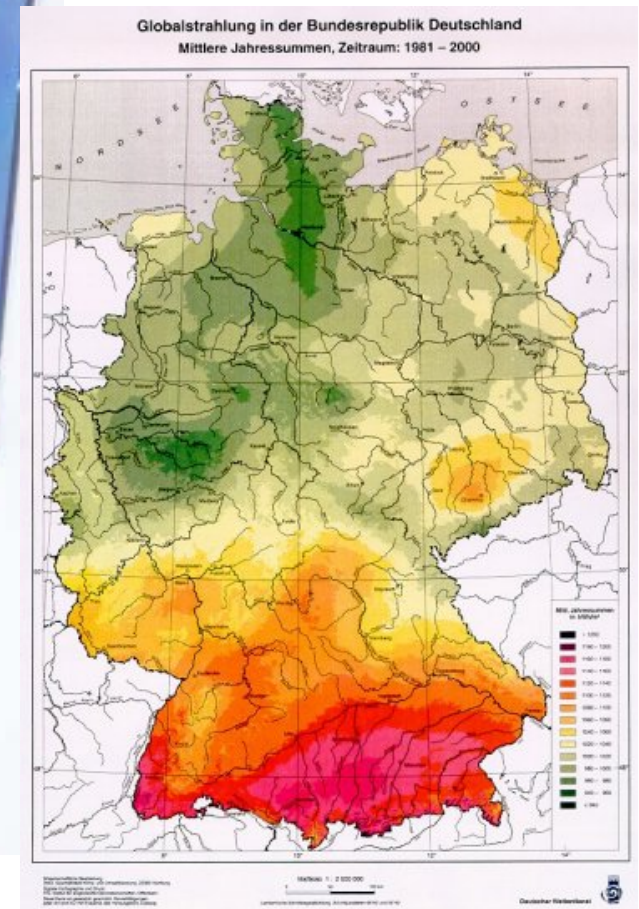
*** PR: Performance Ratio

Qualitätssicherung

Einflussfaktoren auf den Ertrag



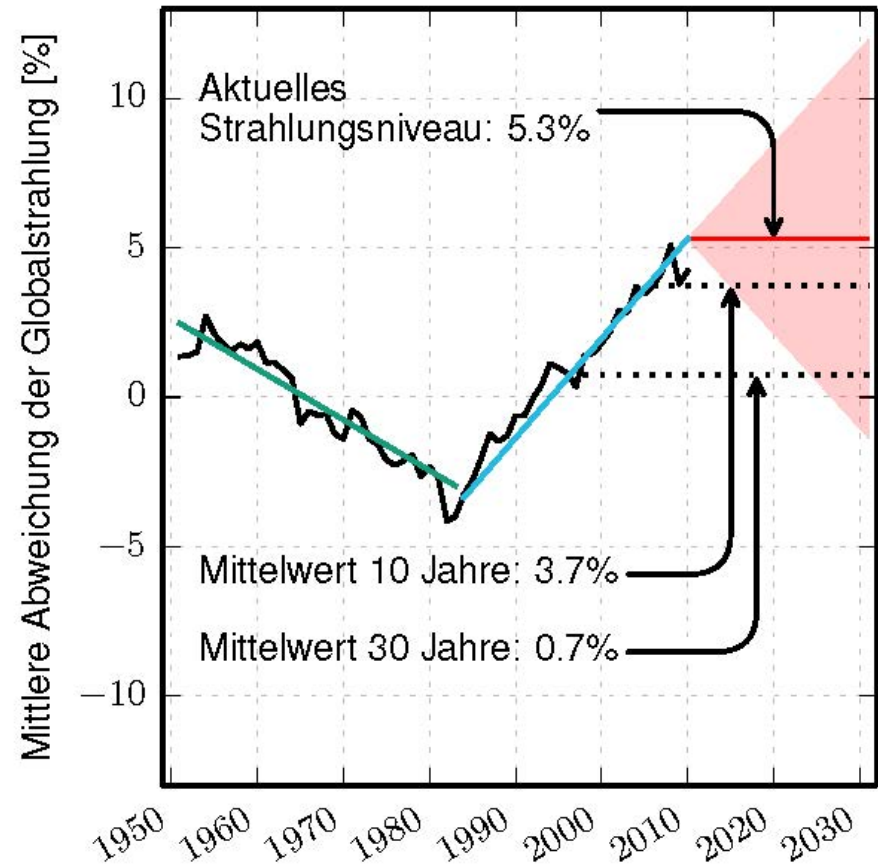
Ertragsprognosen Einstrahlungsdaten



Ertragsprognosen

Aktueller Trend bei der solaren Einstrahlung

- Solarstrahlung in Deutschland derzeit etwa 5% über langjährigem Mittel
- Verwendung „alter“ Strahlungsdaten führt zu Unterschätzung der Potentiale
- Ähnliche Schwankungen in vielen Regionen der Welt



Müller et. al: Rethinking solar resource assessments in the context of global dimming and brightening. Solar Energy 99 (2014)

Maximale Erträge von PV Kraftwerken

Prognose: PV Kraftwerk für Standort Donaueschingen

Einstrahlung (letzten 10 Jahre)

1330 kWh/m²

Performance Ratio (Anfangswert)

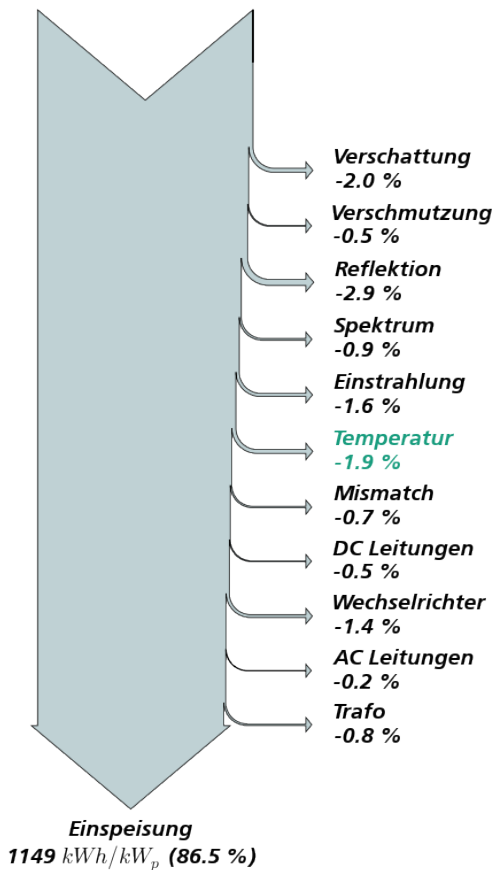
87 %

Maximaler Ertrag (Anfangswert)

1150 kWh/kWp

Stuttgart: Einstrahlung in Modulebene

1328 kWh/m² (100.0 %)



Qualität von PV Modulen

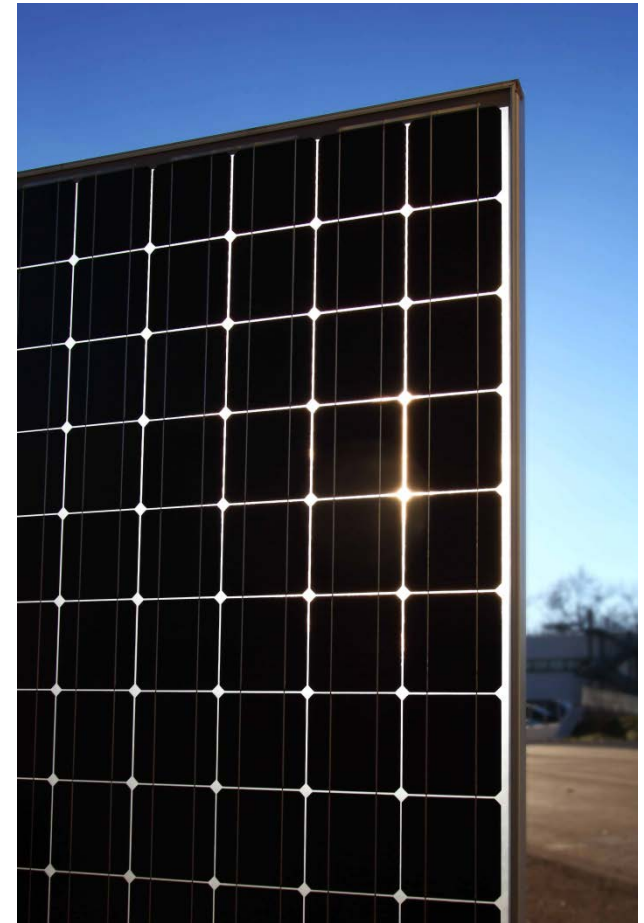
Bewertungskriterien und Benchmarking

■ Bewertungskriterien

- Leistung und Ertrag
- Verarbeitung
- Zuverlässigkeit und Lebensdauer
- elektrische Sicherheit

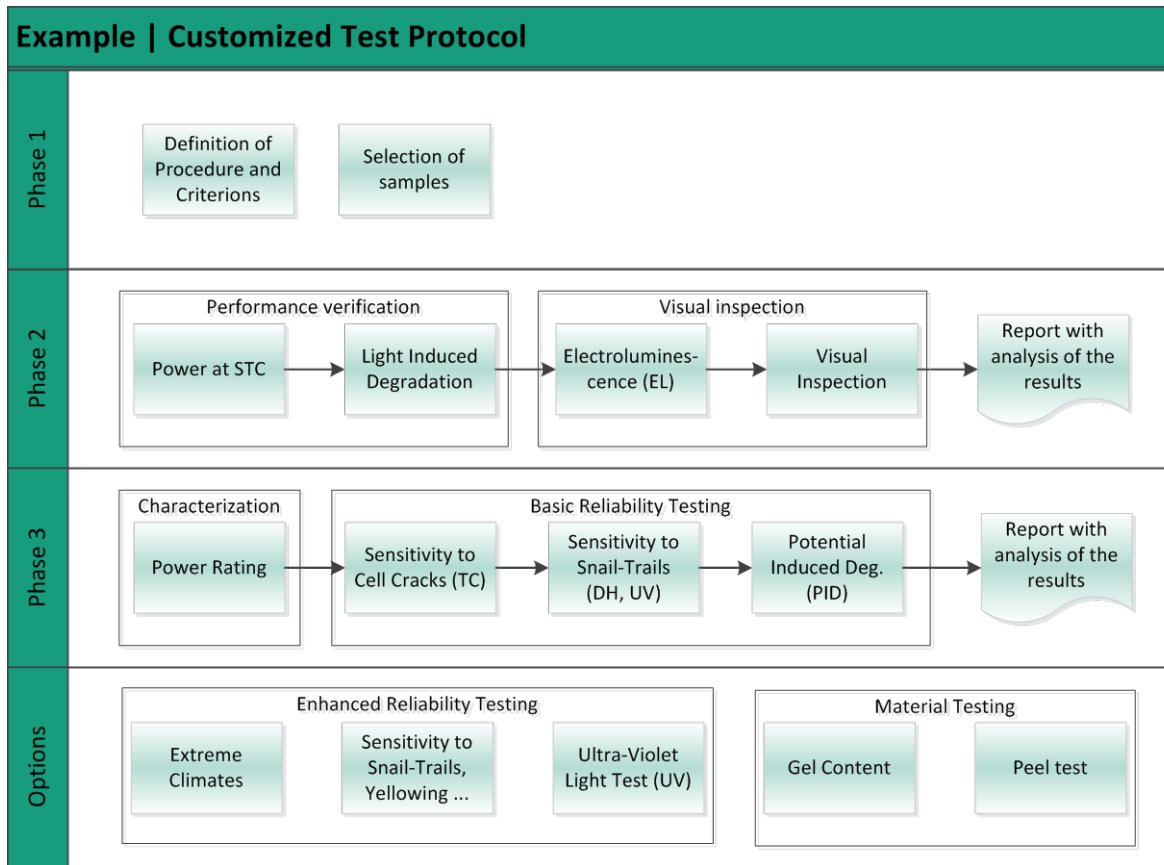
■ Benchmarking

- Vergleich mit dem Stand der Technik
- Vergleich mit Kundenanforderungen
- Vergleich mit anderen Herstellern



Qualitätsbenchmarking

Das Verfahren



Definition der Kriterien,
Auswahl der Module

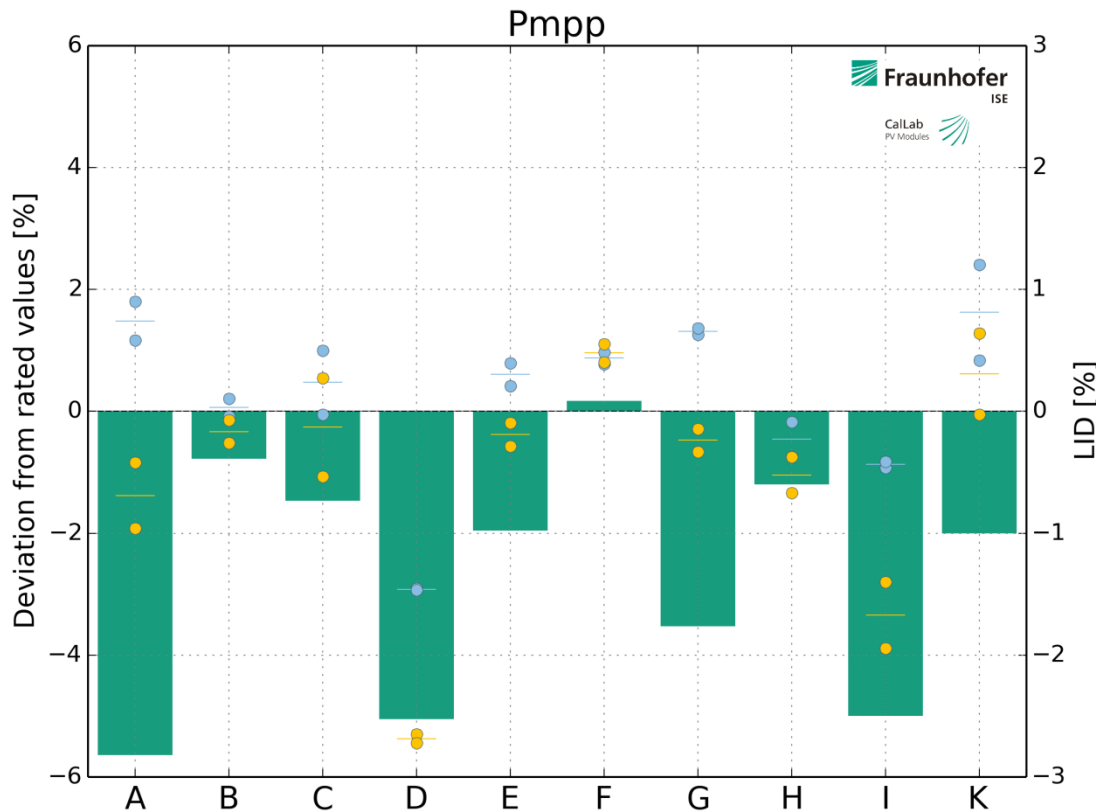
Performance und
Verarbeitung

Power Rating und
Zuverlässigkeit

ergänzende Prüfungen

Qualitätsbenchmarking

Leistungsermittlung nach Erstdegradation (LID)



Überprüfung der Anfangsdegradation (LID)

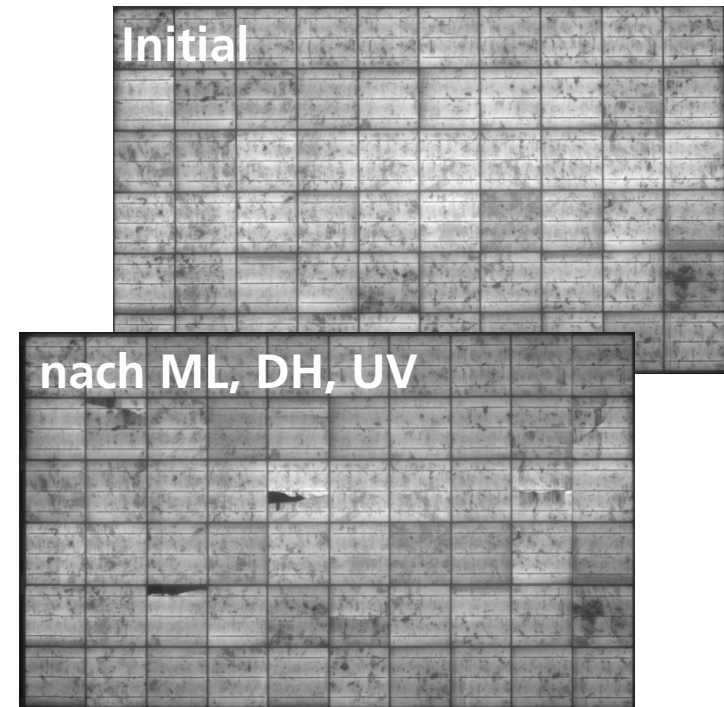
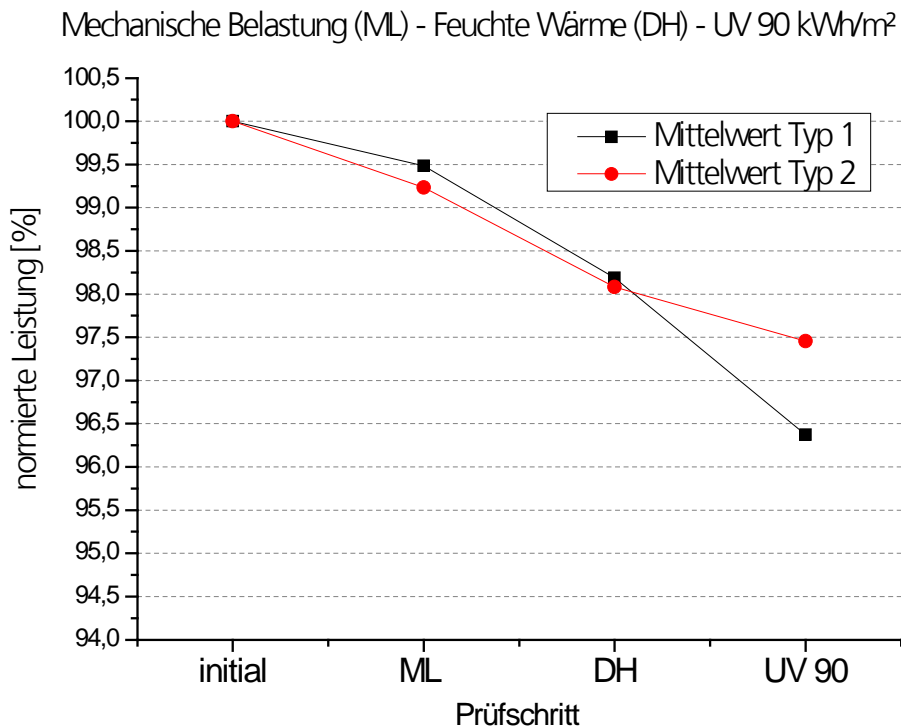
Stichprobe: 2 Module pro Typ

- Werte vor LID
- Werte nach LID
- Anfangsdegradation (LID) (y-Achse rechts)

Qualitätsbenchmarking

Kundenspezifische Alterungstests mit erhöhten Standards

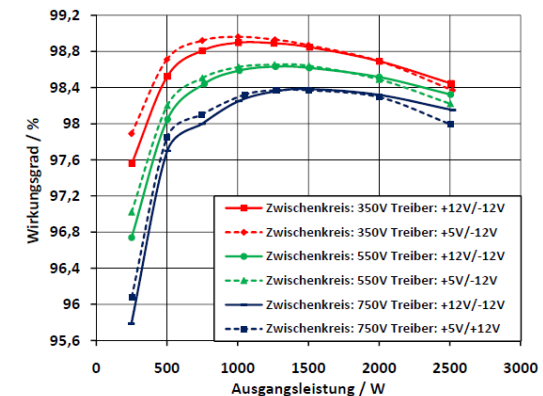
- ML: 5400 Pascal, DH: 85 Grad und 85 % LF, UV: 6 mal Normdosis
- Module durchlaufen hintereinander alle Tests



EL images initial (1) and after test procedure (2) for type 1

Qualitätsanforderungen Wechselrichter

- Jahreswirkungsgrad (> 98 %)
- Zuverlässigkeit (> 99 %)
- Lebensdauer
- Einhaltung der Normen
- Optimale Auslegung
- Software zur Betriebsüberwachung



Qualitätssicherung nach Inbetriebnahme

Anlagenprüfung

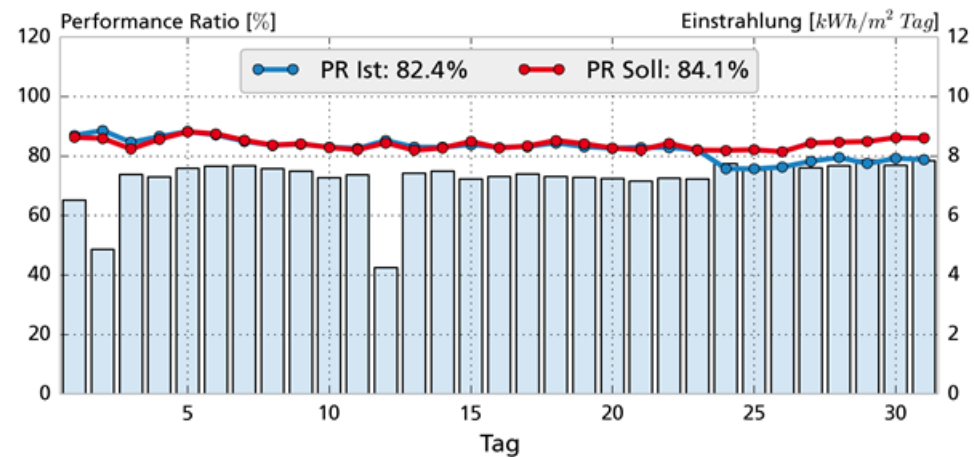
- Visuelle Überprüfung des Gesamtssystems
- Übereinstimmung von Planung und Realisierung
- Thermographie Bilder vom gesamten Solargenerator
- Leistungsmessung beim Solargenerator
- Ermittlung der Performance Ratio (Anlagenwirkungsgrad)



Performance-Bewertung

Soll/IST Vergleich

- Präzise Bewertung der Anlagenperformance im laufenden Betrieb
- Validierung des anlageneigenen Monitoringsystems mit hochgenauer mobiler Messtechnik



Maximale Erträge von PV Kraftwerken

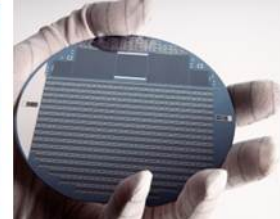
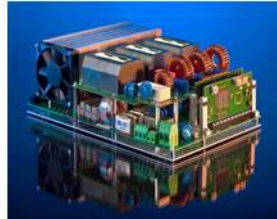
Zusammenfassung



- Geeigneter Standort mit wenig Verschattung
- Hochwertige und hocheffiziente Komponenten
- Optimale Auslegung und hochwertige Ausführung des Gesamtsystems
- Zuverlässige Anlagenüberwachung mit guter Fehlererkennung
- Verlässliche und schnelle Fehlerbehebung
- Effizientes Wartungskonzept
- Durchgehende und effiziente Qualitätssicherung
- Zuverlässige und erfahrene Partner

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fotos © Fraunhofer ISE



Fraunhofer-Institut für Solar Energie Systems ISE

Klaus Kiefer

www.ise.fraunhofer.de

klaus.kiefer@ise.fraunhofer.de