

---

# 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](http://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**

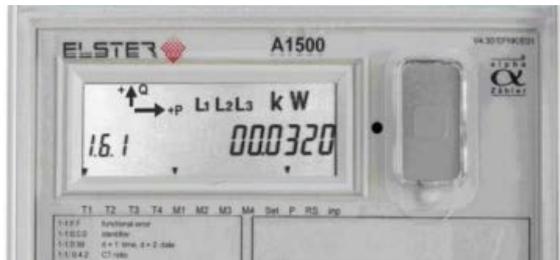


# Stromgestehungskosten und Performance Ratio sind die entscheidenden Bewertungskriterien

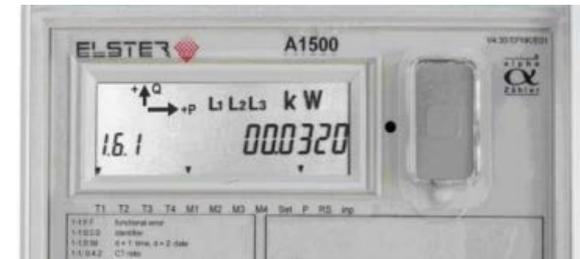
## Levelized Costs of Energy



LCOE :



## Performance Ratio



PR :

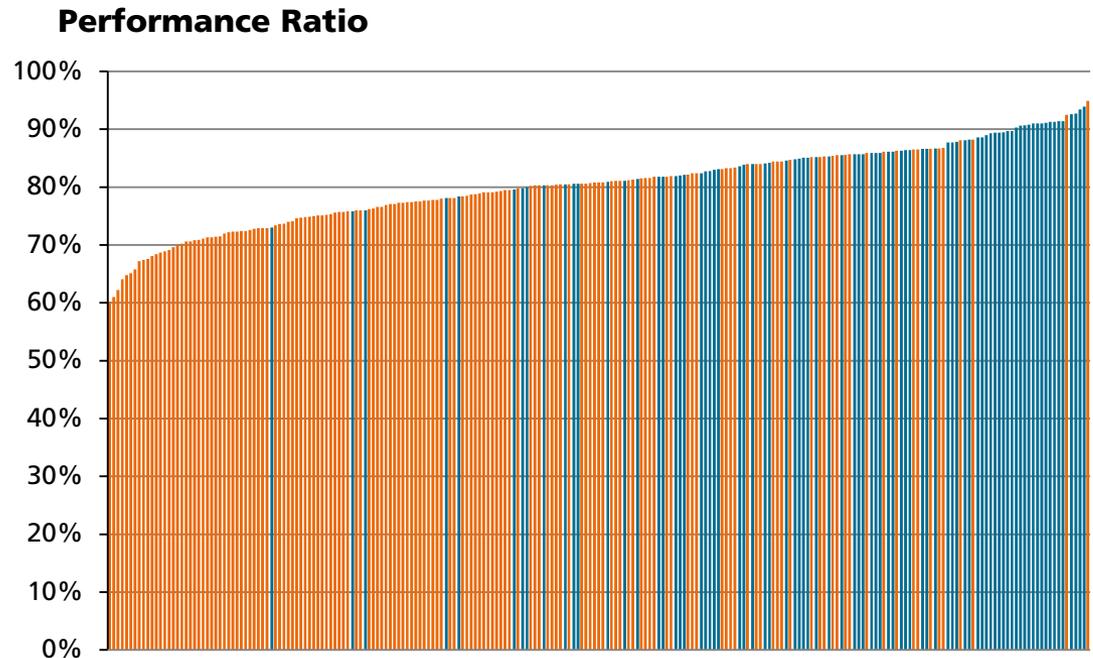


# Performance Ratio von PV Kraftwerken

## Benchmarking für das Jahr 2013

Gemessene Jahreswerte  
von etwa 300 Anlagen

Blaue Balken sind neuere  
Anlagen mit durchgehender  
Qualitätssicherung

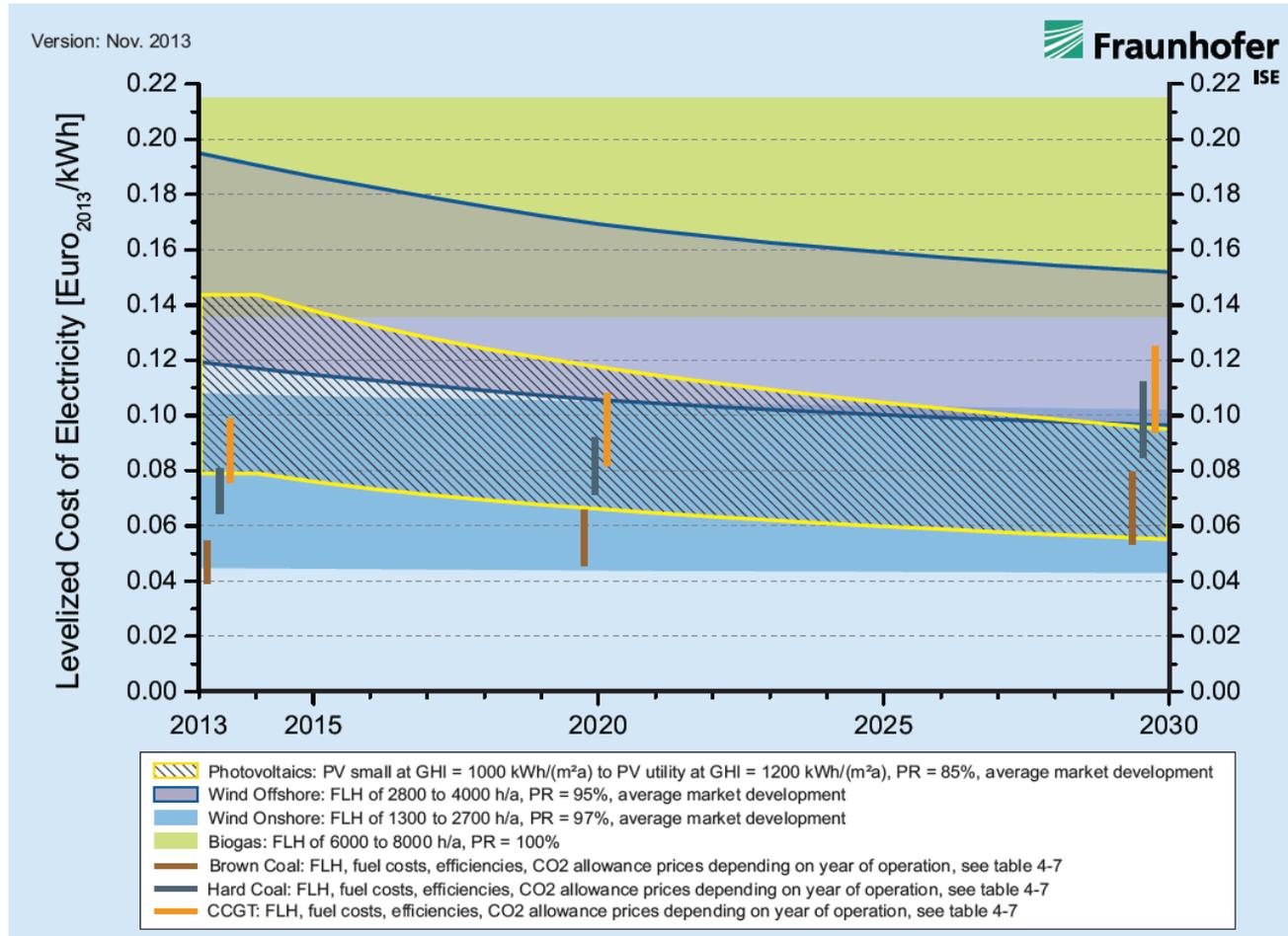


**Sehr gute Anlagen erreichen Werte um die 90 %**

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

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

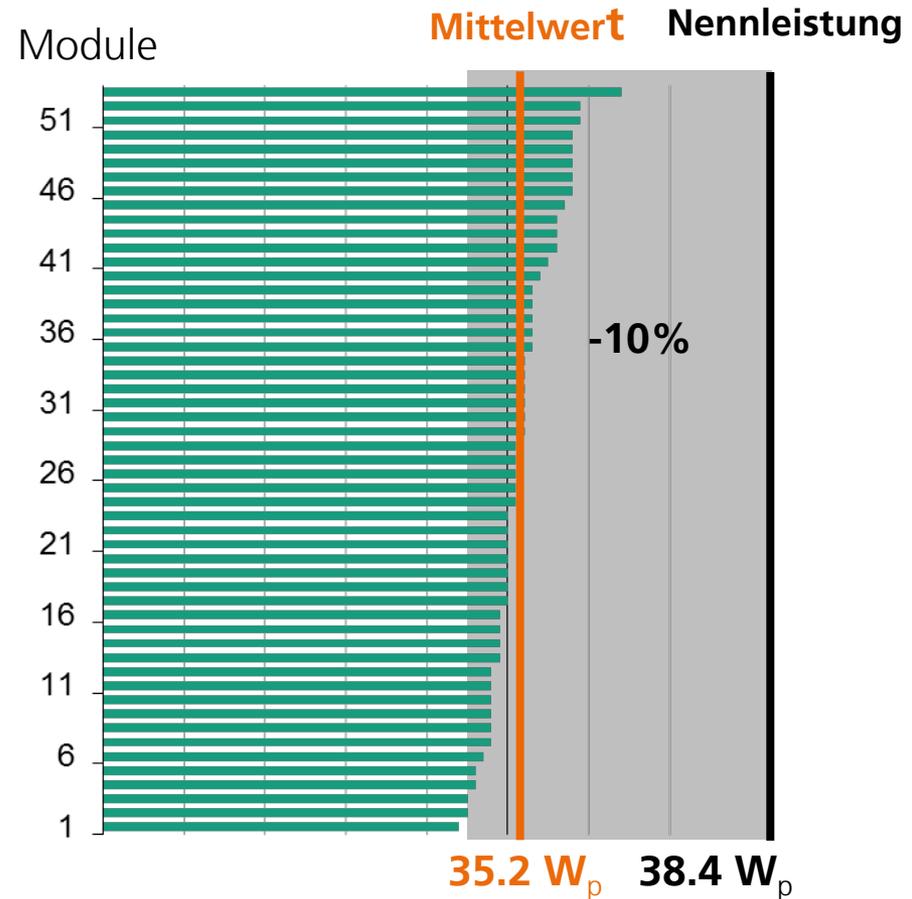
**quality sensitive**

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
$\eta_{STC}$	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/m<sup>2</sup> (+/-13 %)

### Ertrag

810 kWh/kWp (+/-13 %)

### Performance Ratio

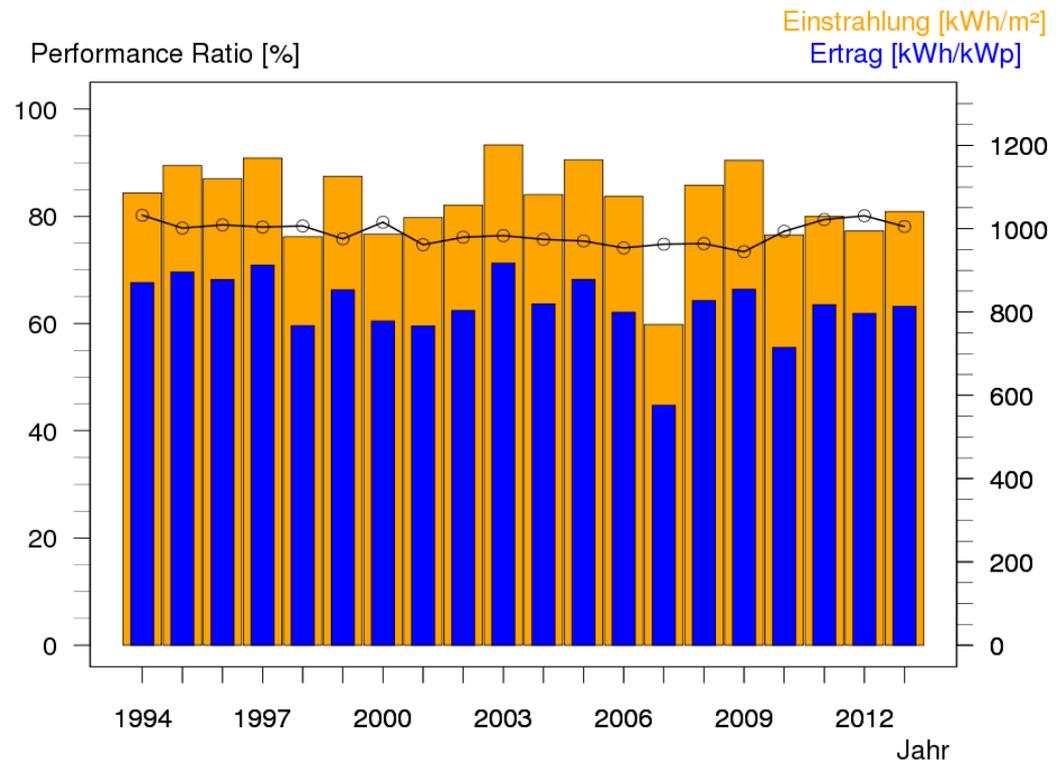
77 % (+/- 2,7 %)

### 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/m<sup>2</sup> (+/- 5,1 %)

### Ertrag

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

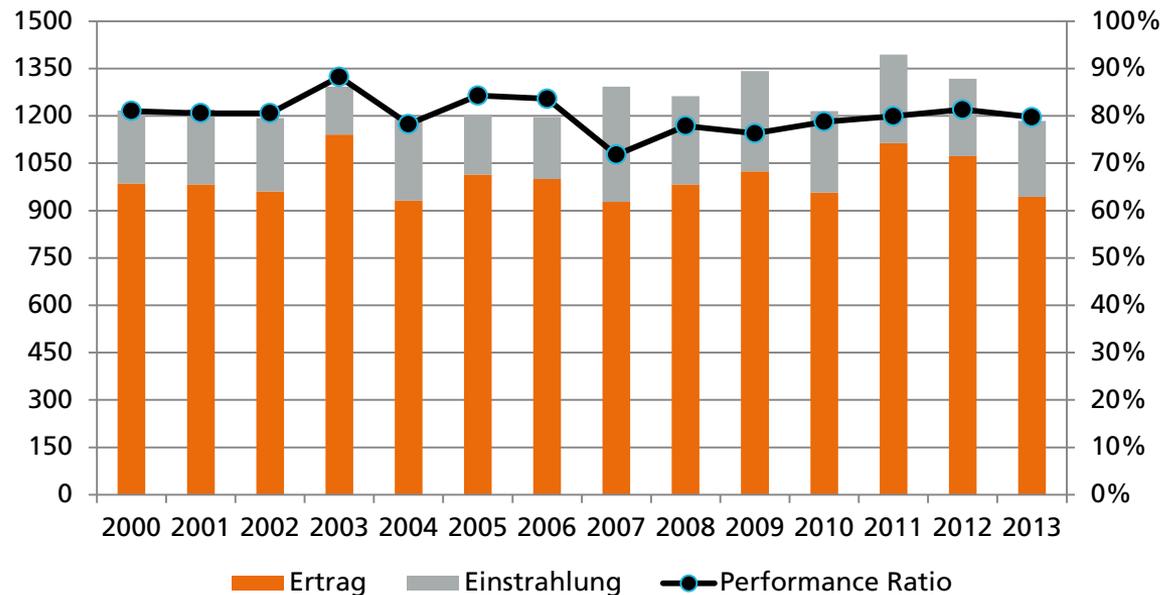
### Performance Ratio

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

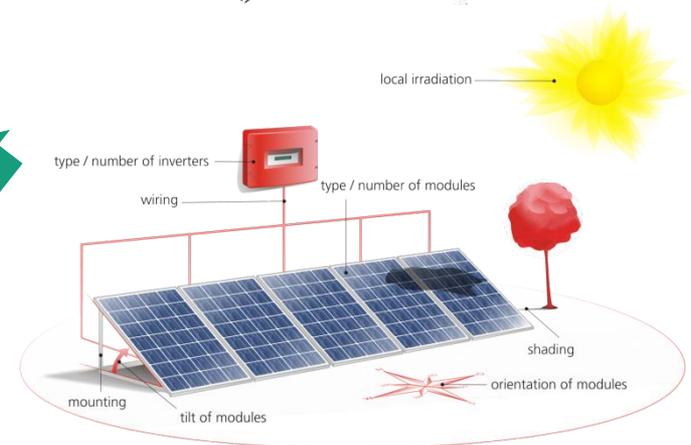
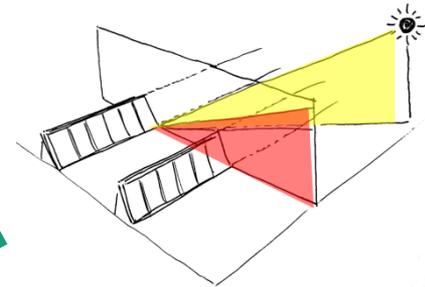
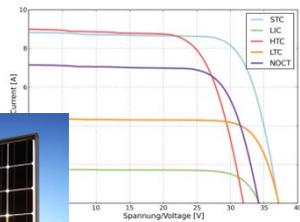
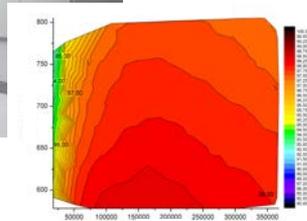


Bild © Pohlen-Solar: PV Kraftwerk mit 1500 KWp in Altenstadt

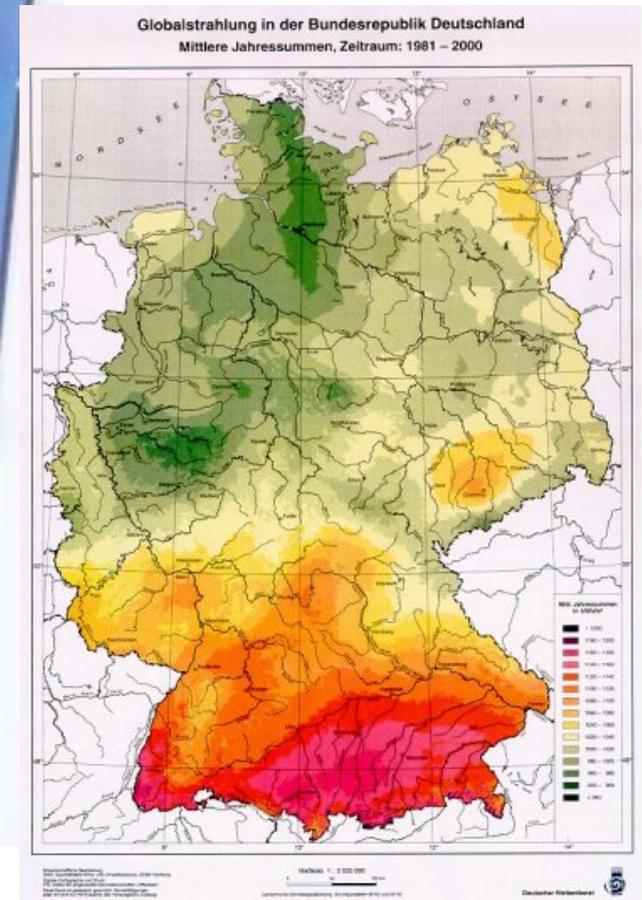


# Qualitätssicherung

## Einflussfaktoren auf den Ertrag



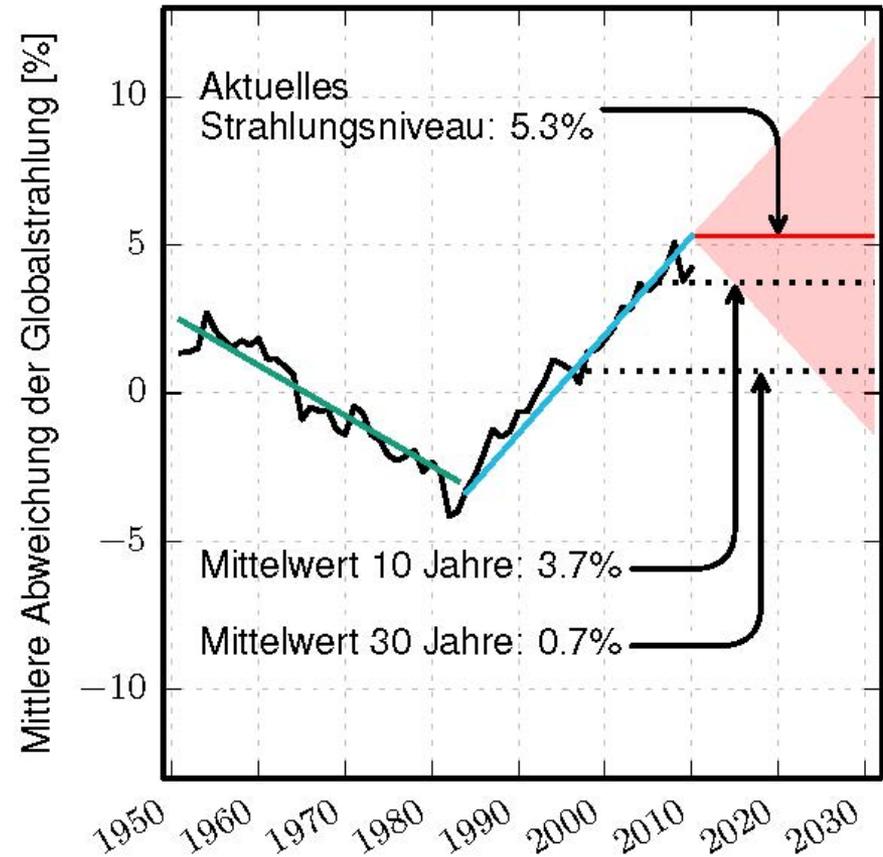
# Ertragsprognosen Einstrahlungsdaten



# 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/m<sup>2</sup>

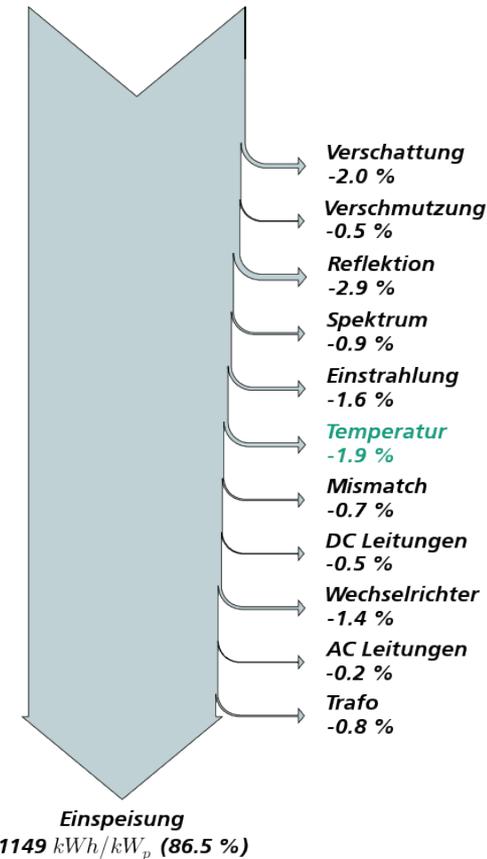
### Performance Ratio (Anfangswert)

87 %

### Maximaler Ertrag (Anfangswert)

1150 kWh/kWp

Stuttgart: Einstrahlung in Modulebene  
1328 kWh/m<sup>2</sup> (100.0 %)



# Qualität von PV Modulen

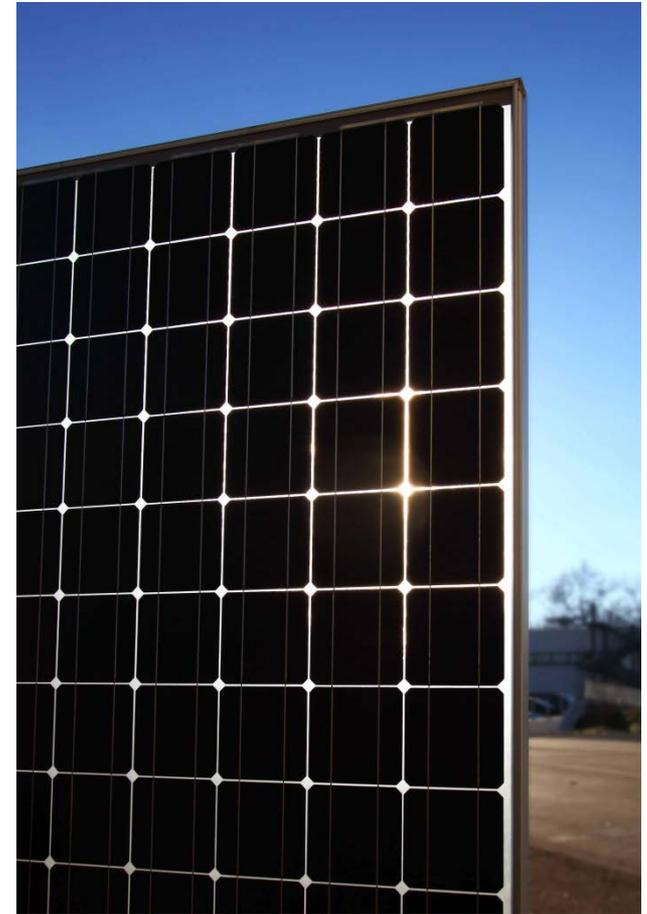
## Bewertungskriterien und Benchmarking

### ■ Bewertungskriterien

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

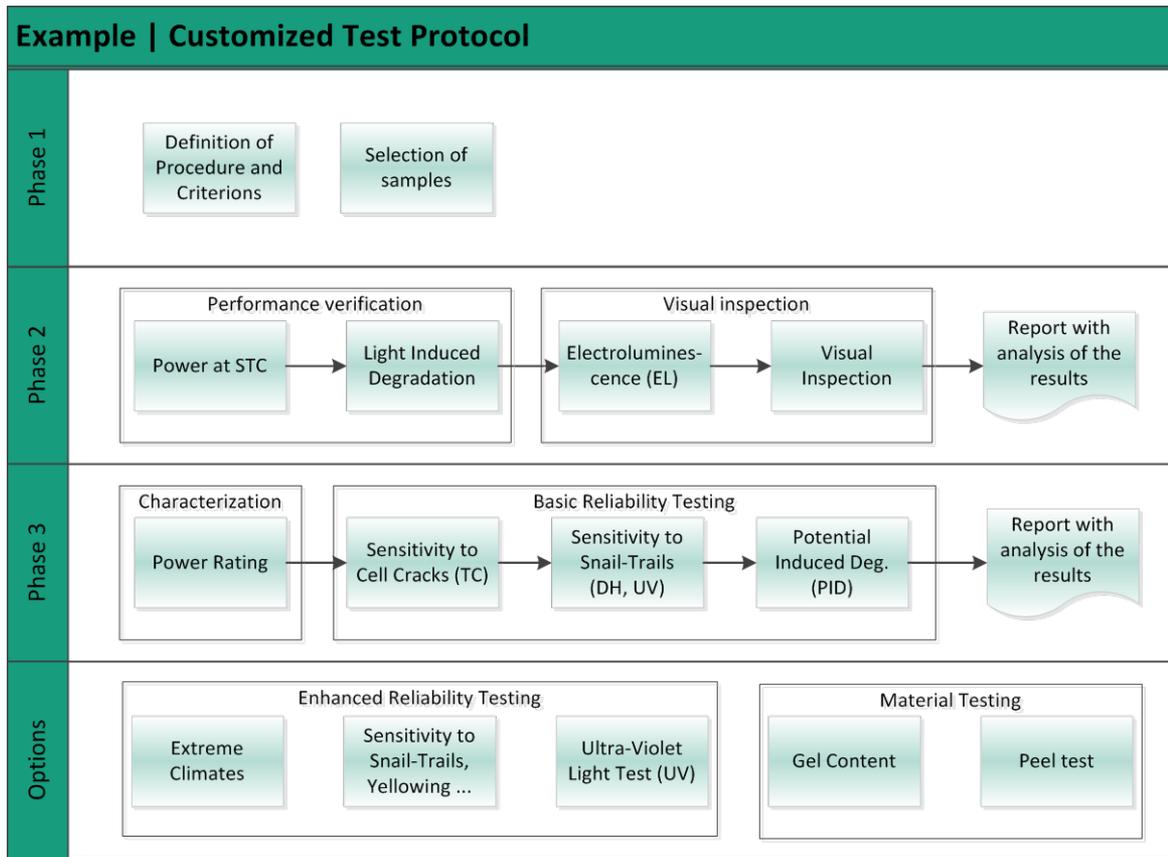
### ■ Benchmarking

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



# Qualitätsbenchmarking

## Das Verfahren



Definition der Kriterien,  
Auswahl der Module

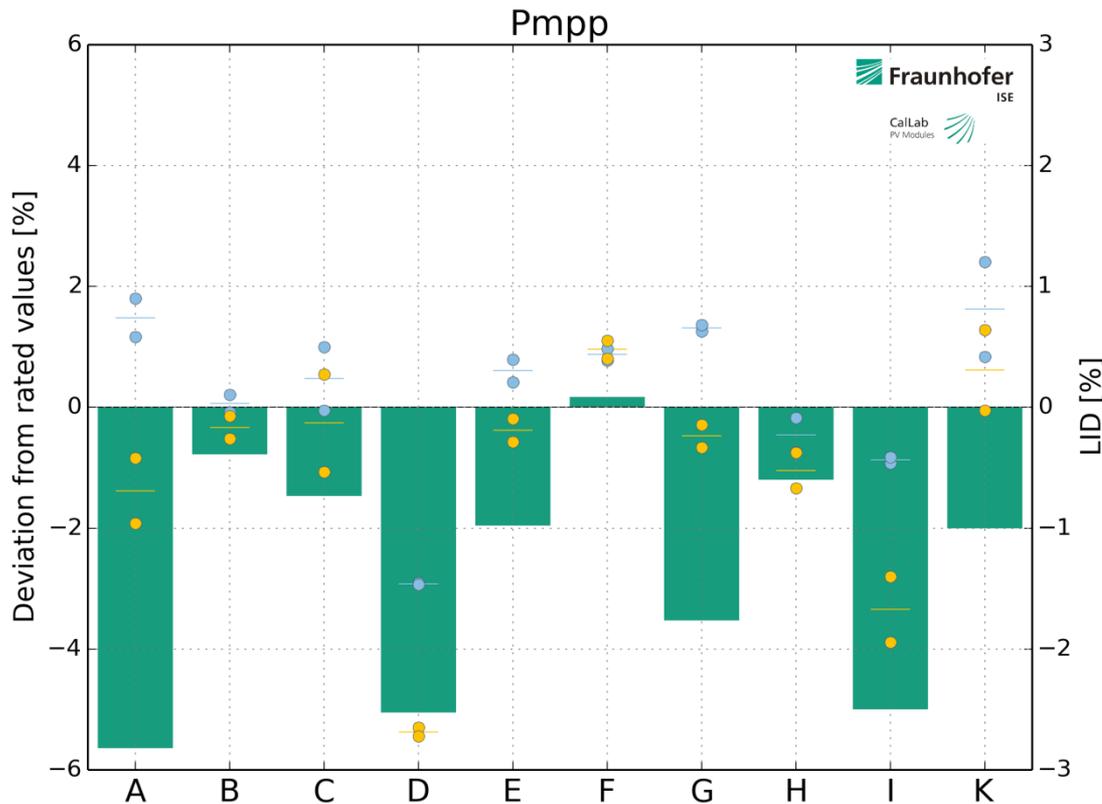
Performance und  
Verarbeitung

Power Rating und  
Zuverlässigkeit

ergänzende Prüfungen

# Qualitätsbenchmarking

## Leistungsermittlung nach Erstdegradation (LID)



### Überprüfung der Anfangsdegradation (LID)

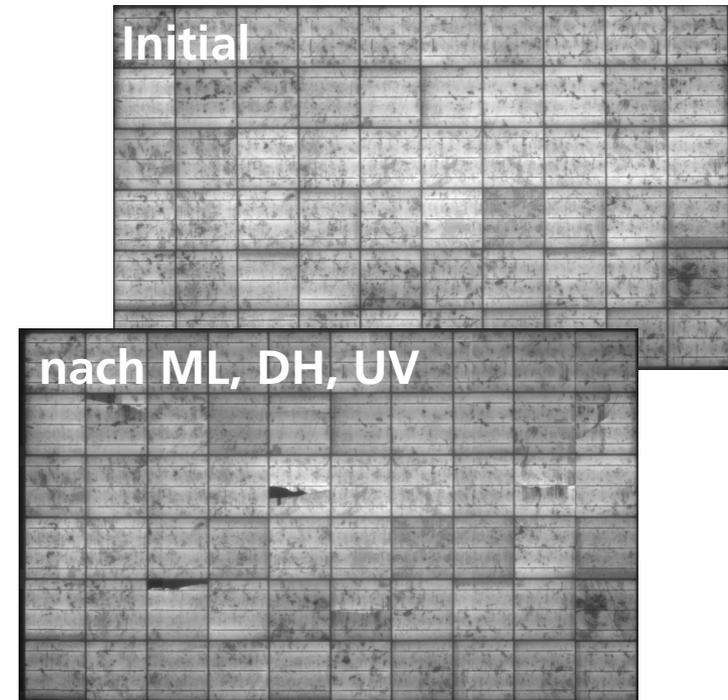
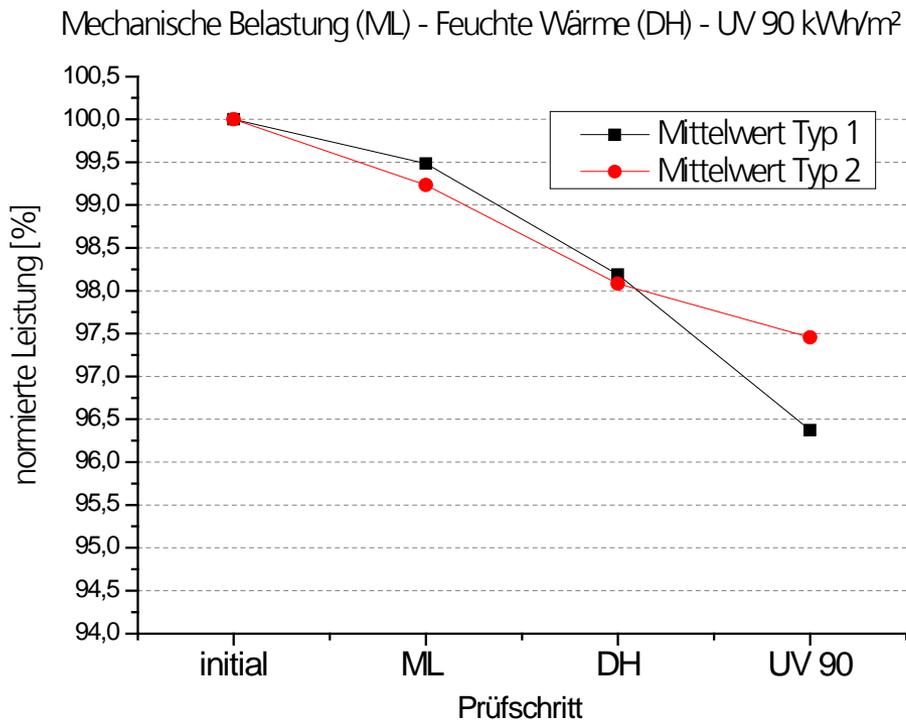
Stichprobe: 2 Module pro Typ

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

# Qualitätsbenchmarking

## Kundenspezifische Alterungstests mit erhöhten Standards

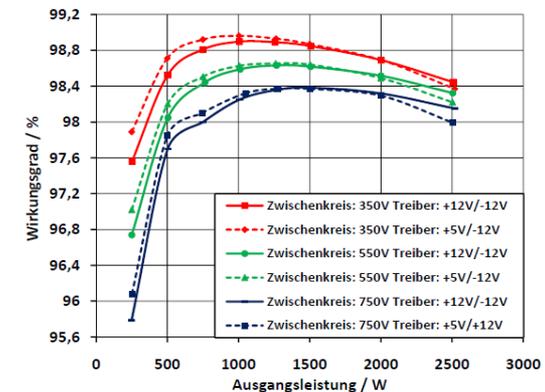
- ML: 5400 Pascal, DH: 85 Grad und 85 % LF, UV: 6 mal Normdosis
- Module durchlaufen hintereinander alle Tests



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

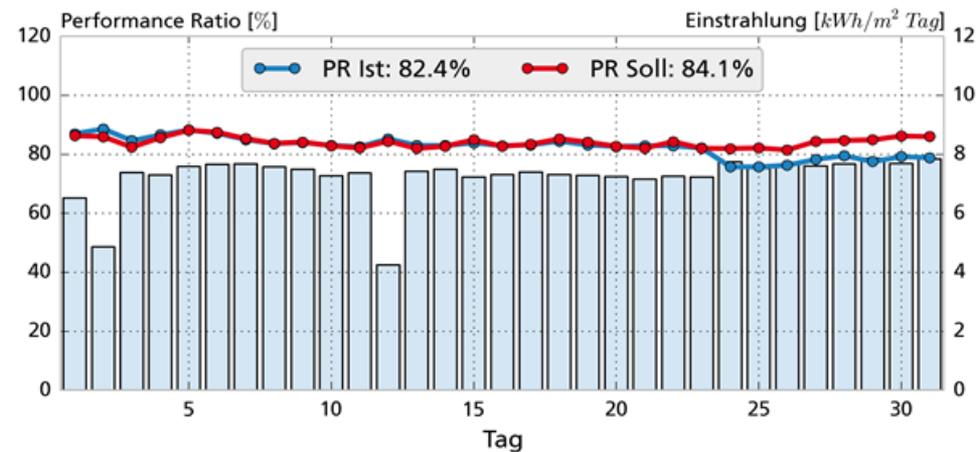
- Visuelle Überprüfung des Gesamtssystems
- Übereinstimmung von Planung und Realisierung
- Thermographie Bilder vom gesamten Solargenerator
- Leistungsmessung beim Solargenerator
- Ermittlung der Performance Ratio (Anlagenwirkungsgrad)



# 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

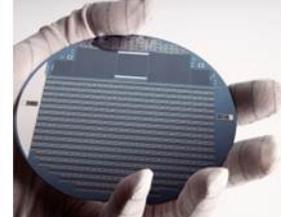
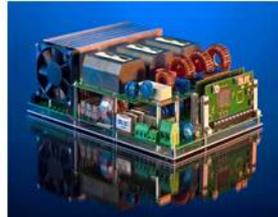
## Zusammenfassung



- 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](http://www.ise.fraunhofer.de)

[klaus.kiefer@ise.fraunhofer.de](mailto:klaus.kiefer@ise.fraunhofer.de)