

# Qualität von PV-Kraftwerken

- Felderfahrungen, Technische Risiken und Reduktionsmaßnahmen -

Willi Vaaßen

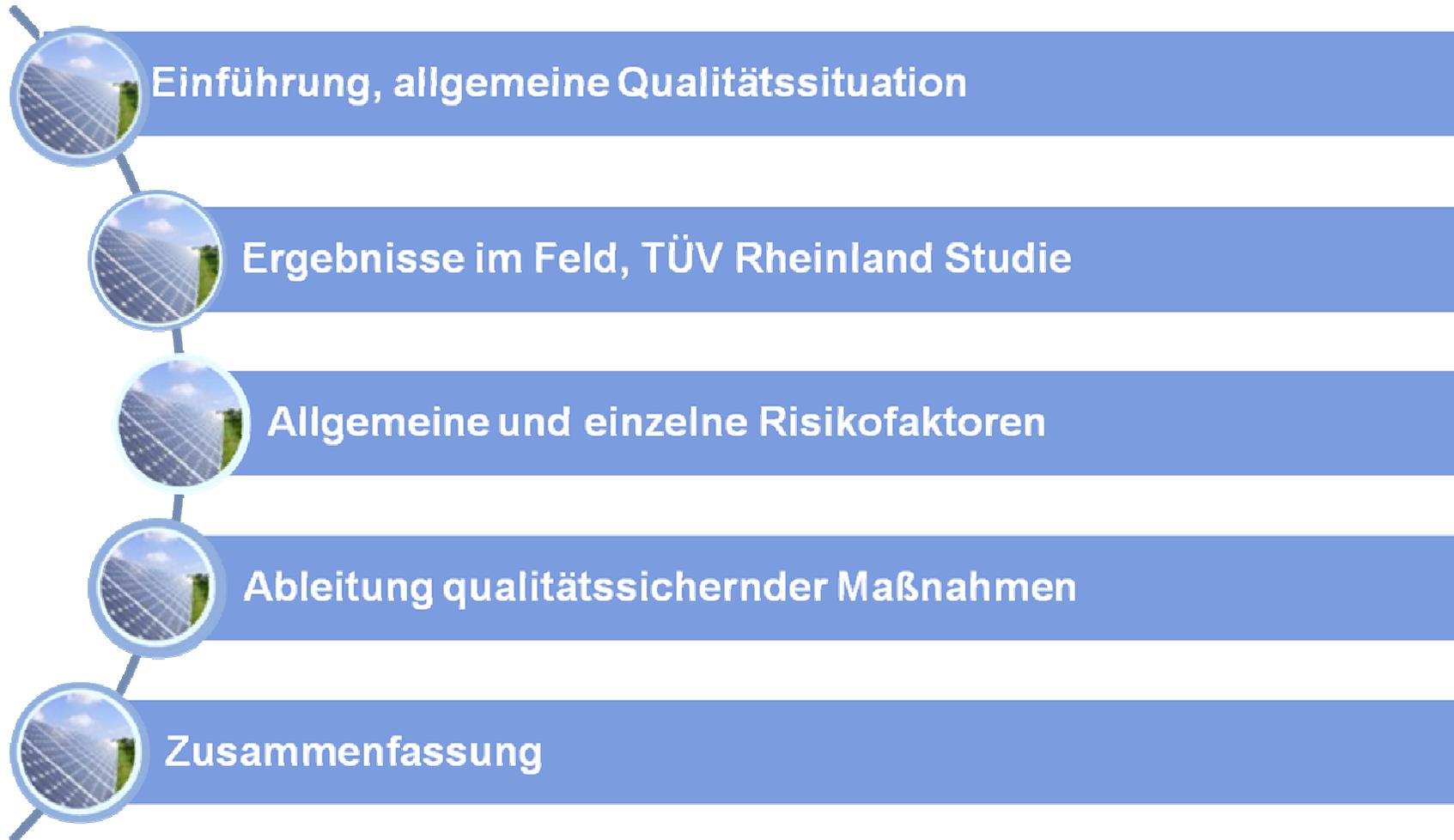
TÜV Rheinland Energy GmbH  
Am Grauen Stein, 51105 Köln, Germany

[vaassen@de.tuv.com](mailto:vaassen@de.tuv.com)

[www.tuv.com/solarenergy](http://www.tuv.com/solarenergy)

+49 221 806 5222

# Inhalt



# TÜV Rheinland, globaler Marktführer mit der Qualifizierung von PV-Anlagen und Zertifizierung von PV-Produkten

△ Mehr als 30 Jahre Erfahrung im Bereich der Photovoltaik am Hauptsitz in Köln

△ Globales Netzwerk mit 200 PV Experten Team von 60 Ingenieuren und Technikern in Köln

△ Mehr als 12 GW inspizierte PV-Anlagen (Europa, Nord Amerika, Süd- und Zentralamerika, Asien und Afrika)

△ Forschung und Entwicklung im Bereich der PV-Anlagenoptimierung und Modulqualifizierung

△ Aktive Teilnahme in den wichtigen Standardisierungsgremien

△ TÜV Rheinland betreibt sieben akkreditierte PV-Labore weltweit (Köln, Bangalore/Indien, Daya/Taiwan, Yokohama/Japan, Shanghai/P.R. China, Tempe/Arizona und Südkorea)



TÜV Rheinland Gesamtzahlen	2014
Umsatz in Mio. €	1,730
- davon Ausland in %	48,4
EBIT in %	7,3
Angestellte	19,300
- davon Ausland in %	59
Mehr als 500 Standorte in 66 Ländern	

# Qualitätsbeschränkende Faktoren

## Allgemeine

- Hoher Wettbewerb, Billigstpreise am Markt etabliert (Schwarze Schafe bestimmen Preisniveau), zunächst kein Raum für Qualitätssicherung
- Viele Firmen noch nicht in der Gewinnzone
- Geringe Margen, keine finanziellen Ressourcen
- Hohe Personalfuktuation, Know How Verlust, gelebte QS?
- Geringe Erfahrungen in neuen Märkten, kein Erfahrungsübertrag
- Auf den Baustellen Subunternehmer, Sub-Subs, keine QS
- Mängelnachweis schwierig (Verursacher / Stichprobe / Einzelnachweis)

## PV- Modul /(fertigungs) spezifische

- Schnelles Wachstum im Gigawattbereich, verschiedene Fertigungsstätten mit unterschiedlichen Qualitäten, hohe Anzahl von Parallelprozessen
- Keine ganzheitliche Qualitätssicherung
- Komplexe Bill of Materials unter einer Typbezeichnung
-  Einsatz ungeeigneter, nicht ausreichend qualifizierter Materialien
- Test- und Zertifizierungsqualität höchst unterschiedlich, Herstellerlabors mit unterschiedlichen Überwachungsniveaus der Zertifizierer,
- Hersteller wählen oft anspruchlosesten Weg zum Markteintritt

# TÜV Rheinland Studie an mehr als 100 PV-Großanlagen, Basis und Ergebnis

## Basis der Studie:

- TÜV Rheinland hat mehr als 12 GW PV Anlagen weltweit inspiziert
- Basis der Studie sind > 100 Anlagen (100 kWp - 30 MWp)  
(Schwerpunktländer : Deutschland, Europa, RoW)
- Zwei Perioden (2012 – 2013 / 2014 - Q1. 2015)

## Kategorisierung:

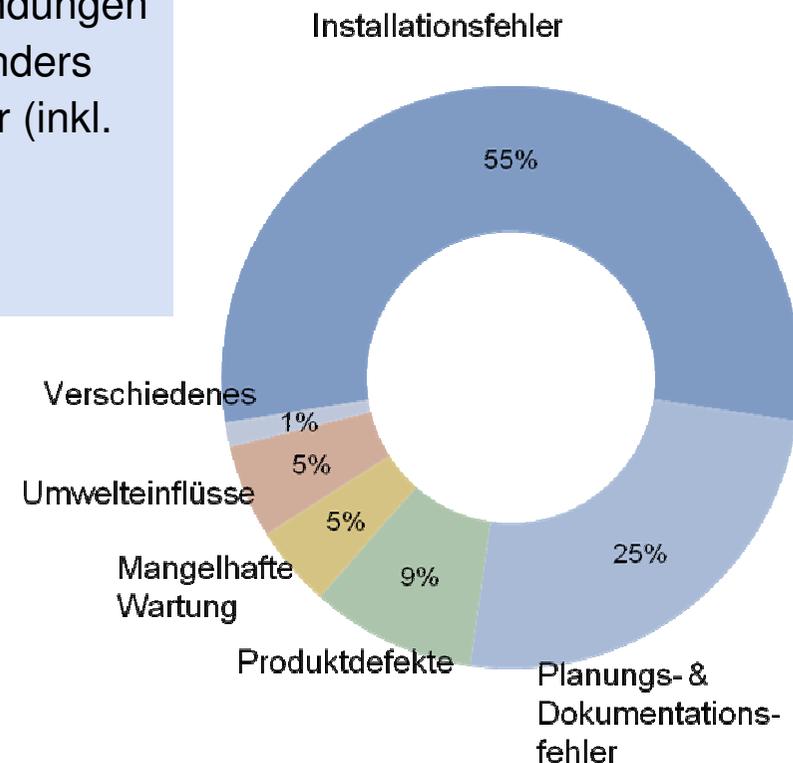
- **Besonders schwerwiegende Defekte**  
Notwendigkeit von unmittelbaren Aktivitäten um die Anlagensicherheit herzustellen oder hohe Verluste zu verhindern
- **Schwerwiegende Defekte**  
Anlagenbetrieb ist möglich. Defekte müssen repariert werden
- **Weniger schwerwiegende Defekte**  
Keine direkte Notwendigkeit zu handeln, eine weitere Beobachtung ist anzuraten

# Gründe der Defekte in PV Großanlagen – TÜV Rheinland Daten 2014/ Q1. 2015

## Wichtige Ergebnisse:

- 70 % der Anlagen ohne wesentliche Beanstandungen
- 30 % der untersuchten Anlagen zeigten besonders schwerwiegende oder schwerwiegende Fehler (inkl. Sicherheitsproblematiken) oder eine extreme Fehlerhäufigkeit
- > 50 % der Fehler waren Installationsfehler

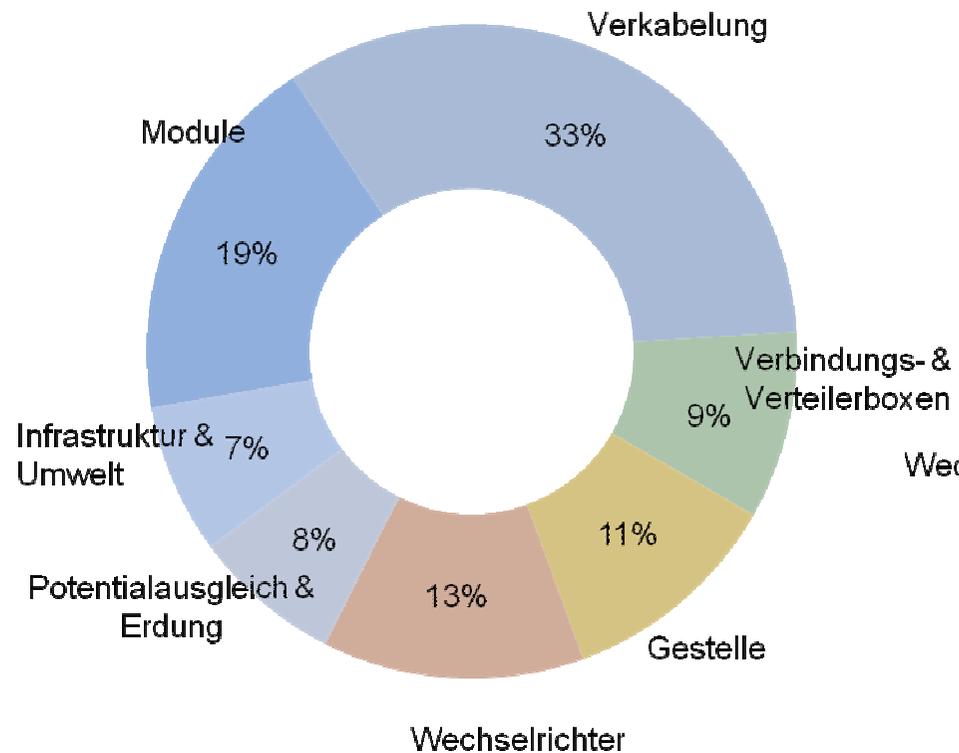
2014/ Q1.2015



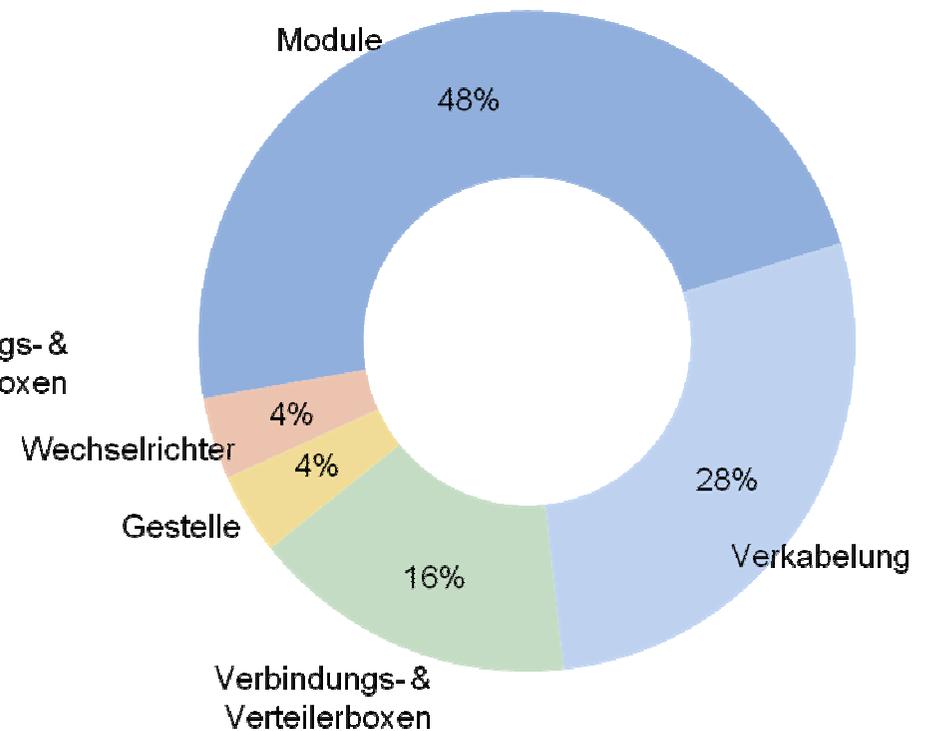
# Besonders schwerwiegende Fehler in PV Großanlagen

Notwendigkeit von unmittelbaren Aktionen um die Anlagensicherheit herzustellen oder hohe Verluste zu verhindern

2012 / 2013



2014 / Q1. 2015



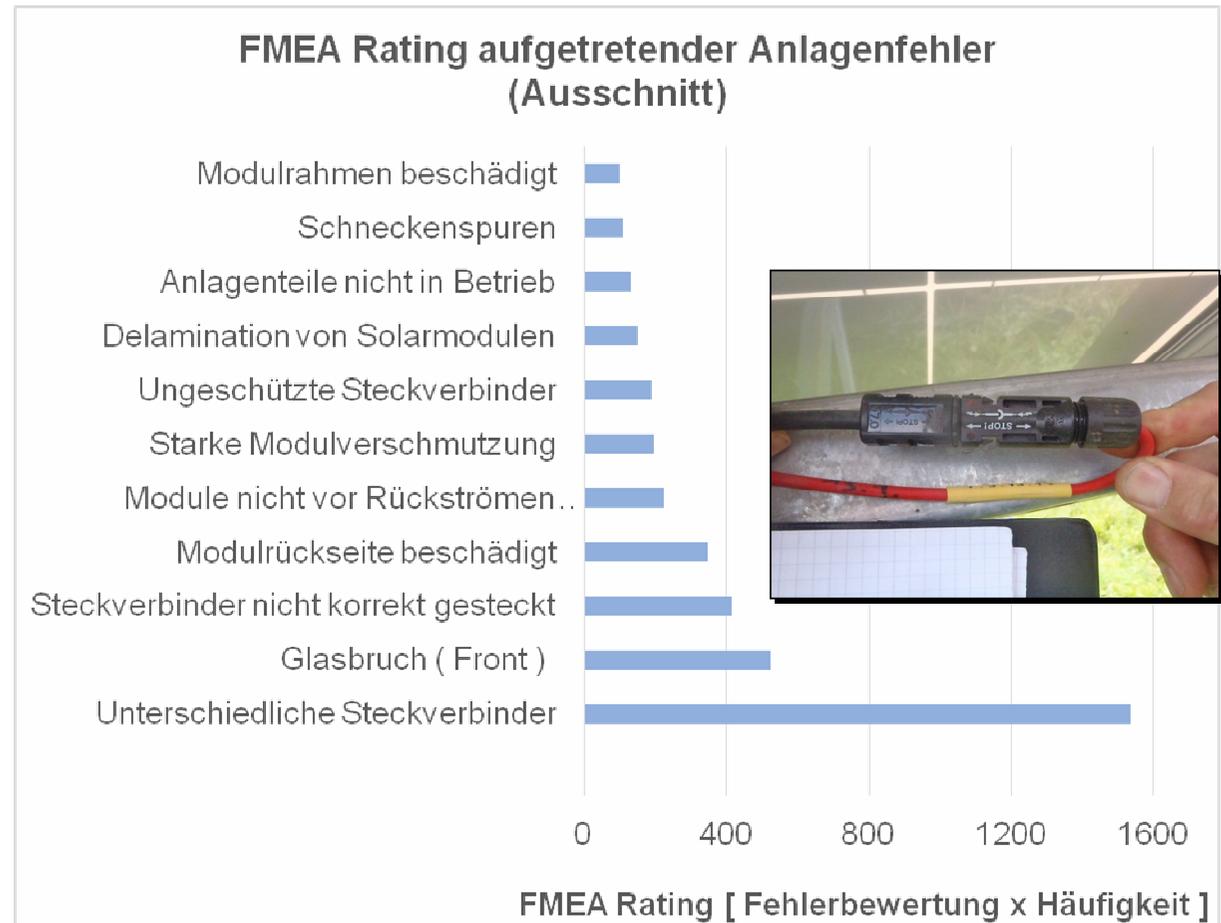
# “FMEA Fehler-Rating” über alle ausgewerteten Anlagen (>100)

FMEA (Failure mode and effects analysis)

Fehler Rating = Fehlerbewertung x Fehlerhäufigkeit

Bewertung	Gewichtung
Feststellung	1
Einfach	3
Bedeutend	7
Schwerwiegend	10

Fehlerhäufigkeit	Gewichtung
Einzel	1
Sporadisch	3
Häufig	5
Generell	10



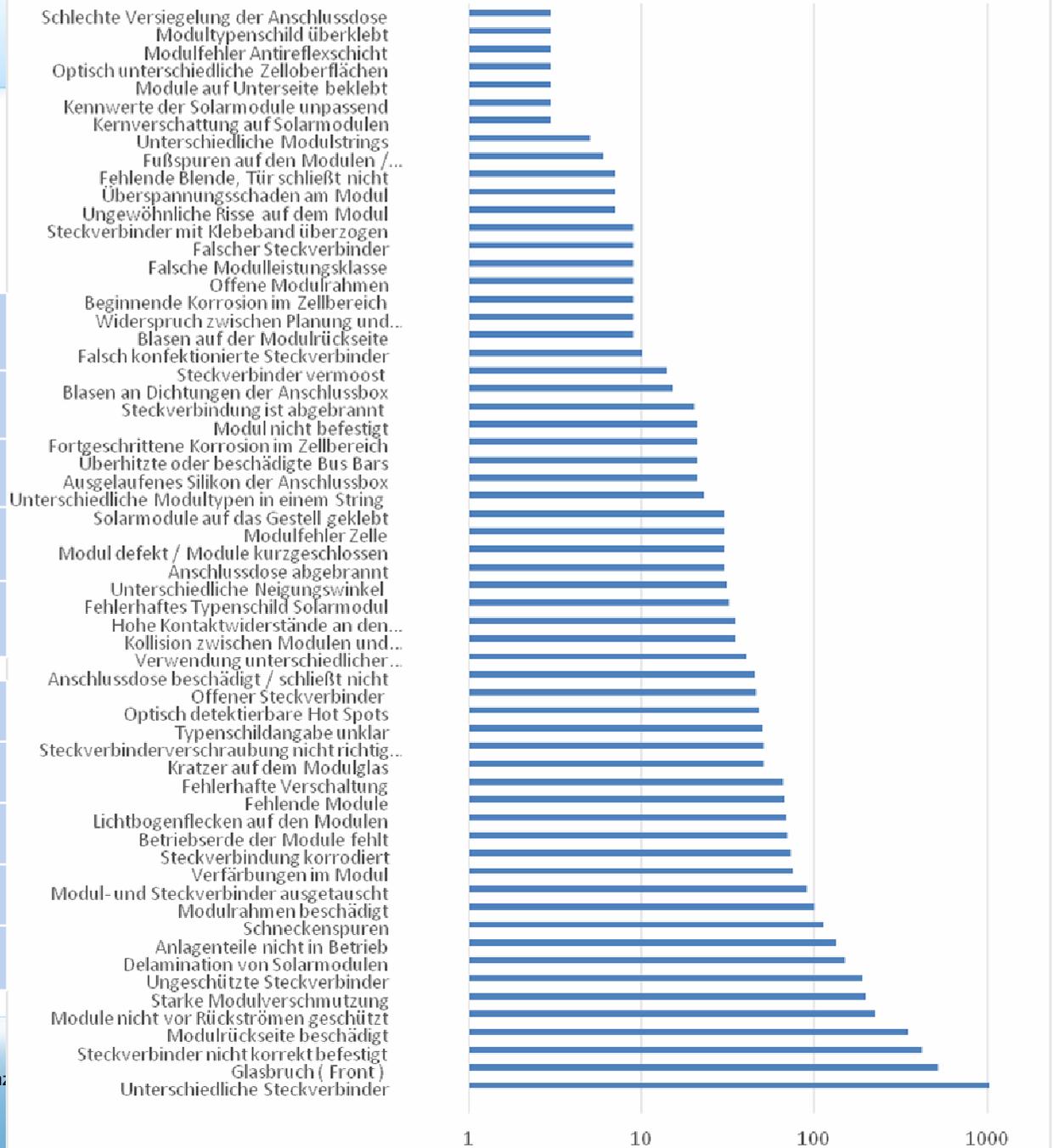
# “FMEA Fehler-Rating”

Fehler Rating  
= Fehlerbewertung x  
Fehlerhäufigkeit

Bewertung	Gewichtung
Feststellung	1
Einfach	3
Bedeutend	7
Schwerwiegend	10

Fehlerhäufigkeit	Gewichtung
Einzel	1
Sporadisch	3
Häufig	5
Generell	10

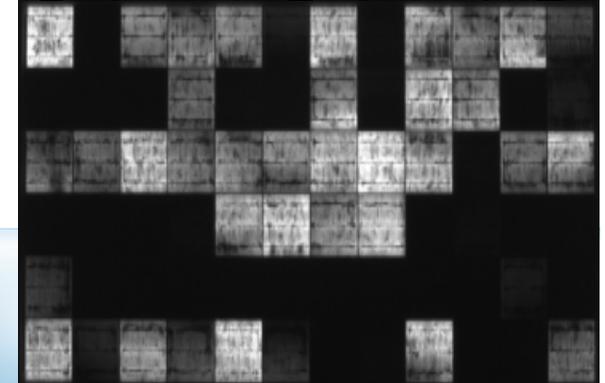
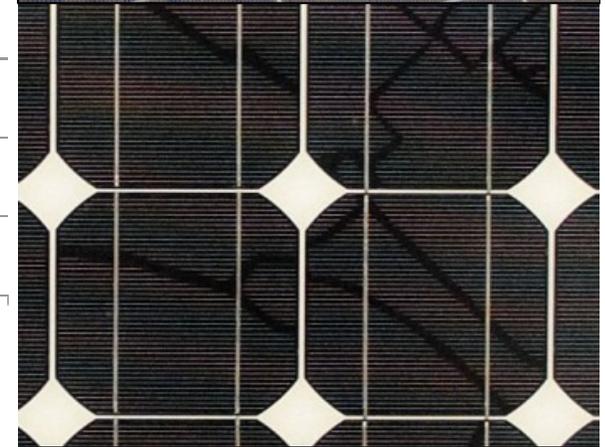
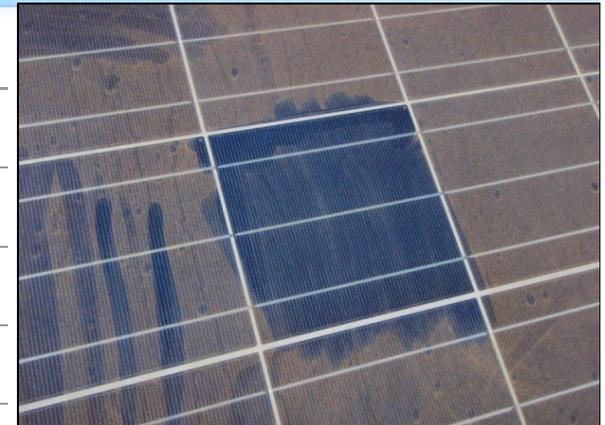
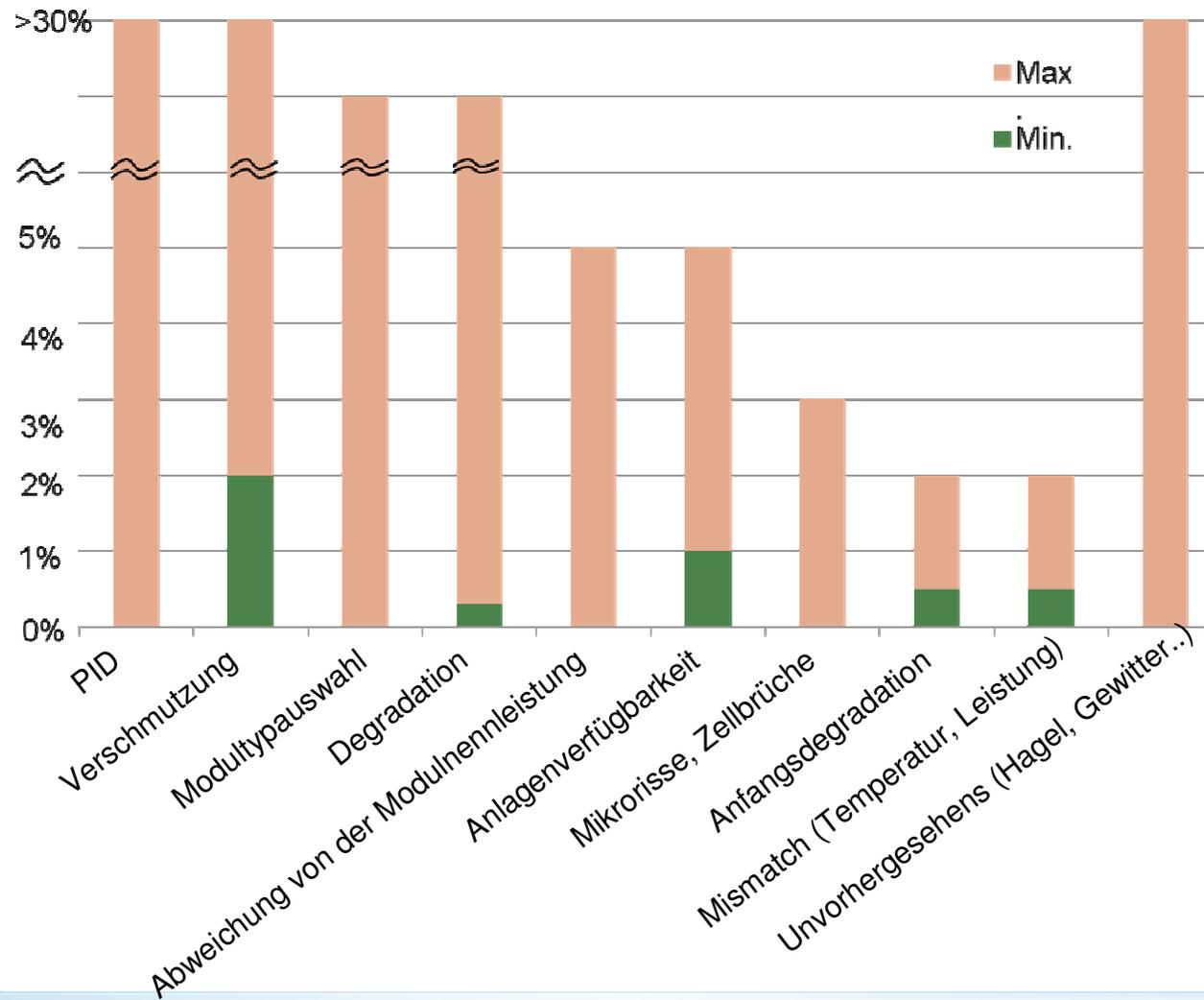
FMEA Rating der aufgetretenen Fehler (Bewertung x Häufigkeit)



# Verluste, ökonomische Risiken bei Investitionen in große PV-Anlagen

Beispiel:  
1 % Leistungsabweichung bei  
einer 100 MWp - PV Anlage  
(Investition >100 Mill €) kann zu  
einem Verlust von  
3 Mill € während des 20-jährigen  
Betriebes führen

# Beispiele von Verlustfaktoren

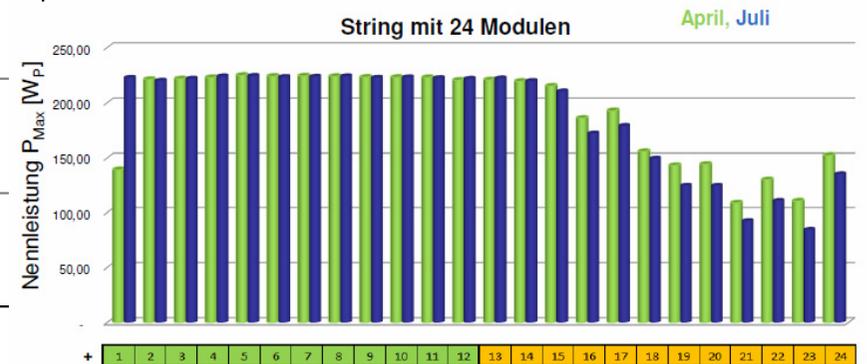
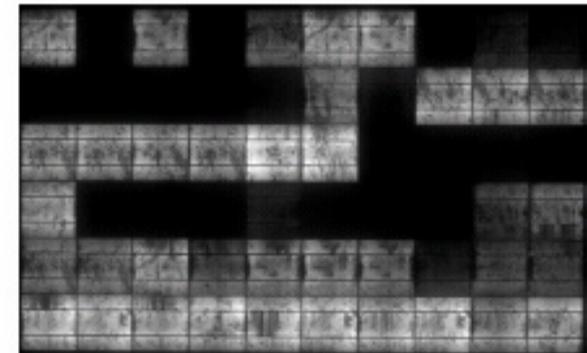
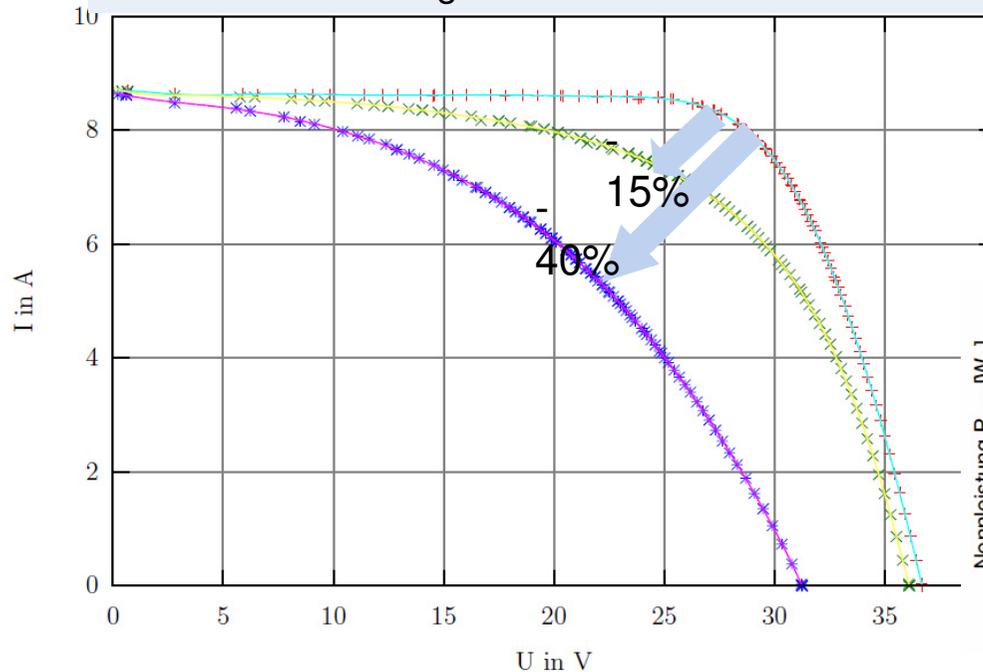


# Potenzial induzierte Degradation kommt häufiger vor als öffentlich bekannt ist



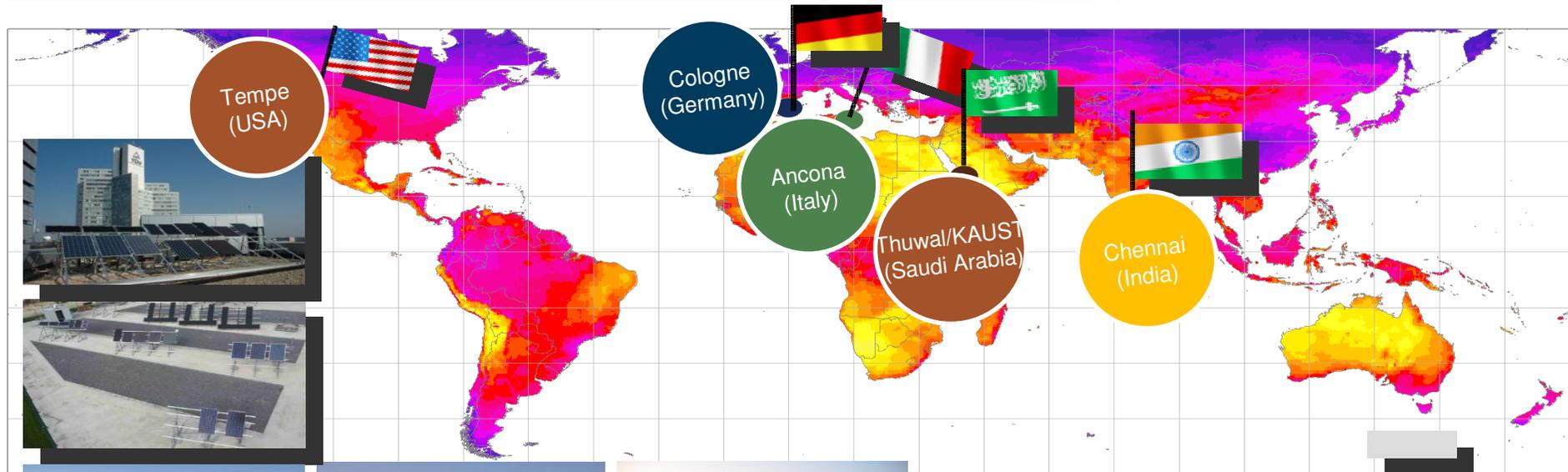
(Geheimhaltungsvereinbarungen der Beteiligten, tritt erst nach einer gewissen Betriebszeit auf, Nachweis nimmt Zeit - langwierige Prozesse, bilaterale Lösungen)

Flasher STC Messungen an PID sensiblem PV Modul



Alle angewendeten Materialkombinationen (BoM's) eines Moduls müssen betrachtet werden, um es als PID-resistent zu deklarieren

# Die richtige Modulwahl maximiert den Ertrag



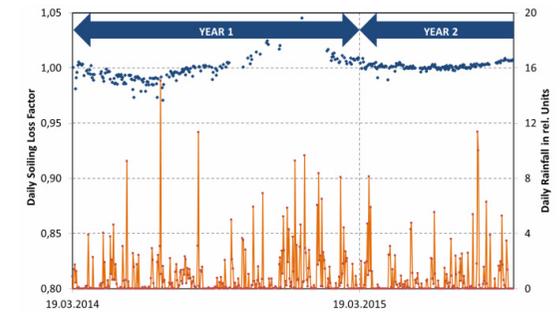
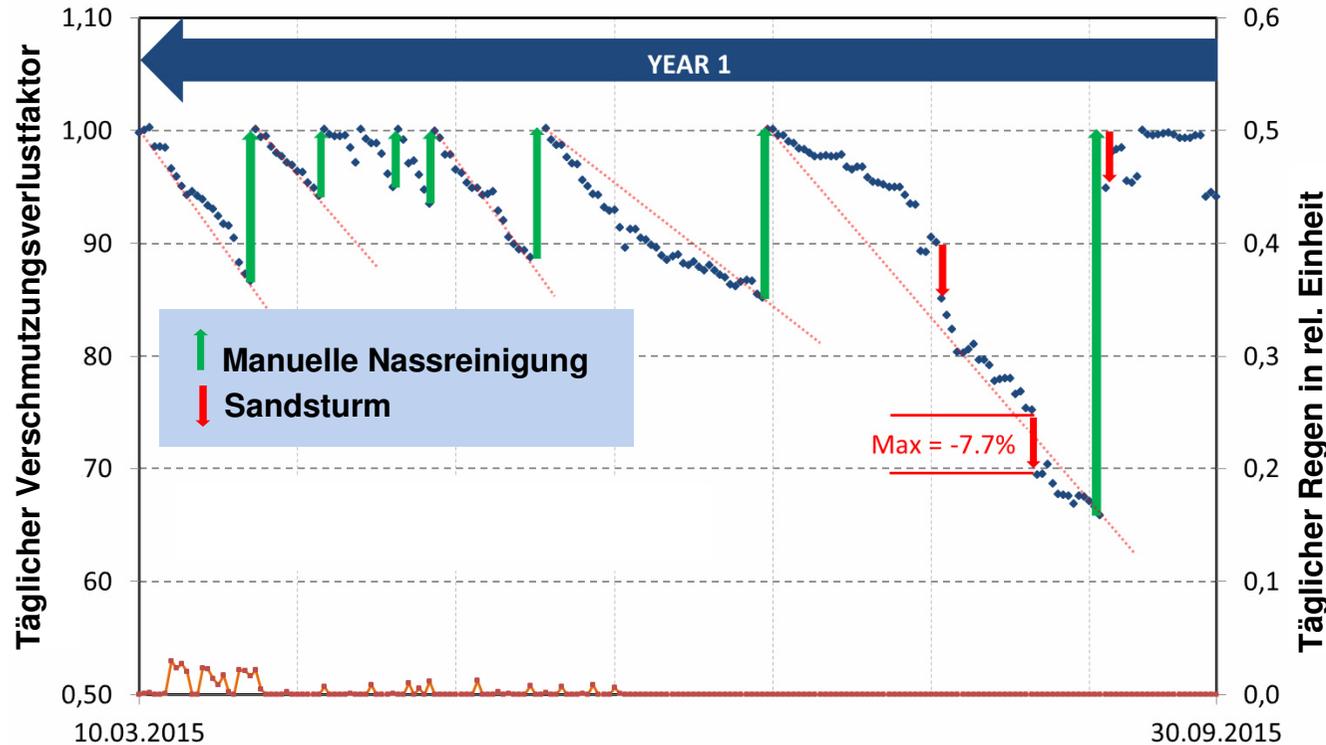
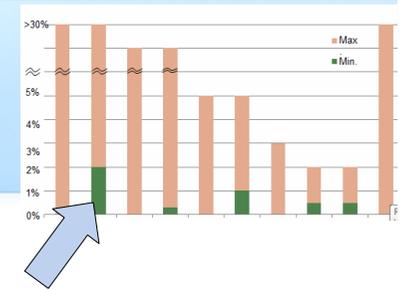
- |  |  |
|--|--|
|  Moderat          |  Tropisch, feucht |
|  Mild, mediterran |  Heiß, Wüste      |

Bei einer korrekt angegebenen Nominalleistung wird der Energieertrag im Wesentlichen beeinflusst durch:

- Temperaturverhalten
- Verhalten bei geringer Einstrahlung
- Spektrale Abhängigkeit
- Metastabilität
- Standortfaktoren (Einstrahlung, Verschmutzung)

# Verschmutzungsprofil Thuwal/Saudi-Arabia

Apr 2015 – Sep 2015,

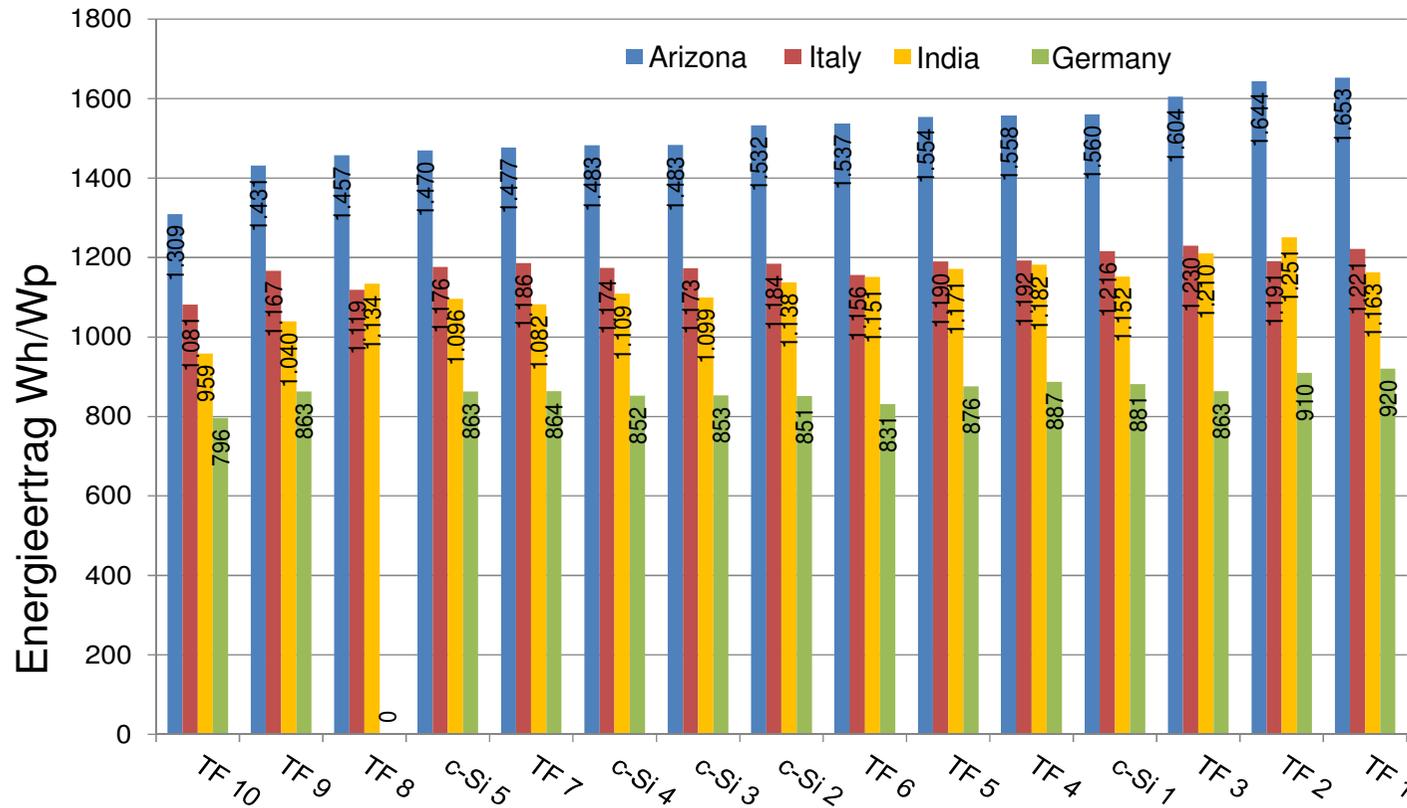
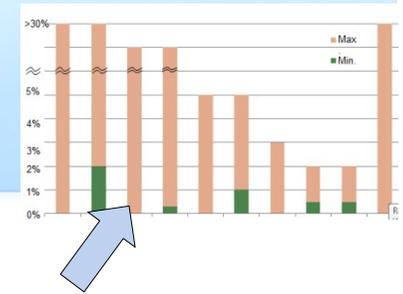


Zum Vergleich Köln



Hohe Verschmutzungskonzentration  $\Rightarrow$  Mittlerer täglicher Verschmutzungsfaktor (SLF) beträgt = -0.5%, bei Sandsturm max = -7.7% am Tag

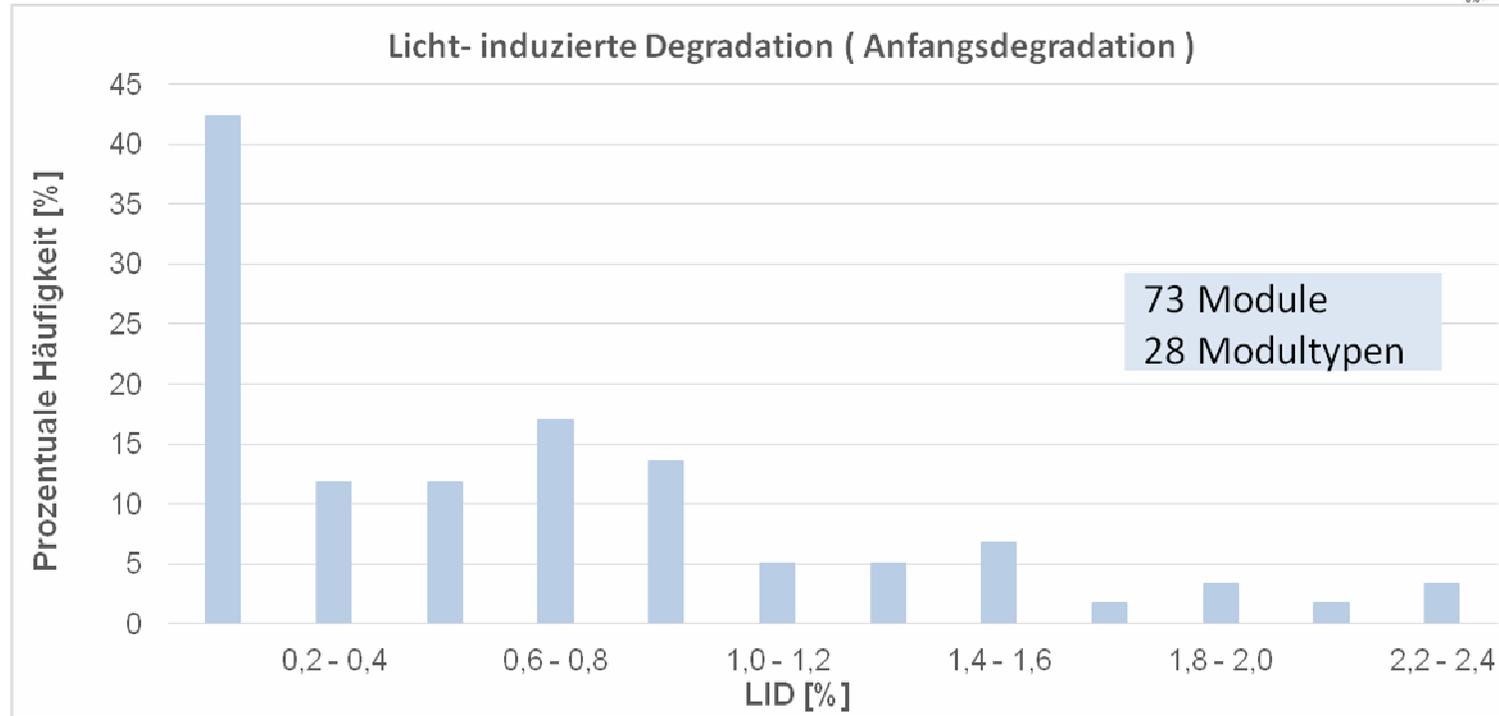
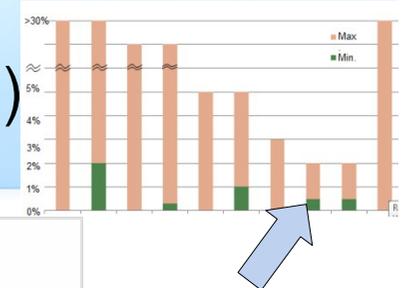
# Die richtige Modulwahl maximiert den Ertrag



	Variation von verschiedenen Technologien und Produkten
Italien	<b>12 %</b>
Deutschland	<b>13 %</b>
Indien	<b>23 %</b>
Arizona	<b>21 %</b>
Saudi Arabien	Noch nicht verfügbar

**!** Erhebliche Unterschiede beim Energieertrag während einer Messperiode von einem Jahr

# Licht-induzierte Degradation (Anfangsdegradation)

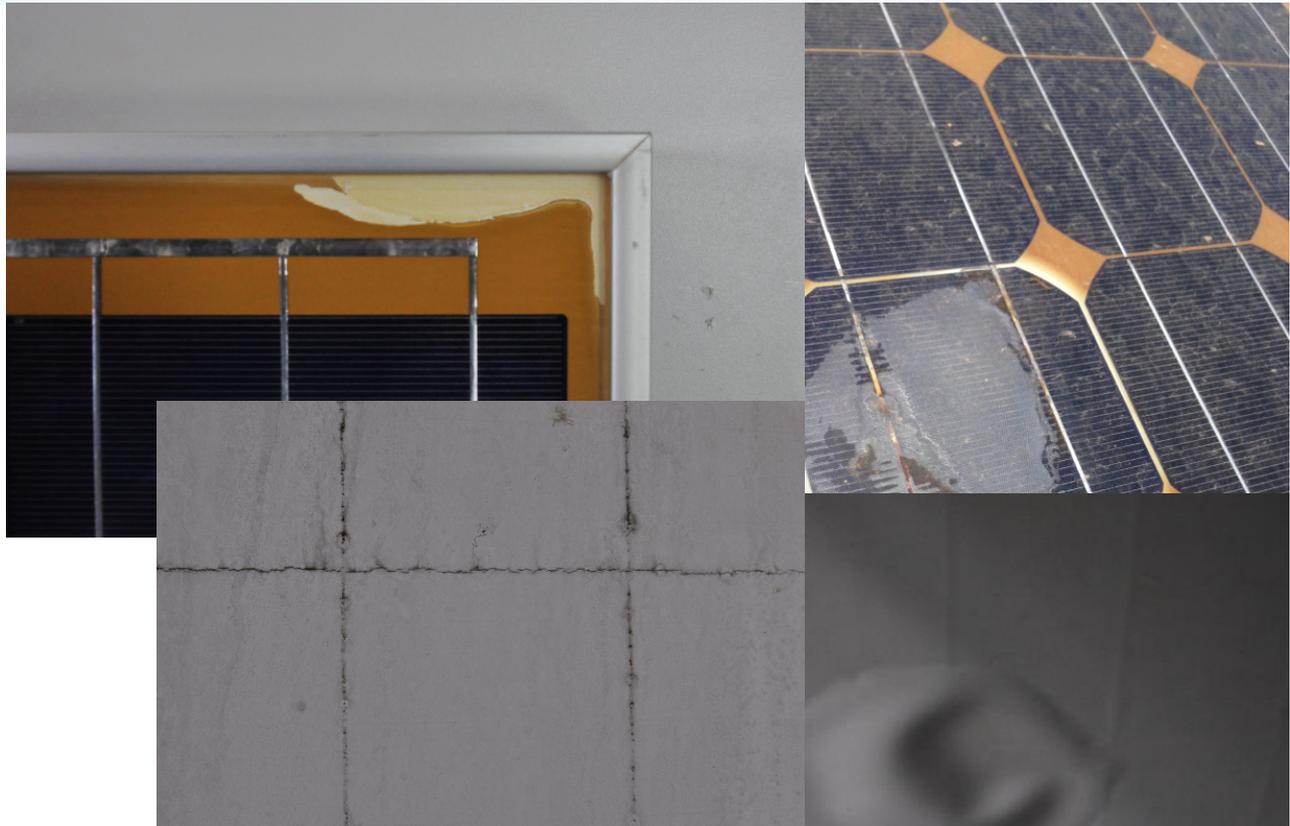
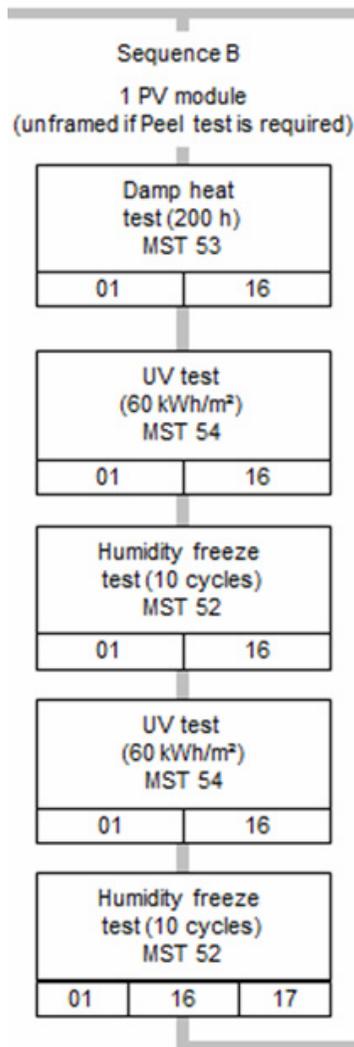


- ! Entsprechend EN 50380 muss die Anfangsdegradation (nach 20kWh/m<sup>2</sup>) bei der Angabe der Nennleistung berücksichtigt sein
- Flasherlisten, die oft als Nachweis der Modulleistung verwendet werden, beinhalten keine Anfangsdegradation (d.h. tatsächliche Leistung im Feld ist um LID-% geringer als der Flashwert (sofern dieser präzise ermittelt wurde))

# Maßnahmen zur Qualitätssicherung bei großen PV- Investitionen

1. Erstellung qualifizierter Ertragsprognosen mit Erhöhung der Genauigkeit durch genauere Eingangsdaten (z.B. PAN files, gemessen durch qualifiziertes Labor)
2. Feststellung der generellen Qualität der PV-Module durch ein „Quality und Bankability Audit“ als Vorprüfung zu Lieferungsvereinbarungen (Flag Report) Audit-begleitende Laborprüfungen als Vorprüfung.
3. Fertigungslos-begleitende Audits, Pre- Shipment Inspections
4. Technische Begleitung bei der Anlagenplanung, Installation und Inbetriebnahme bis zur Abnahme (Technical Advisory). Stichprobenlaborprüfungen.
5. Für Kleinanlagen Qualifizierung (und Zertifizierung) von Installations- und Wartungsbetrieben

# Zu 2: Auditierung der generellen Produktqualität, Auditbegleitende Laborprüfungen als Vorprüfung



**!** Auf Zertifizierungen ist leider nicht immer Verlass! Vor einer großen Investition sind Fertigungsinspektionen und wesentliche Alterungsprüfungen sinnvoll (z.B. 1,5-2\*IEC: 1500h/ 2000h DH oder/und den Zyklus der neuen IEC 61730 auf 500 -1000 Stunden DH verlängern)

## Zu 4: Stichprobenmessungen von PV-Modulen eines Fertigungsloses für eine konkrete PV-Anlage im Labor

Anlagengröße in MWp	1	3	5	10
<b>Prüfungen</b>	<b>Anzahl Module</b>			
Visuelle Inspektion	10	20	30	50
STC Leistungsvermessung	10	20	30	50
Elektrolumineszenzaufnahmen	10	10	15	25
Isolationsmessung unter Benässung	5	5	7	12
Vernetzungsgradbestimmung der EVA Folie	2	3	4	6
Rückseitenfolienhaftkraft	2	3	4	6
Best. der lichtinduz. Anfangsdegradation n. 20 kWh (LID)	2	2	2	3
PID Test	1	1	2	3
Schwachlichtmessung (200,400,600,800 W/m <sup>2</sup> )	1	1	2	2

# Zusammenfassung

- Es sind qualitativ hochwertige PV-Anlagen in Betrieb, allerdings existieren substantielle Risiken bei PV-Installationen (Produkt-, Planungs-, Installationsschwächen)
- Ganzheitliche Qualitätssicherungssysteme (Materialzulieferung, Produktfabrikation, Transport, Planung, Installation, Inbetriebnahme und Betrieb sind (noch) nicht existent)
- Qualitätssicherung wird nicht über das Risikobewusstsein der Hersteller und EPC's initiiert, sondern muss zurzeit über die Investoren /Banken etabliert werden  
➡ Dazu muss Risikobewusstsein vorhanden sein
- Institutionen und ökonomisch vertretbare Werkzeuge und Prozeduren zur Qualitätssicherung (Technische Begleitung, Fertigungsaudits, Stichprobenlaborprüfungen) sind vorhanden und sollten genutzt werden

# Fehlerbilder von PV Anlagen



Hinweis:  
13. PV Modulworkshop TÜV Rheinland  
am 28. /29.11. 2016 in Köln

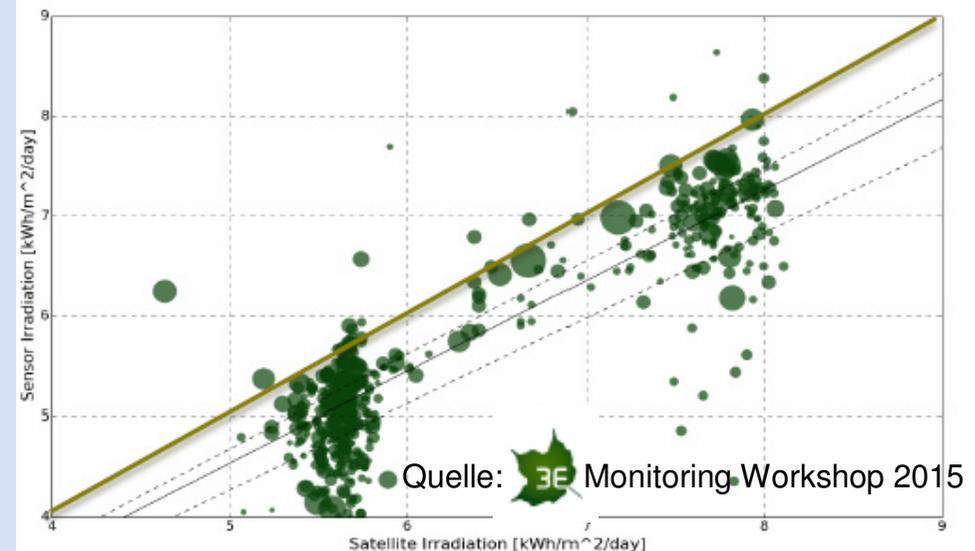
Vielen Dank für Ihr Interesse!

# Anhang: Warum liegt eine allgemein hohe Zufriedenheit bezgl. der Anlagenperformance vor?

## Gründe

- Anlagenerträge sind tatsächlich hoch
- Hohe Sonneneinstrahlung in den letzten 5 Jahren im Vergleich zum langjährigen Mittel schönt die Anlagenerträge (Beispiele: Lübeck +5%, Bayreuth +6%, Cottbus +8,5%)
- Einstrahlungsmesswerte bei den Anlagen oft zu gering (Verschmutzung, Fehlende Kalibrierung, ungenaue Orientierung, Verfügbarkeit, Degradation, Abschattung, Manipulation)
- Bestandsanlagen mit hoher Rendite lassen eine gewisse Toleranz beim Energieertrag zu

## Einstrahlungsmesswerte in Anlagen im Vergleich zu Satellitendaten



Mittlere gemessene Tageseinstrahlung an 28 Sommertagen bei ca. 600 Anlagen in Europa (Belgien, Italien, andere)

# Anhang: Leistungsmessungen zur Verifikation von PV-Modul Leistungsangaben und erzielbare Messunsicherheiten

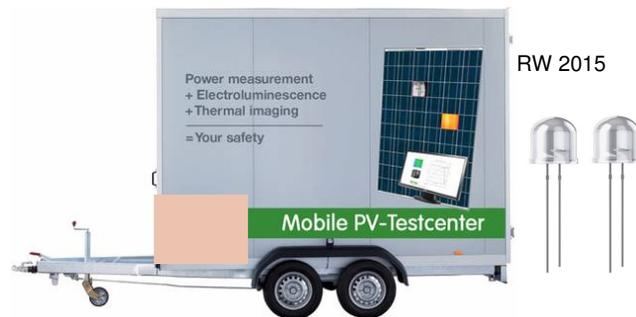
- Laborsystem (Xenon-flasher)



- Konstantlicht- Sonnensimulator



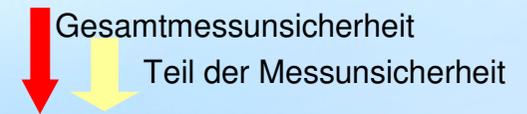
- Mobile Systeme (LED oder Xenon basiert)



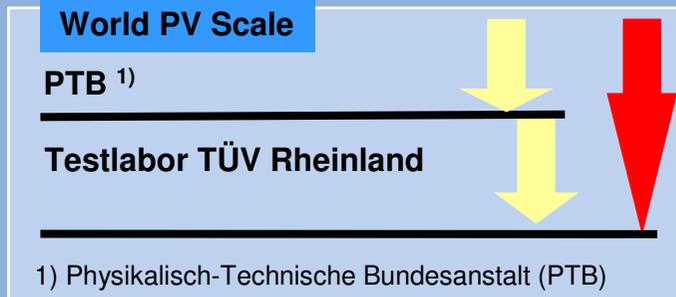
- Messungen unter Sonnenlicht
  - Labor (Einzelmodule)
  - Feldmessungen (Strings)



# Anhang: Messunsicherheit und Rückführbarkeit von Leistungsmessungen an PV-Modulen

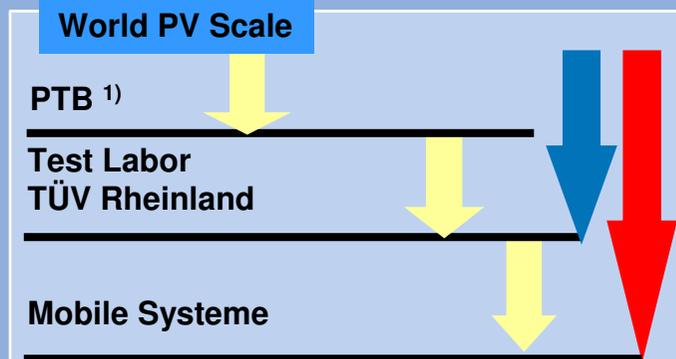


## ▪ Labormessungen



	Gesamtmessunsicherheit
Primär kalibrierte Referenzzelle	± 0,5 %
Kalibrierung oder Messung von PV-Modulen im TÜV Rh Labor	<b>± 1,8-2,5%</b>

## ▪ LED basierte mobile Systeme/ Xenon - Flasher in der Fertigung



	Gesamtmessunsicherheit
Kalibrierung/ Messung von Referenzmodulen	± 1.8 - 2.5%
Bei Nutzung der Referenzmodule zur Flasherjustierung	<b>± 4,0 -5,0%</b>

## ▪ Außenmessungen (Sonnenlicht)

Bei Nutzung von sekundär kalibrierten Referenzzellen	<b>± 5,0 -7,0%</b>
--	--------------------