

# Betriebserfahrungen mit PV-Anlagen und -Modulen

Webinar: Erfahrung und Vorhersage für den PV-Anlagenbetrieb

Willi Vaaßen  
TÜV Rheinland Energy GmbH  
willi.vaassen@de.tuv.com  
+49 (0)221 806 2910  
[www.tuv.com/solar](http://www.tuv.com/solar)

# Einleitung, Thesen zum Anlagenbetrieb

## Bestandsanlagen

- Viele PV-Anlagen werden ohne besondere Probleme betrieben. Marktdaten nicht verfügbar.
- Die Anlagen werden überwiegend nicht oder sehr eingeschränkt gewartet. Anlagenstatus unbekannt.
- Fehler werden zum Teil zufällig oder bei signifikanten Ertragsminderungen oder erst bei extremen optischen Veränderungen festgestellt.
- **Systematische Komponentenfeler** bergen große ökonomische Risiken und hätten durch Qualitätssicherung bei Planung, Einkauf und Installation verhindert werden können.

## Neuanlagen

- Die Qualität der Neuanlagen ist unverändert sehr unterschiedlich, zum Teil immer noch ungenügend. Schlechte Installationsqualität und Komponentenfeler sind die wesentlichen Gründe.
- Die vertragliche Festlegung besonderer **Risiko-orientierter Qualitätsanforderungen beim Produkteinkauf**, insbesondere beim PV-Modulkauf ist immer noch ungenügend.

# Inhalt

- Serienfehler, Degradationen bei PV-Modulen
  - Modulminderleistung, LID
  - PID
  - Neue Degradationsmechanismen bei PERC- Modulen, z.B. LeTID
  - Mikrorisse
  - Weitere Degradationen (z.B. Rückseitenfolien, Risse, Chalking)
- Qualitätssicherung bei der Projektentwicklung und beim Einkauf
- Zusammenfassung
- Anhang: Bilder zur Installation (Installationsmängel)

# PV- Anlagenqualität, Serienfehler

## Wie kommt es immer wieder zu Serienfehlern?

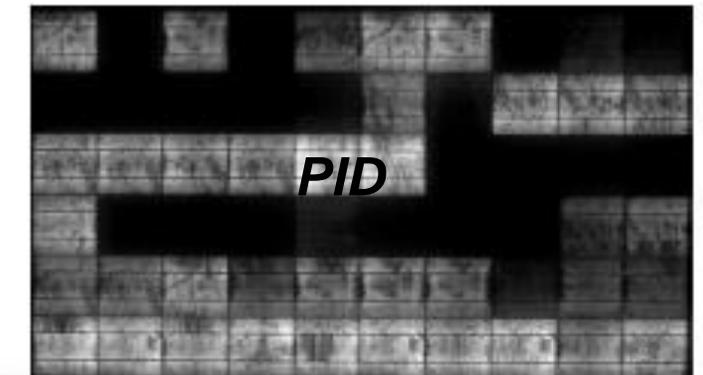
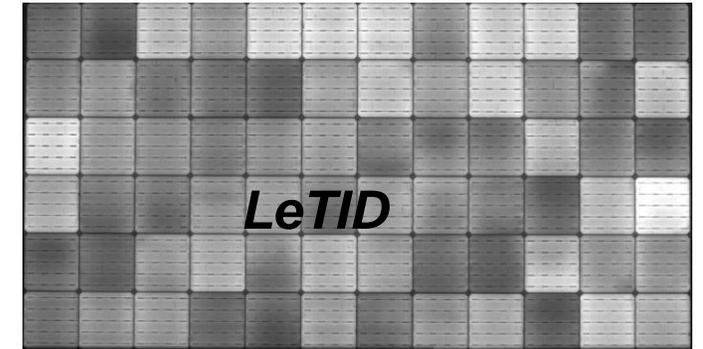
- Hoher Kostendruck
- Permanente Materialmodifikationen z.T. ungenügend qualifiziert und mit unterschiedlichen Qualitäten, komplexe BOM
- Ungenügende Eingangskontrollen bei Materialien/ Komponenten
- Zu geringe permanente Qualitätssicherung in der Produktion
- Felderfahrungen der Hersteller fußen fast ausschließlich auf Kundenbeschwerden
- Geringe Neigung zu aktiver Erfahrungsauswertung aus Referenzanlagen
- Auftreten neuer Degradationsmechanismen

## Exemplarische Darstellung der Bill of Materials (BOM) von Typfamilien dreier Hersteller

	Hersteller 1, Typfamilie X	Hersteller 2, Typfamilie Y	Hersteller 3, Typfamilie Z
Zellen	21	12	3
Front-Glas	9	6	4
Einbettungsmaterial	9	5	2
Rückseitenfolie	12	12	4
Zellverbinder	14	5	2
Stringverbinder	6	3	1
Lot	2	2	1
Flussmittel	2	6	2
Anschlussdose	19	7	2
Bypass-Diode	19	7	2
Anschlusskabel	19	7	2
Stecker	4	9	2
Klebung A-Dose	4	3	2
Rahmen	3	4	1

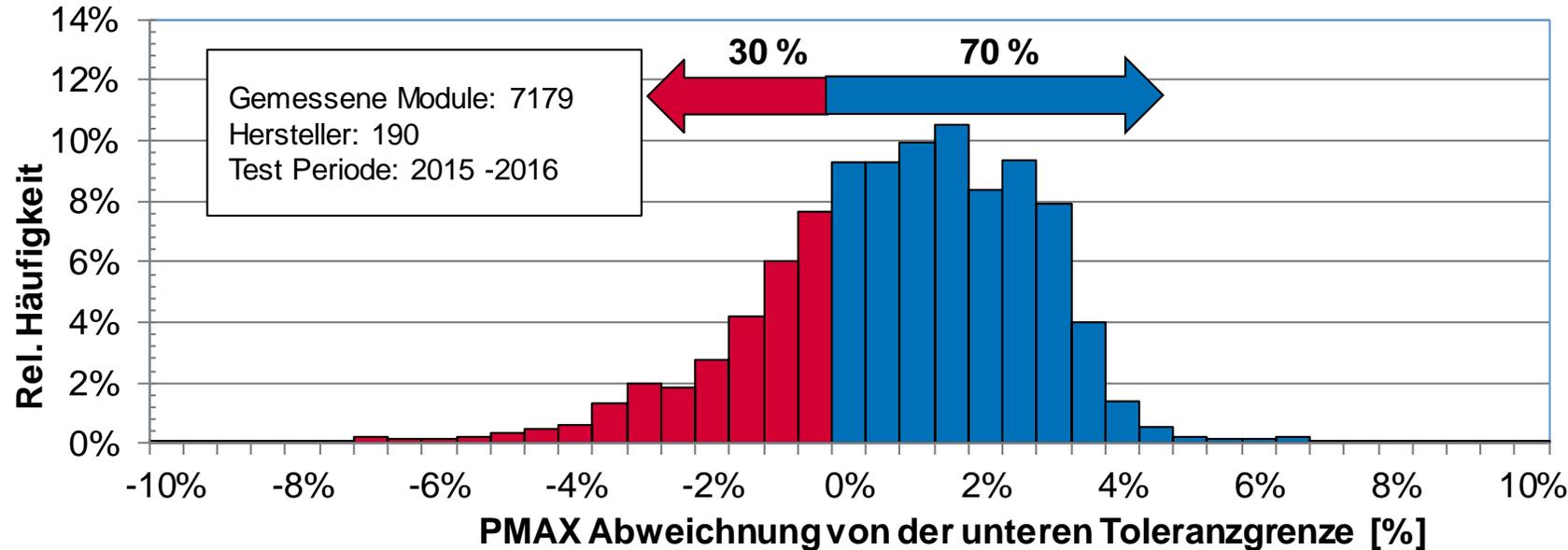
# Minderleistungen, Leistungsdegradationen

- Modulminderleistung bei Lieferung
- LID: Licht induzierte Degradation
- PID: Potenzial induzierte Degradation
- LeTID: Light and elevated Temperature Induced Degradation
- Degradation durch Zell- und Mikrorisse
- Degradation von Modul-Rückseitenfolien (Chalking, Cracking)
- Browning, Delamination
- 

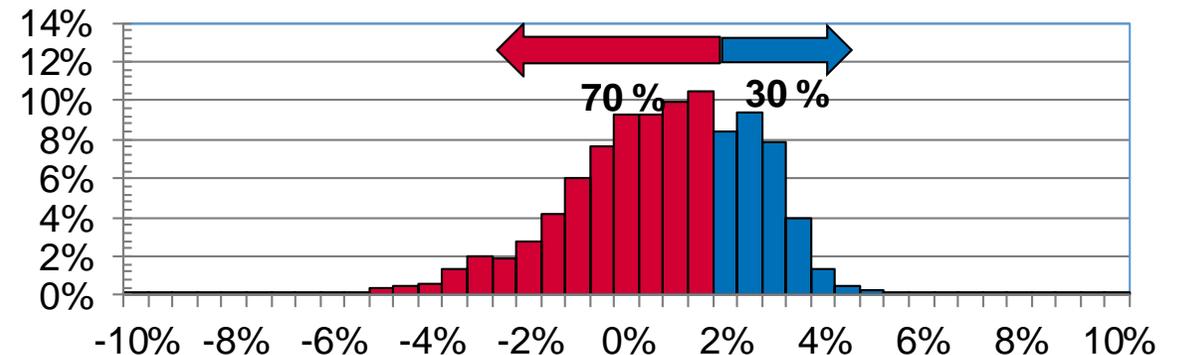


# Modulminderleistung bei Lieferung und Inbetriebnahme

## Gemessene Modulminderleistung und der Einfluss von LID (Licht induzierte Degradation)

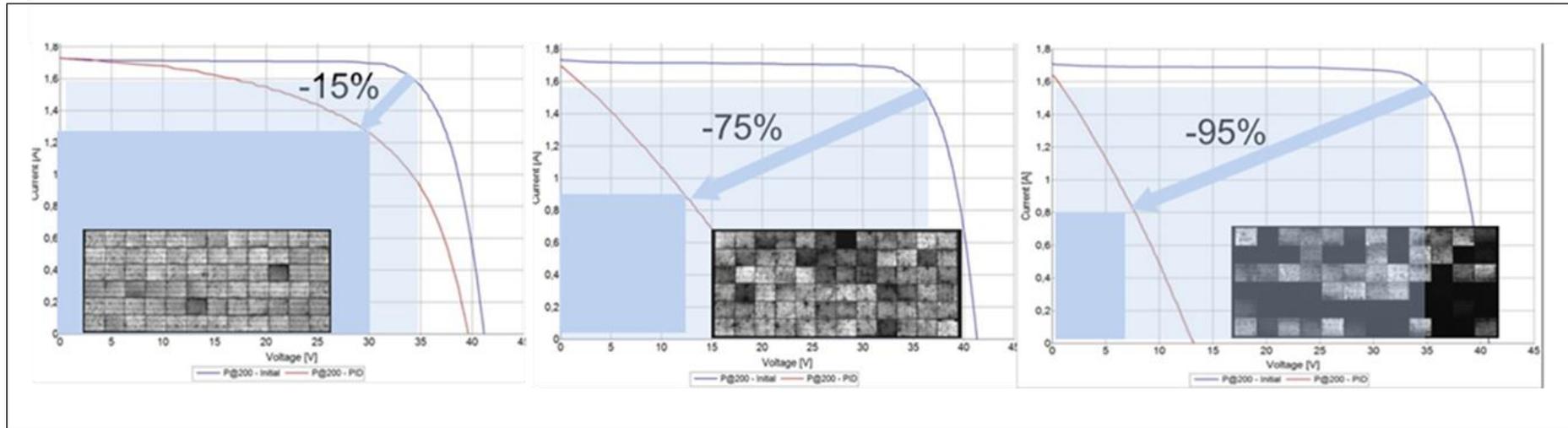


- Eine signifikante Anzahl von Modulen wird mit Minderleistungen ausgeliefert
- Die Leistung reduziert sich dann nochmals um die LID (Licht-induzierte Degradation): Anfangsdegradation nach den ersten Sonnenstunden von 0% bis ca. 3%

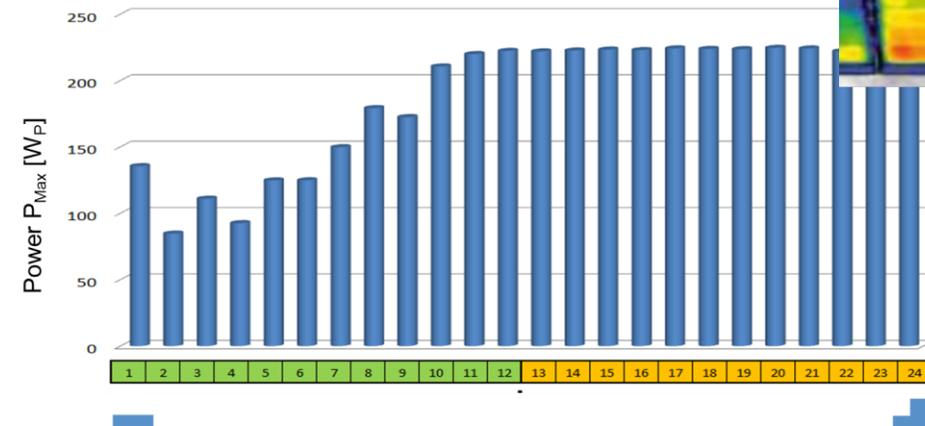


# Potenzial-induzierte Degradation

## Auswirkungen, Kennlinien, Diagnostik



- Es sind nur PV-Module nahe des negativen Potentials (bei P-dotierten Zellen) betroffen
- Es können Gegenmaßnahmen im System ergriffen werden (Erdung, Gegenspannung), die eine Erholung bewirken
- Wichtig: Je nach Schädigung können nicht alle Module „recovered“ werden. ⇨ Labortests



?

## Fragen der Webinararteilnehmer

?

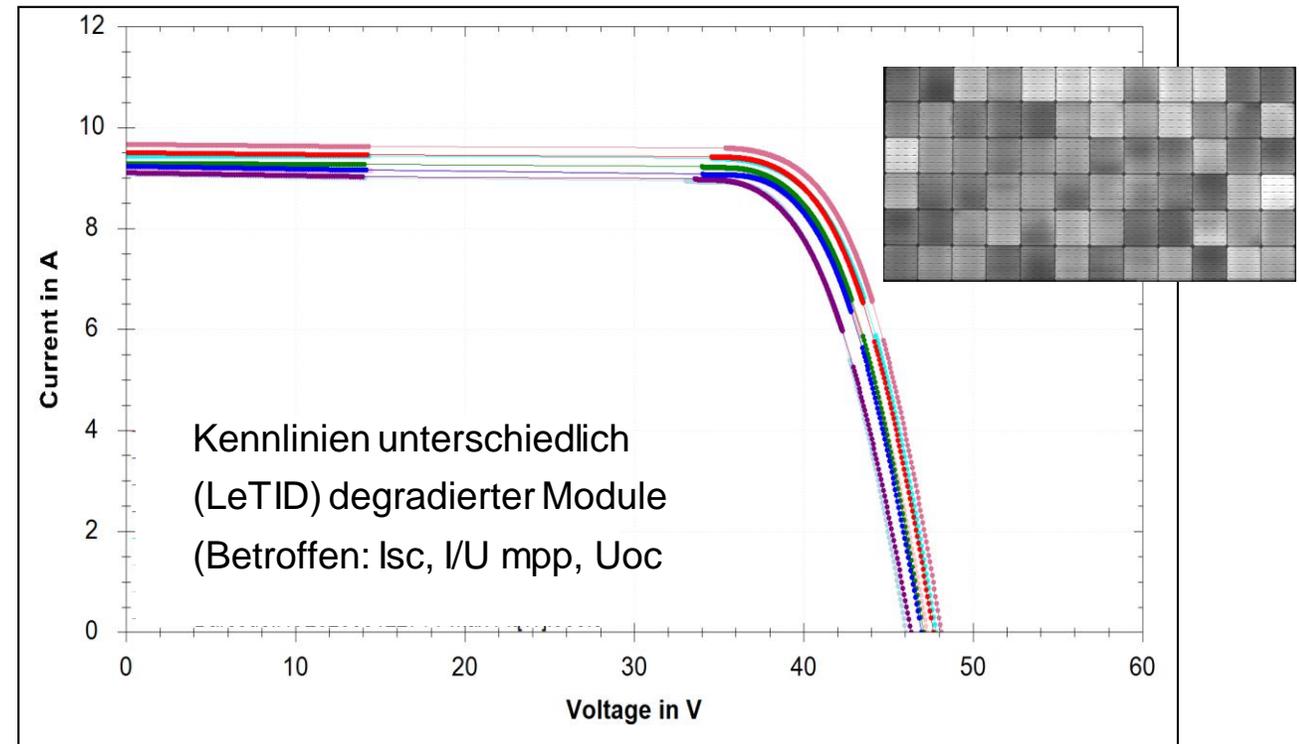
?

?

?

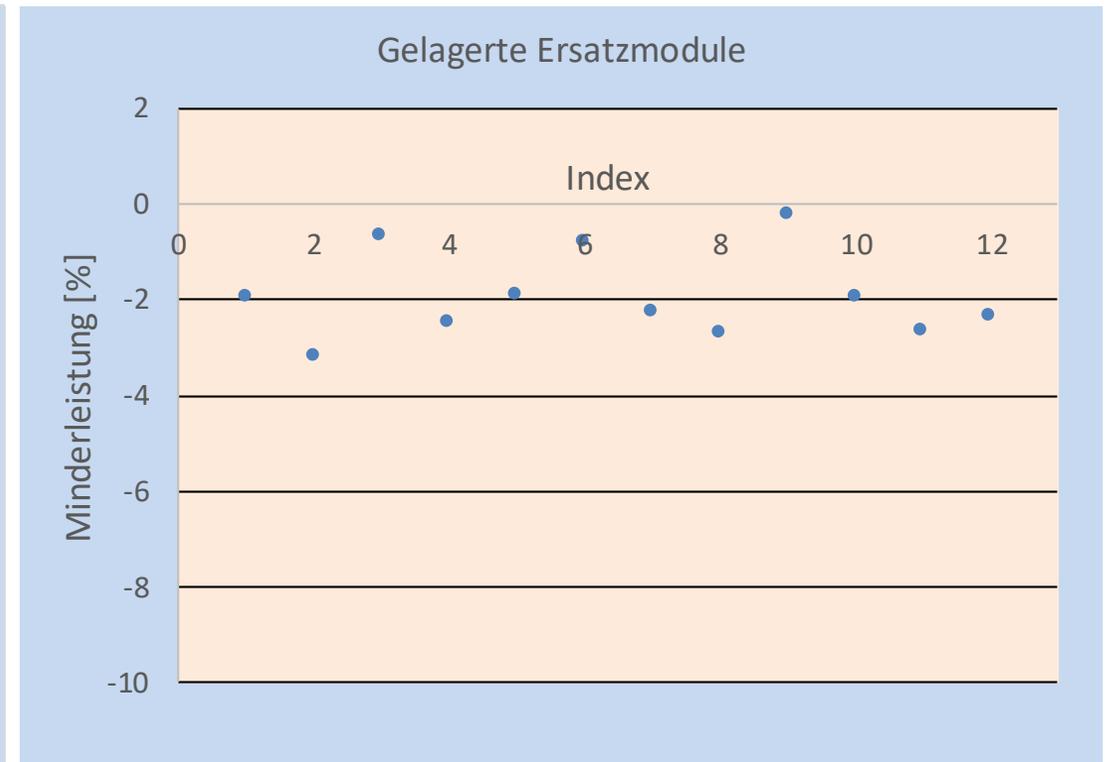
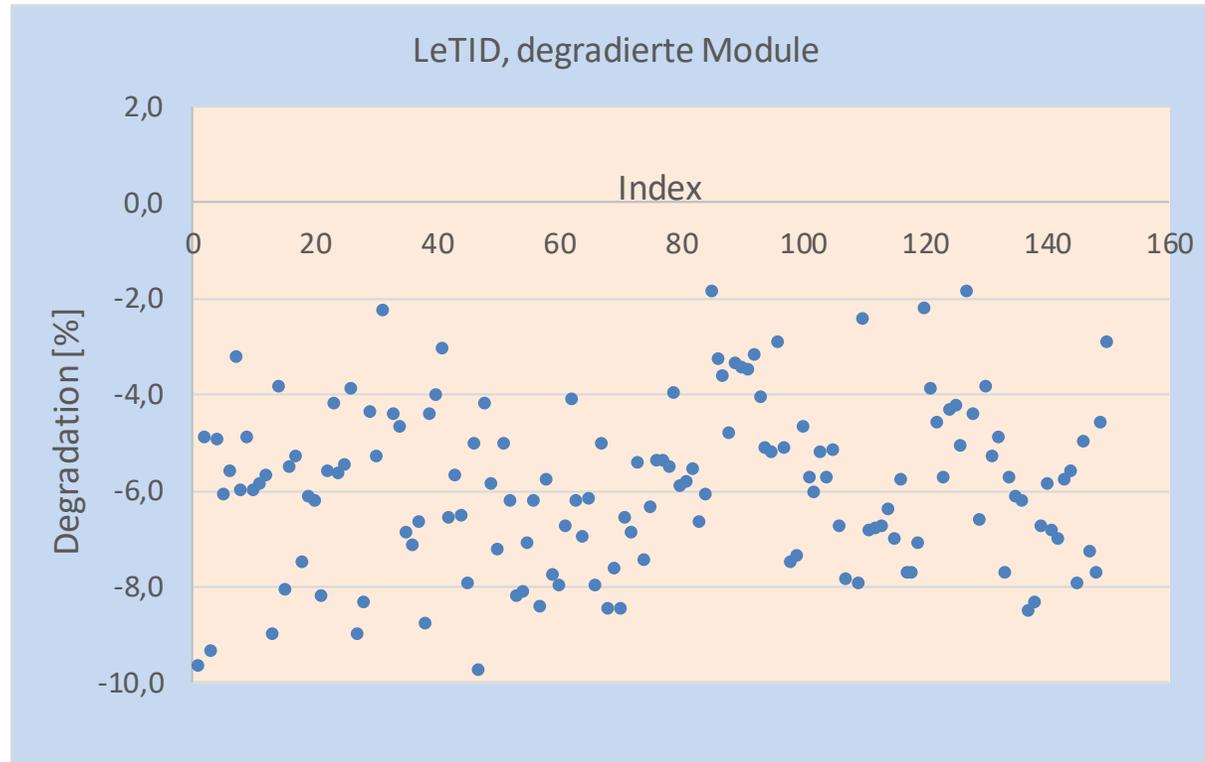
?

# Neue Degradationsmechanismen bei PERC (Passivated Emitter Rear Cell) - Modulen



- Die PERC-Technologie ist der Mainstream des Marktes und hat 2019 einen Marktanteil von >50% erreicht.
- Neuer Degradationsmechanismus (LeTID) bei PERC-Solarzellentechnologien
- Leistungsminderung von bis zu 10% mit anschließender Erholung
- LeTID tritt bei erhöhten Temperaturen > 50°C und Bestrahlung auf
- Langsame Degradationsrate bei Betriebsbedingungen (Monate bis Jahre); viel langsamere Erholung (Jahre bis Jahrzehnte)
- Noch nicht gänzlich verstandene Mechanismen

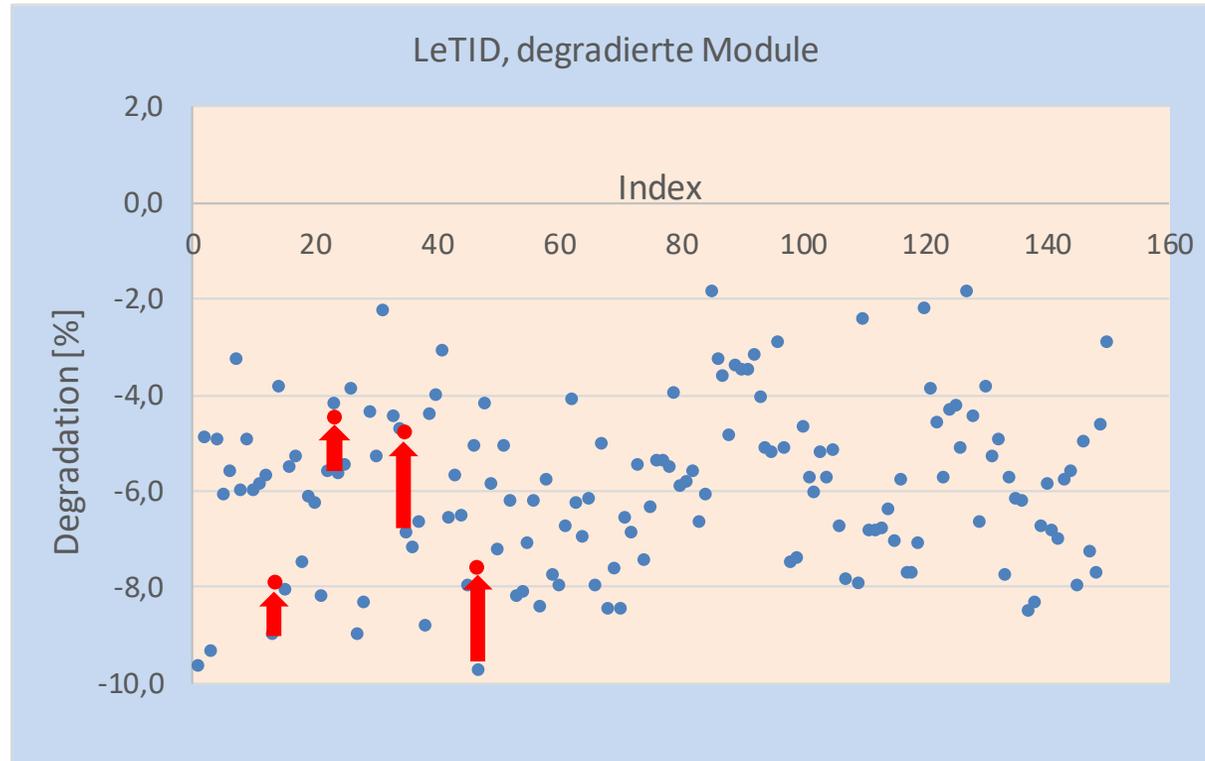
# Degradation von PERC -Modulen, LeTID (Light and elevated temperature induced degradation)



- **Abb.1:** LeTID Degradation von PERC-Modulen des gleichen Typs, installiert im arabischen Raum, ca. 1,5 Betriebsjahre, Messung nach dem Transport ins Labor (Abweichung der gemessenen Leistungen zu Label-Werten)
- **Abb.2:** Minderleistung von gelagerten Ersatzmodulen des gleichen Typs (Abweichung Labormesswerte zu Label-Werten)

# Degradation von PERC -Modulen

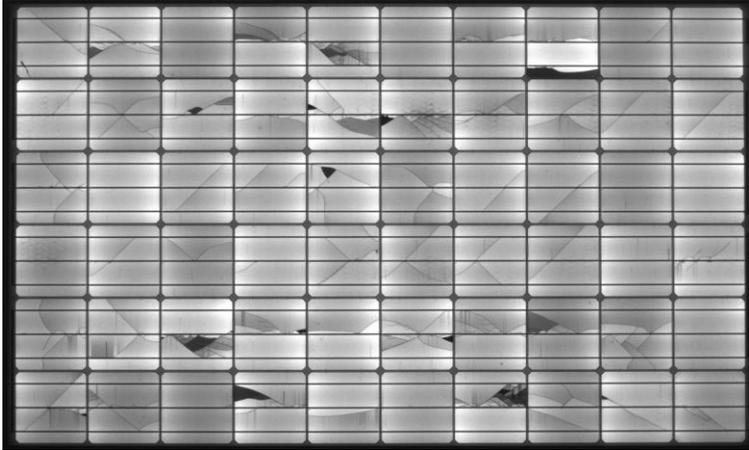
## Stabilisierung nach Transport



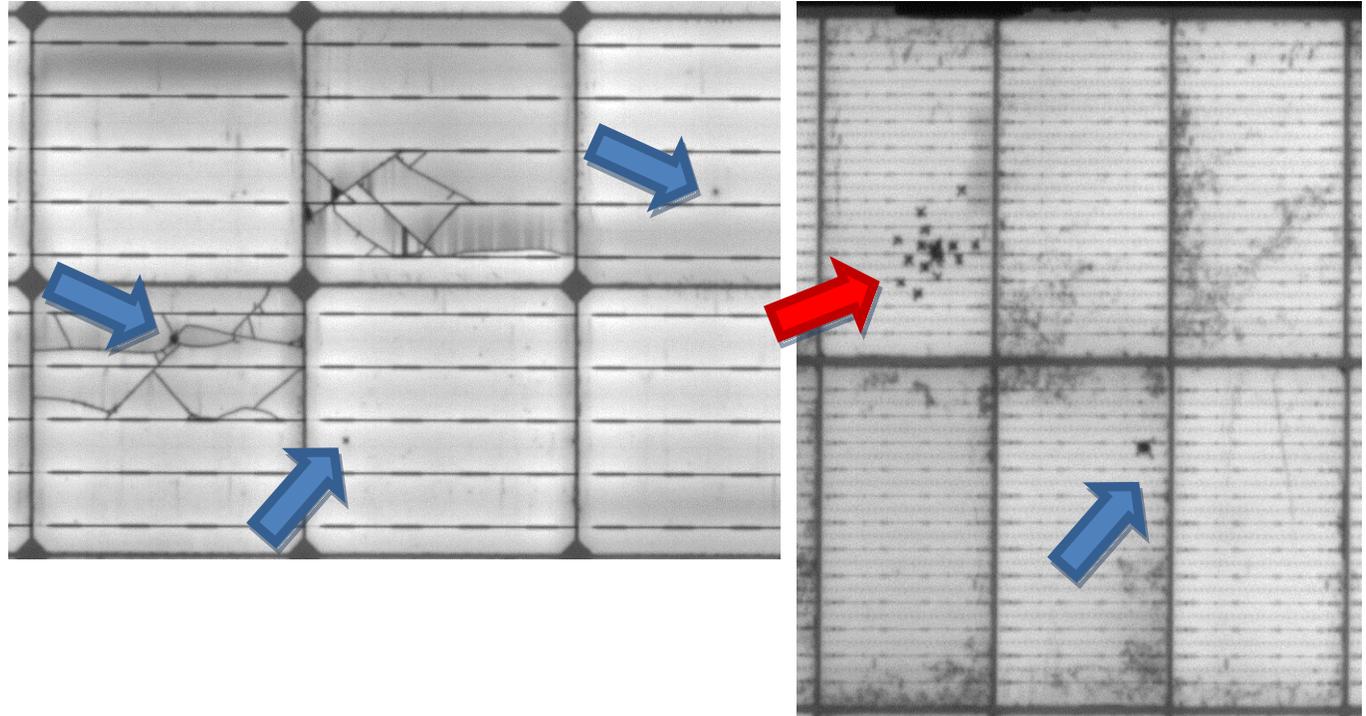
Modul	Messung nach Transport	Messung nach Stabilisierung	Stabilisierungseffekt
1	-9,0%	-8,0%	+1,0%
2	-5,6%	-4,4%	+1,2%
3	-6,9%	-5,0%	+1,9%
4	-9,8%	-7,6%	+2,2%

- Messung nach Transport (Deinstallation, Kistenverpackung, Transport aus dem arabischen Raum nach Köln)
- „Hohe Temperaturen ohne Beleuchtung können zur Destabilisierung von stabilisierten Bor-Sauerstoff-Defekten führen“ (Friederike Kersten, Hanwha Q CELLS GmbH)
- Stabilisierungsmessungen unter Licht an 4 Modulen (3\*5,5 kWh/m<sup>2</sup>, Strom =  $I_{mpp}$ )
- Laborerfahrung TÜV Rheinland: Reversible Degradation tritt auch bei Damp Heat Test auf

# Leistungsdegradation durch Mikrorisse/ Neuer Effekt bei PERC-Modulen?!



-2,5 % von der Nominalleistung



- **Abb.1:** Zellablösungen und Mikrorisse werden häufig hinsichtlich der Auswirkungen auf die Leistung überschätzt. Allerdings können sich in seltenen Fällen Lichtbögen an Zellbruchkanten ausbilden.
- **Abb.2:** Bei geringen mechanischen Belastungen (z.B. Anschlagen des herabhängenden Steckers an die Modulrückseite bei Transport und Installation) Bildung inaktiver, schwarzer Punkte auf dem EL-Bild, von denen Mikrorisse ausgehen. Beobachtung bisher nur bei PERC- Modulen (verschiedene Hersteller).

?

## Fragen der Webinararteilnehmer

?

?

?

?

?

# Maßnahmen zur Qualitätssteigerung und Minderung des Risikos für das Auftreten von Serienfehlern

## Bestandsanlagen

- Bei Installations- oder Produktmängeln entsteht **Mehraufwand bei Reparatur und Wartung**.
- Frühzeitige und regelmäßige Inspektionen können helfen **Garantieansprüche** zu erkennen oder weiteren Degradationen entgegenzuwirken. (z.B. PID)

## Neuanlagen

- Risikominimierung durch die Definition von Qualitätsanforderungen beim Einkauf
- **Festlegung der BOM im Liefervertrag.**
- Überprüfung der Einhaltung der Kriterien durch Tests an PV-Modulen mit festgelegter BOM
- Begleitende Fertigungsinspektionen zur Überprüfung der BOM und der Fertigungsqualität
- Testspezifikationen sollten dem Qualitäts- und Ergebnisziel entsprechen.

**Maximale Qualität bei minimalem Preis schließt sich aus.**

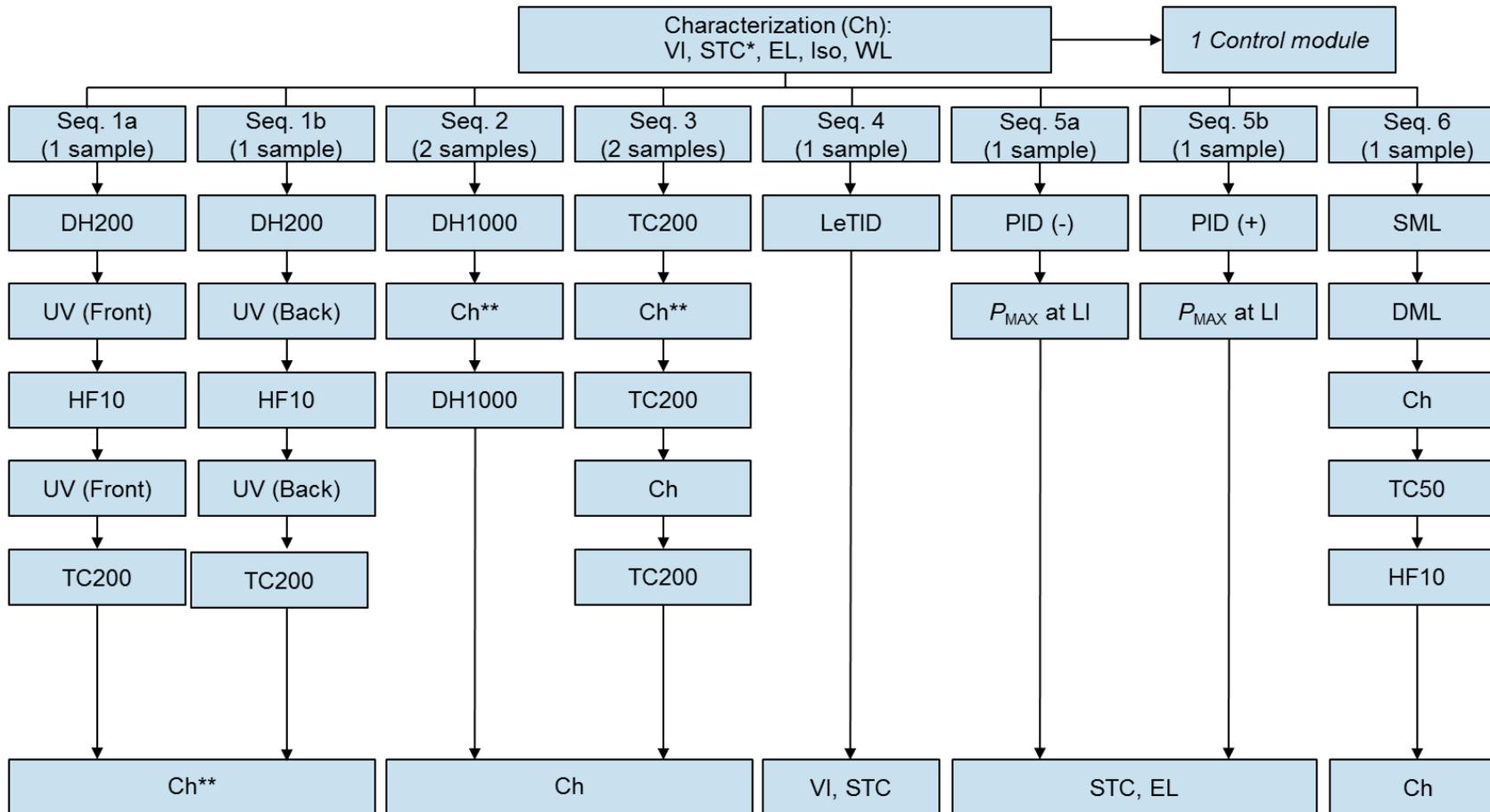
# Qualifizierungsprüfungen während des Einkaufs

Prüfungen	Indikative Tests	Typprüfung	Statistisch repräsentativ	Zerstörend
Visuelle Inspektion	X			
STC Leistungsvermessung			X	
Elektrolumineszenzmessungen			X	
Isolationsmessung unter Benässung	X			
Bestimmung EVA Vernetzungsgrad	X			X
Haftkraft Rückseitenfolie/EVA	X			X
LID Test		X		
PID Test		X		X
LeTID Test		X		
Wirkungsgradverlust bei Schwachlicht (200,400,600,800 W/m <sup>2</sup> )		X		
Alterungs- bzw. Belastungstests (Damp Heat, Temperatur-Zyklen, Humidity-Freeze, UV, Mechanical Load)		X		X

- **Indikative Tests:** Geben Hinweise, können Serienfehler aufzeigen, vermitteln einen Eindruck
- **Typprüfung:** Bei gleichbleibender BOM, funktionierender Prozess- und Produktionskontrolle stellvertretende Prüfung einzelner Module innerhalb einer Bauart
- **Statistisch/ repräsentativ:** Von einer Stichprobe kann auf die gesamte Lieferung geschlossen werden oder Stichprobe entsprechend AQL Wert nach ISO 2859-1 oder spezielles Stichprobenverfahren des TÜV Rheinland

# Qualifizierungsprüfungen während der Projektentwicklung

## IEC TS 63200, Extended Stresstest/ TÜV Rheinland: Quality Controlled PV



- Seq 1a,1b: Damp Heat, UV-Licht von vorne und hinten, Humidity Freeze, Temperaturzyklen,
- Seq 2: 2000h Damp Heat,
- Seq 3: 600 Temperaturzyklen
- Seq 4: LeTID bei PERC
- Seq 5a,5b: PID + /PID –
- Seq 6: Statischer, dynamischer Belastungstest, Temperaturzyklen, Humidity Freeze,

\* Initial stabilization required, except Seq.4

\*\*No requirement on performance

# Zusammenfassung

- Maximale Qualität bei minimalem Preis schließt sich aus
- Neue Degradationsmechanismen bei PERC-Modulen
- Festlegung von (Test) Spezifikationen sind zur Maximierung des Ertrages und der Lebensdauer (Risikominimierung) unabdingbar
- Angekündigte Tests und Audits sind erforderlich

Danke für ihre Aufmerksamkeit !