



**BECAUSE WE CARE.**

## **Potenzialinduzierte Degradation - Wirtschaftliche und Wissenschaftliche Aspekte**

Robin Hirschl

Würzburg, 10. November 2015



1

ENcome Energy Performance

2

PID – Physikalische Grundlagen

3

PID – Fallstudie

4

Wirtschaftliche Aspekte von PID

5

Lösungsansätze gegen PID

6

PID – Prävention laufender Anlagen



1

ENcome Energy Performance

2

PID – Physikalische Grundlagen

3

PID – Fallstudie

4

Wirtschaftliche Aspekte von PID

5

Lösungsansätze gegen PID

6

PID – Prävention laufender Anlagen

## Highlights

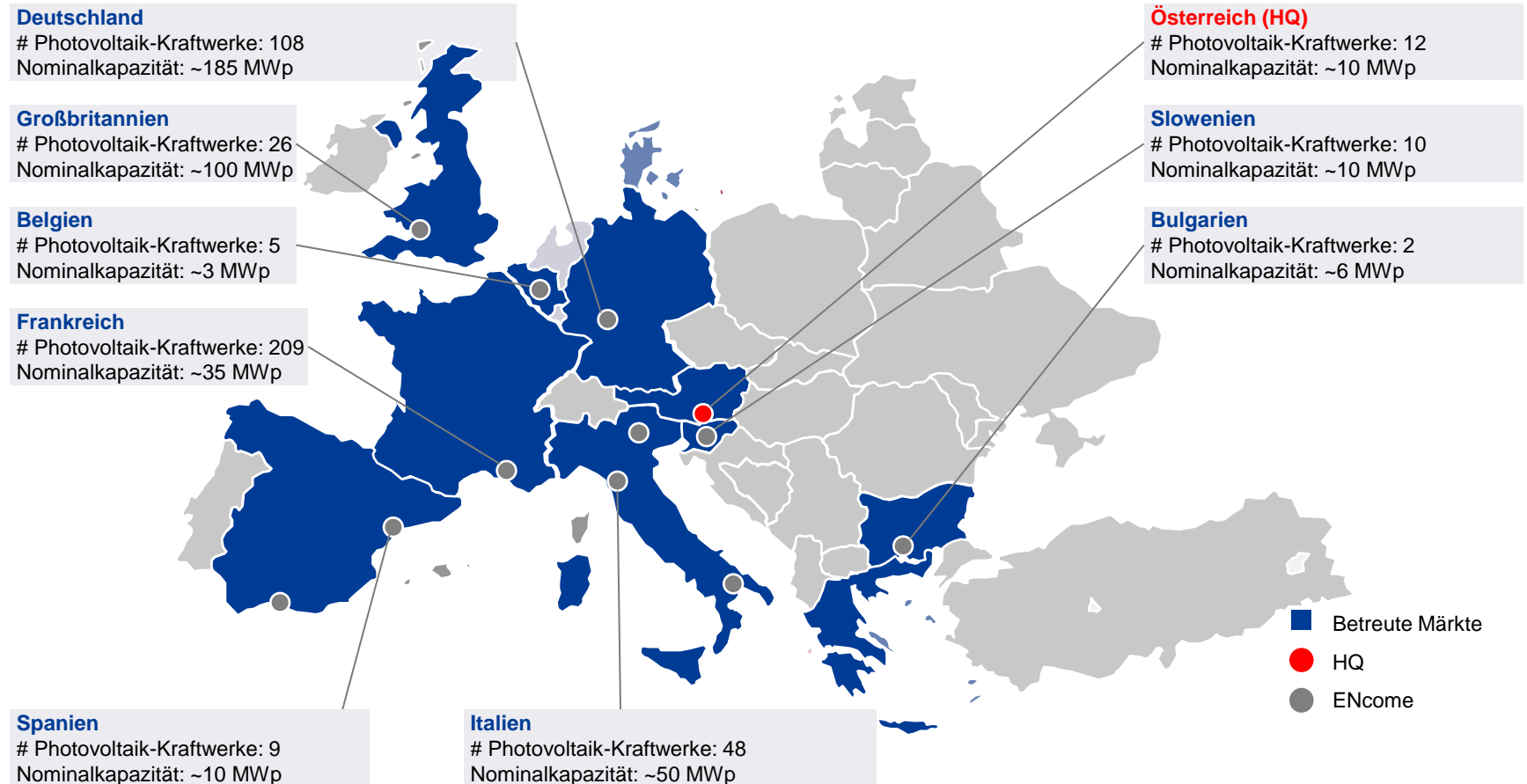
- Europaweit führender, unabhängiger Anbieter für den Betrieb von Photovoltaik-Kraftwerken mit Sitz in Klagenfurt, Österreich
- Zur Zeit mehr als 400 MWp „Assets under Management“
- Tochtergesellschaften, Standorte oder Partnerunternehmen in allen wesentlichen europäischen Photovoltaikmärkten und Japan
- Ca. 50 Mitarbeiter, mehrheitlich Techniker und Ingenieure stellen beste Ausbeuten in jeder Netzumgebung sicher

## Dienstleistungsangebot











**ENcome ist ein „one-stop-shop“ für diverse technische Dienstleistungen während des gesamten Lebenszyklus von Photovoltaik-Kraftwerken**

# ENcome betreibt mehrere hundert PV-Kraftwerke mit einer Nominalkapazität von > 400 MWp



# ENcome ist an diversen nationalen und internationalen Forschungsprojekten beteiligt

|  |   |   |
|--|---|---|
|    |    | <p><i>Photovoltaic Performance Analysis Method based on Infra-Red Technology</i></p> <p>Einfache, schnell anwendbare Methode, zerstörungsfrei und technologieunabhängig Modulfehler und Modulschäden festzustellen und zu bewerten – Rückschlüsse auf Langzeitverhalten</p>                                 |
|    |    | <p><i>Anlagendiagnostik und Modulanalyse basierend auf Standard-Charakterisierungsverfahren und neu entwickelten Messverfahren</i></p> <p>Methoden der Indoor-Modulcharakterisierung für die Verwendung in Freifeld überarbeiten bzw. zusätzliche Analysemethoden entwickeln. Lock-in Thermographie, EL</p> |
|    |    | <p><i>Intelligent Photovoltaic Module Technologies</i></p> <p>Entwicklung von intelligenten Komponenten für Photovoltaikmodule um deren Effizienz zu steigern, zum Beispiel hocheffizienter MPP-Tracker, verbesserte Rahmenstabilität und PID-resistentes Einbettungsmaterial aus Poly-Olefinen</p>         |
|  |  | <p><i>Climate-sensitive long-time reliability of photovoltaics</i></p> <p>Untersuchung des Langzeitverhaltens von Photovoltaik-Anlagen in verschiedenen Klimazonen, Entwicklung spezifischer Testmethoden und optimierter Komponenten</p>   |



1

ENcome Energy Performance

2

PID – Physikalische Grundlagen

3

PID – Fallstudie

4

Wirtschaftliche Aspekte von PID

5

Lösungsansätze gegen PID

6

PID – Prävention laufender Anlagen

# Potentialinduzierte Degradation ist seit fast einem Jahrzehnt bekannt

---

**PID** = **P**otential **I**nduzierte **D**egradation

→ eine durch Polarisation und Leckströme verursachte Leistungsminderung im PV Modul

## **PID Geschichte:**

- 2006: Fachmagazin *Photon* berichtete erstmals über diesen Effekt
- 2010/2011: Nachweis des PID-Effektes durch Versuche an Standardmodulen diverser Hersteller (Solon, PI-Berlin, TÜV Rheinland)
- 2012 zeigten 9 von 13 Module PID [J. Bagdahn, „Test results of potential induced degradation (PID) of solar modules from different manufacturers“, June 2012

## **Hauptmerkmale von PID**

- Leistungsverlust von Photovoltaik Modulen (Dünnschicht sowie kristalline PV)
- Klarer Zusammenhang zwischen Potential in Zellebene gegenüber Erde; je negativer das Potential, desto größer die Schädigung; d.h. Effekt verstärkt sich je negativer das Potential von der Zellebene gegen Rahmen (geerdet) ist
- In Strings werden Module seriell verschaltet, wobei die maximal zulässige Spannung 1 000 V beträgt (je nach Modulspezifikation). Je nach Wechselrichter kann dadurch ein Potenzial von maximal -1 000 V in Zellebene des äußersten PV Moduls gegenüber dem Rahmen (laut Vorschrift geerdet) auftreten.
- Meist Zellbefall ausgehend vom Rahmen nach innen
- PID entsteht über einen Zeitraum von einigen Monaten bis Jahren

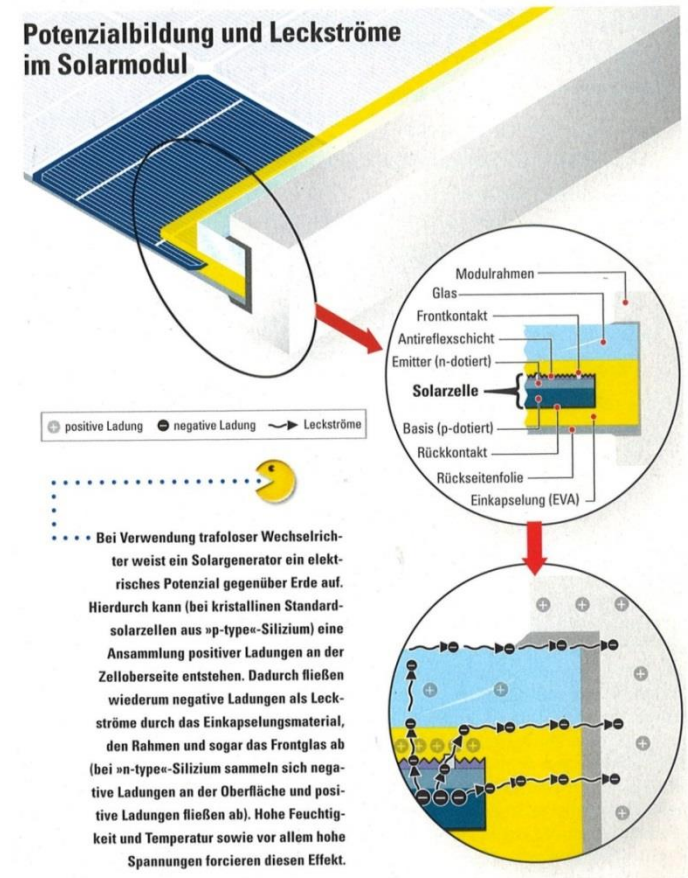
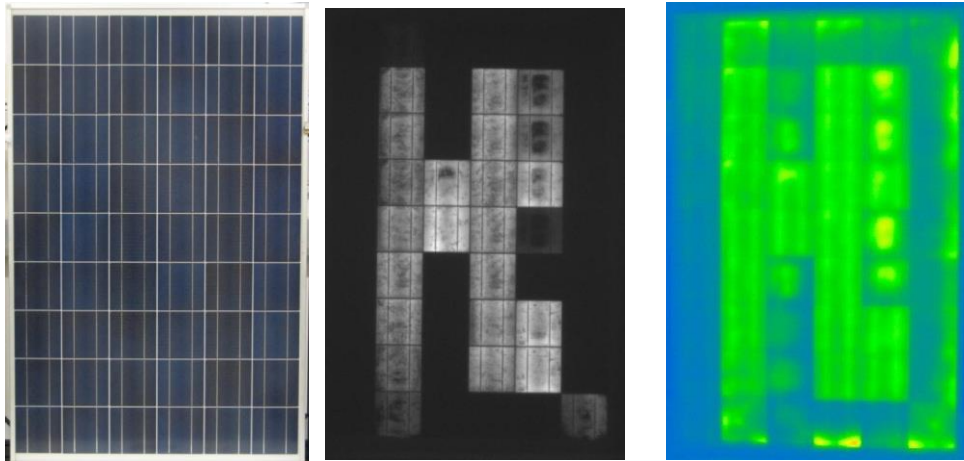


# Grundsätzliche Ursache ist ein negatives Potential zwischen Zellebene und Modulrahmen

Hohes negatives Potential zwischen Zellebene und Modulrahmen (Masse) verursacht Leckströme von **Na<sup>+</sup>-Ionen**. Diese wandern von der Glasoberfläche durch das Einkapselungsmaterial auf die Zelloberfläche, wo sie den Emitter mit der Zeit zerstören. Je mehr Feuchtigkeit im Modul vorhanden ist, desto schneller verläuft der Prozess.

Ursachen können auftreten auf:

- Zellebene
- Modulebene
- Systemebene



# Der Aufbau der Solarzelle kann die Anfälligkeit auf PID beeinflussen

---

- Anti-Reflex Beschichtung der Solarzelle
  - Zusammensetzung der AR-Schicht (Einfluss der Dicke und Leitfähigkeit des Siliziumnitrits (SiN))
- Wafer Material
  - Änderung der Dotierung
  - Änderung Basiswiderstand
  - Einfluss auf die PID Anfälligkeit von Solarzellen
- Emitter
  - Erhöhung des Emitter-Widerstandes
  - Steigerung der PID Anfälligkeit

# Auch die im Modul verwendeten Materialien sind für PID-Effekte maßgeblich

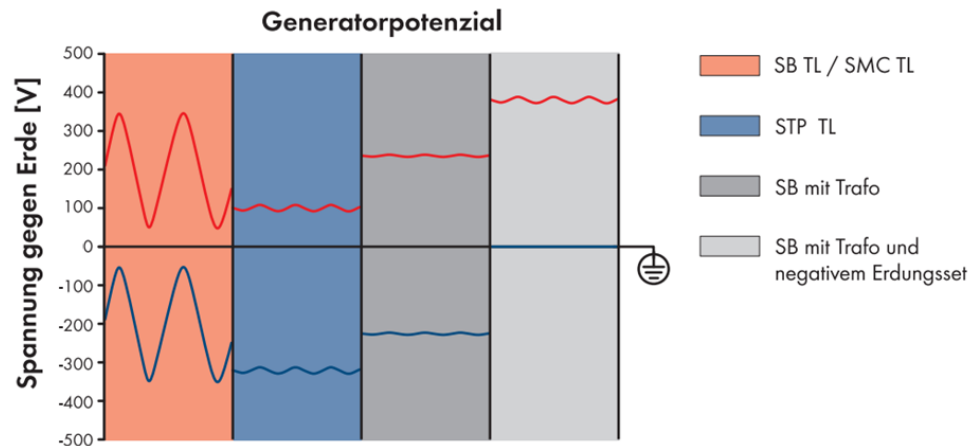
---

- Verwendung von Einbettungsmaterialien, die die Leitung der Na<sup>+</sup> Ionen beschleunigen
- Besonders bei EVA (Ethylenvinylacetat) als Einbettungsmaterial ist die Anfälligkeit für PID erhöht
- Nicht alle EVA Typen zeigen die gleichen PID Eigenschaften
- Auftreten von Leckströmen im Bereich EVA/Glas/Rahmen und Ableiten der Elektronen durch geerdeten Rahmen
- Verstärkung des Effektes durch Umwelteinflüsse wie Feuchtigkeit, Temperatur sowie Moduldesign (Rahmen, Glas,...)
- Module mit natriumarmen Gläsern (polymere Frontsheets) zeigen keine Effekte von PID

# Letztendlich entscheidet jedoch die Wechselrichter-topologie über die Möglichkeit eines PID-Befalls

Das Auftreten des PID-Effektes hängt von der Topologie des Wechselrichter ab → Wenn PV-Module starkem negativem Potential ausgesetzt sind werden PID Effekte verstärkt

- Stringlänge beeinflusst Systemspannung (Serienschaltung von Modulen)
- Bei traflosen Wechselrichtern ist die Spannung gegen Erde symmetrisch bzw. mehr zum Minuspol verschoben → begünstigt PID
- Trafo-Wechselrichter → Erdung möglich → PID Vermeidung (kein neg. Potential)



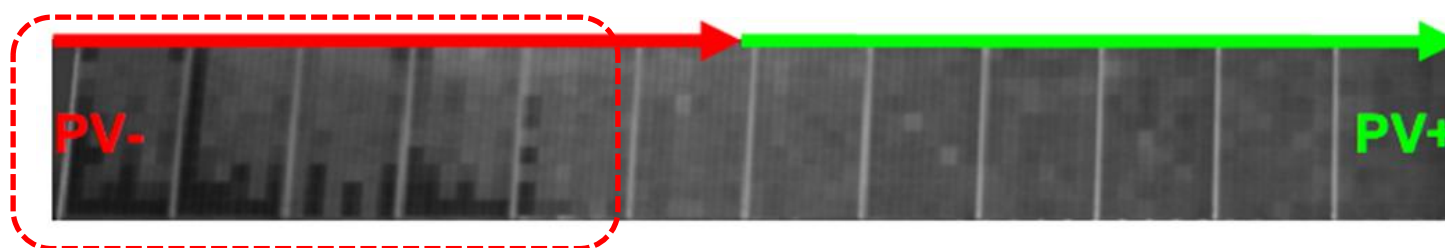
Das Potenzial des untersten (blau) bzw. obersten (rot) PV-Moduls eines Strangs hängt von dem eingesetzten Wechselrichter ab und davon, ob ein Generatorpol geerdet wird. Beispiel für eine MPP-Spannung von 400 V.

Quelle: SMA AG - Foto aus Aufklärungsprospekt Potential Induced Degradation

# PID-betroffene Systeme können mit verschiedenen Messmethoden identifiziert werden

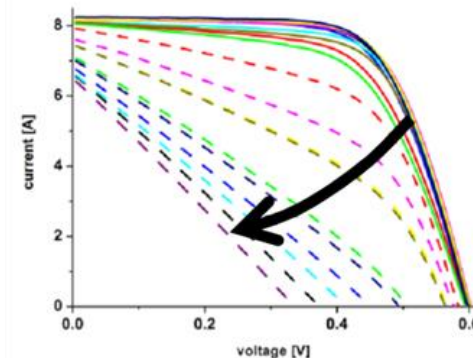
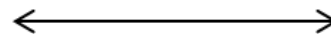
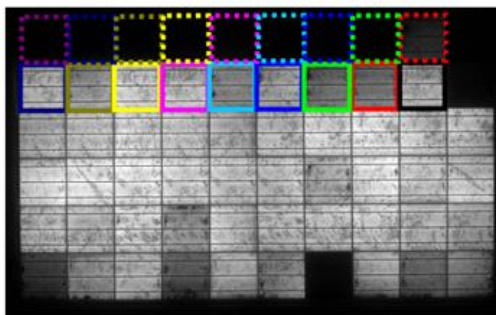
EL und auch TG Aufnahmen ermöglichen eine Detektion von PID befallenen Anlagen

Bsp: EL Aufnahme eines PID befallenen Strings (beginnend von der negative Seite aus, inaktive Zellen sind dunkel)



Quelle: Paper – S.Pingel et al. -- PID of Solar Cells and Panels

Auch Kennlinienmessungen können PID aufdecken. Keine typische Diodenkennlinie mehr ersichtlich.



Quelle: Paper – M.Schütze et al. -- Laboratory Study of PID of Silicon Photovoltaic Modules



1

ENcome Energy Performance

2

PID – Physikalische Grundlagen

3

PID – Fallstudie

4

Wirtschaftliche Aspekte von PID

5

Lösungsansätze gegen PID

6

PID – Prävention laufender Anlagen

# Die Identifikation von PID soll an einer Dachanlage in Marsala (Sizilien) gezeigt werden

Daten:

6 Strings  
(4 x 15 Module und  
2 x 14 Module)

3 x trafoloser (TL)  
Wechselrichter

Modultyp: 210 Wp

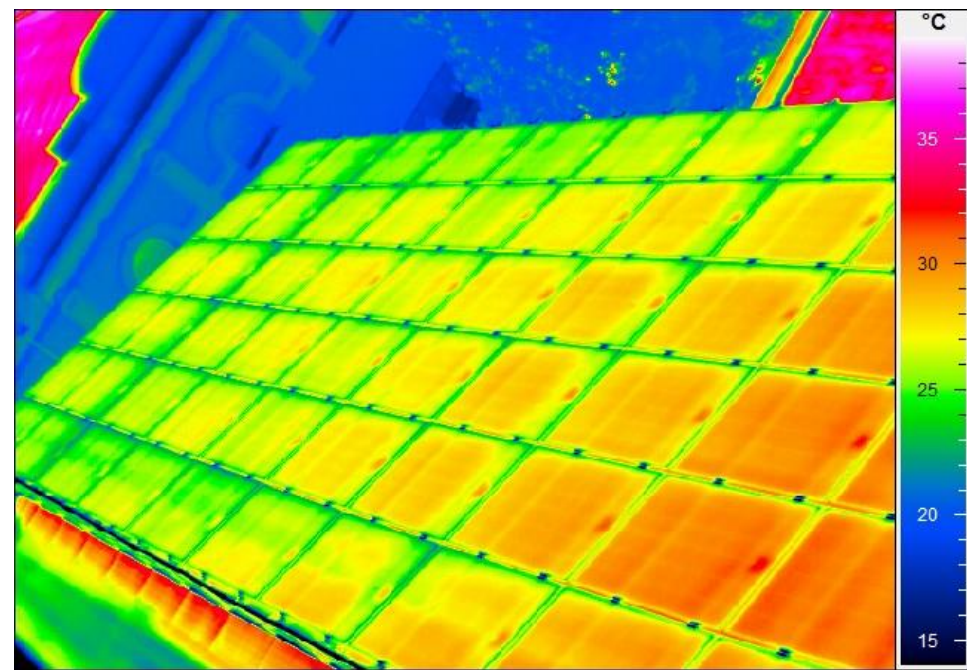
|   | 1 | 2 | 3 | 4 |     | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|-----|----|----|----|
| A | - |   |   |   | ... |    |    | +  |
| B | - |   |   |   | ... |    |    | +  |
| C | - |   |   |   | ... |    |    | +  |
| D | - |   |   |   | ... |    |    | +  |
| E |   | - |   |   | ... |    |    | +  |
| F |   | - |   |   | ... |    |    | +  |





# Bei einwandfreier Funktion zeigt die Anlage ein weitestgehend homogenes Temperaturbild

Über die Thermographie wird der Status der Anlage dokumentiert und als Indiz für die einwandfreie Funktion herangezogen.  
Durch eine Änderung im Anlagenkonzept wäre der Betreiber des PV Kraftwerks vor dem PID-Effekt geschützt.



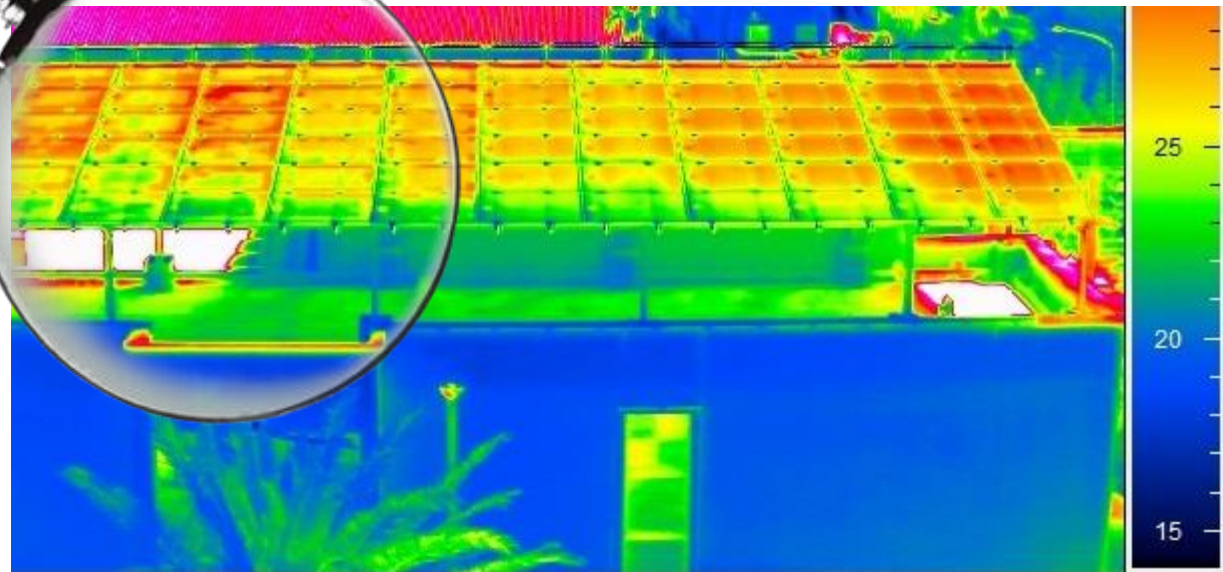
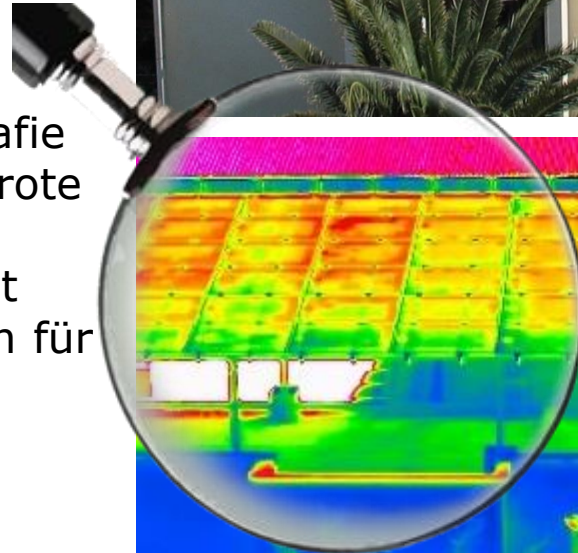


# Das PID-betroffene System zeigt schon bei erster IR Betrachtung charakteristische Symptome

In der Thermographie sieht man, dass die Abschnitte, welche negativem Potential ausgesetzt sind, PID an den PV Modulen zeigen.



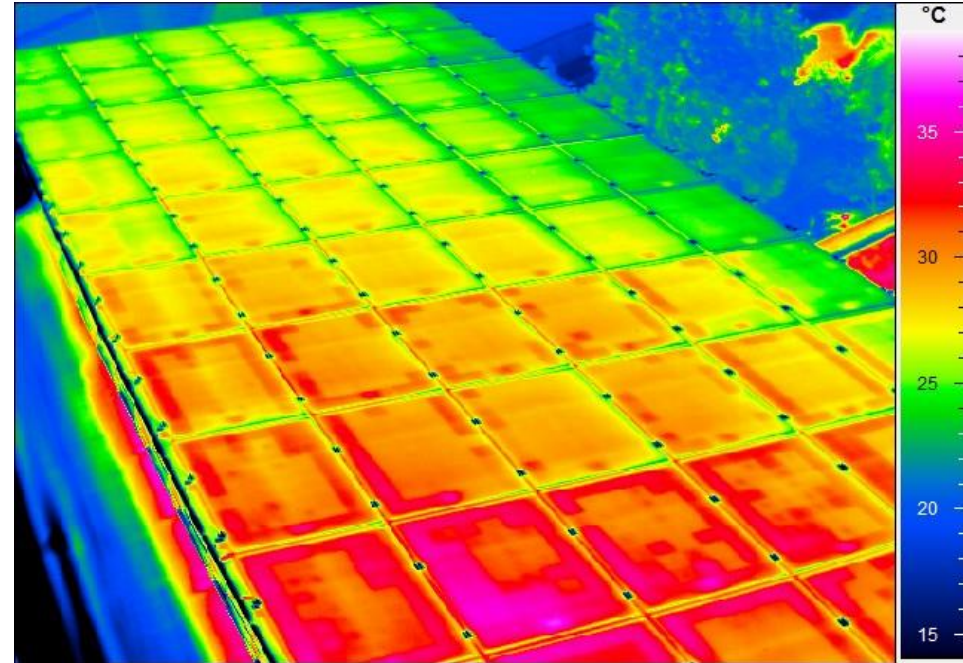
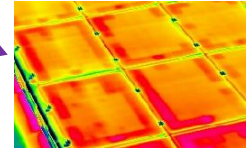
Der in der Thermografie wärmer angezeigte „rote Ring“ entlang des Modulrahmens ist dabei charakteristisch für PID.



# Detailaufnahmen verifizieren die initiale Betrachtung und erlauben es den PID Effekt zu quantifizieren

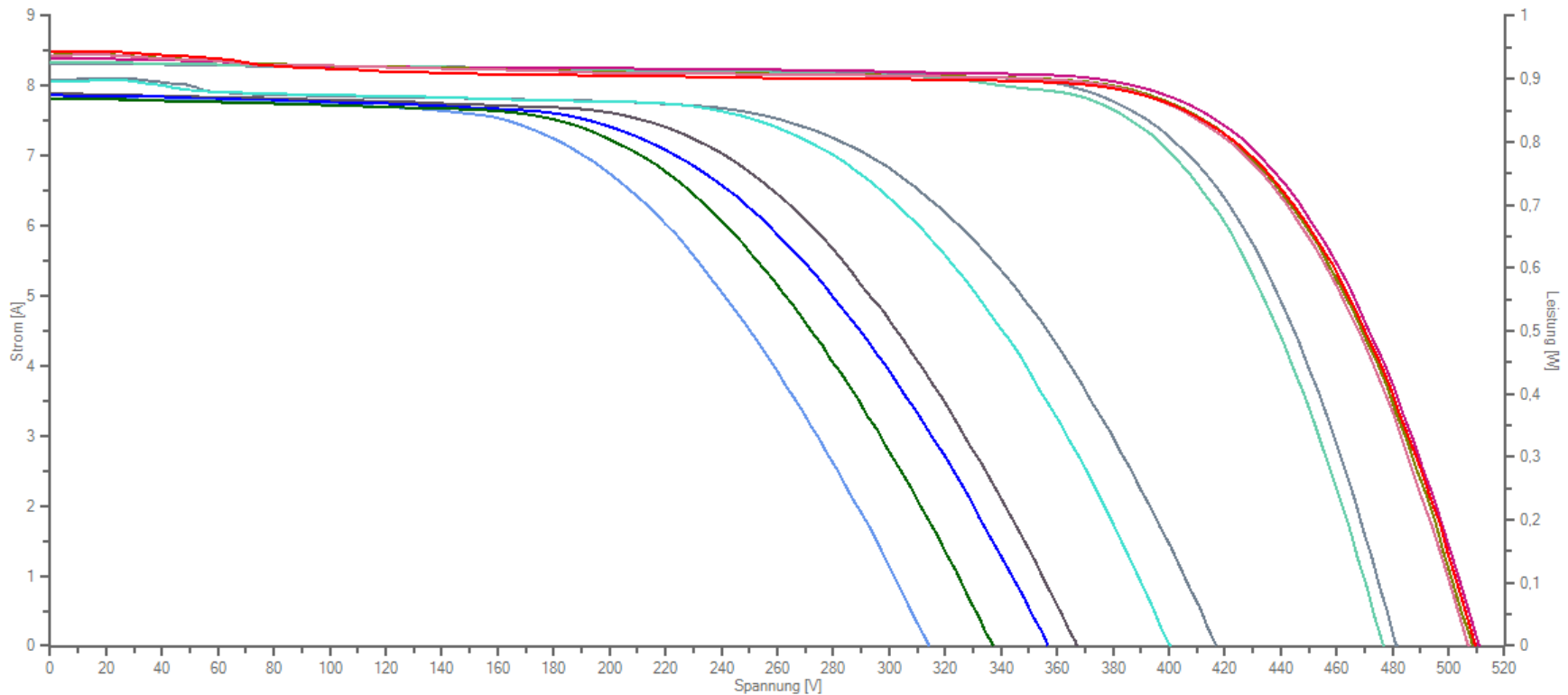
Thermographisch eindeutiger sind Aufnahmen welche die Module aus nächster Nähe zeigen. Sehr deutlich sind die typischen PID Muster zu erkennen.

Auffallend ist, dass etwa 70 % jedes Strings PID belastet sind.





# In-situ String-Messungen zeigen deutlich die Effekte von PID, in erster Line auf die Leerlaufspannung



4 String zu je 15 Module a 210 Wp  
2 Strings zu je 14 Module a 210 Wp

PID befallene Strings

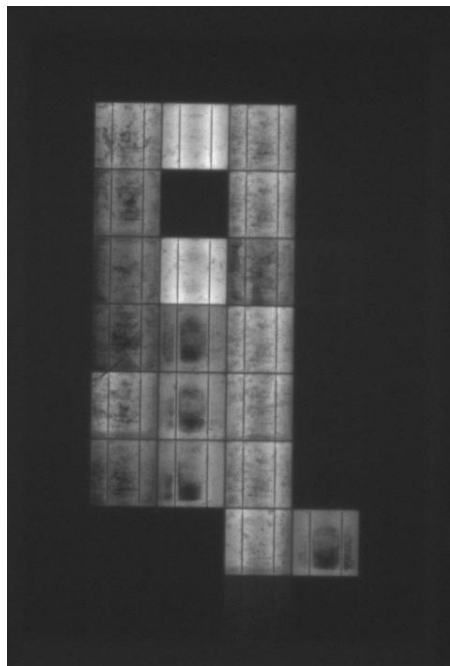
PID freie Strings

# Im Zweifelsfall bestätigen Elektrolumineszenz Messungen die potentialinduzierte Degradation

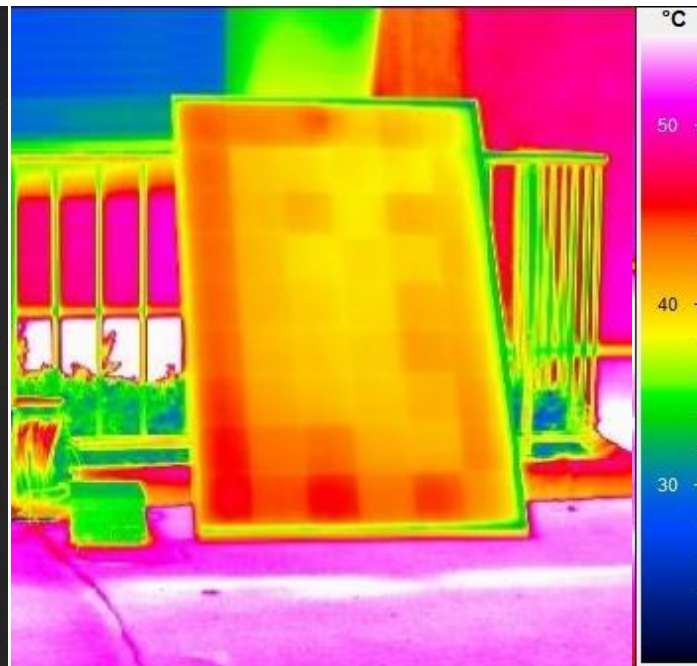
Separate Elektrolumineszenz und Thermographie Messung eines PID  
befallenen Moduls der Anlage:

Der Vergleich von Thermographie und Elektrolumineszenz zeigt deutlich  
Ähnlichkeiten im Zellmuster. Somit bestätigt das Standardverfahren  
Elektrolumineszenz die Erkenntnisse der (in-situ) Thermographie Messungen

EL Aufnahme



TG Aufnahme





1

ENcome Energy Performance

2

PID – Physikalische Grundlagen

3

PID – Fallstudie

4

Wirtschaftliche Aspekte von PID

5

Lösungsansätze gegen PID

6

PID – Prävention laufender Anlagen

# Diverse Studien bestätigen: PID kann in allen Klimazonen auftreten

- Erhöhtes Auftreten in warmen, feuchten Klimazonen in Küstennähe, da besonders Temperatur, Feuchtigkeit und Salznebel den Prozess beschleunigen
- Auch fernab von Küsten können PV Anlagen jedoch betroffen sein



Source PI Berlin – Quality for Photovoltaic Webinar 30-9-2014  
PID cases evaluated by PI Berlin

# Module jedes Herstellers können von PID betroffen sein

- Alle Glas-Folie Module die EVA als Einbettungsmaterial verwenden können PID zeigen
- Polyolefine als Einbettungsmaterial zeigen kein PID Verhalten
- PVB (Polyvinylbutyral) als Einbettungsmaterial zeigt kein PID Verhalten
- Glas-Glas Module zeigen normalerweise auch kein PID, da dort EVA nicht zum Einsatz kommt
- Keine Korrelation mit den unterschiedlichen Backsheets oder Glasdicken konnte nachgewiesen werden

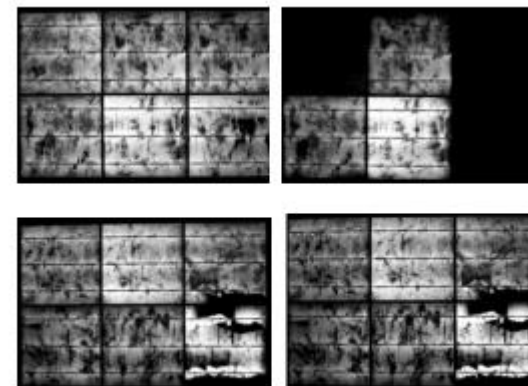
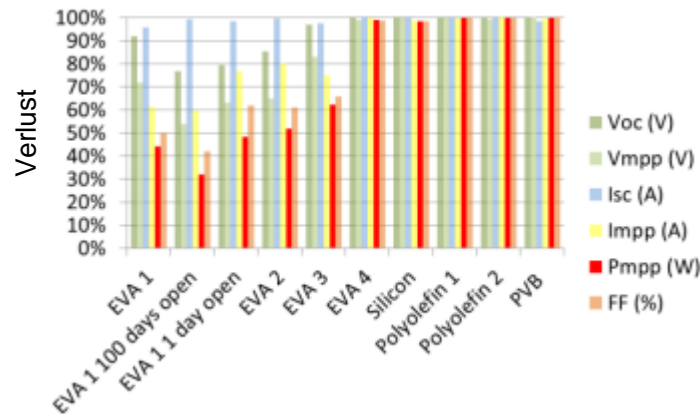
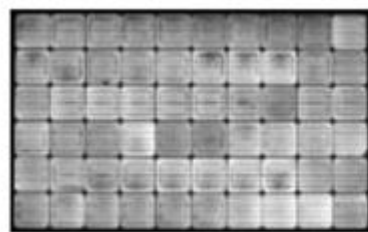
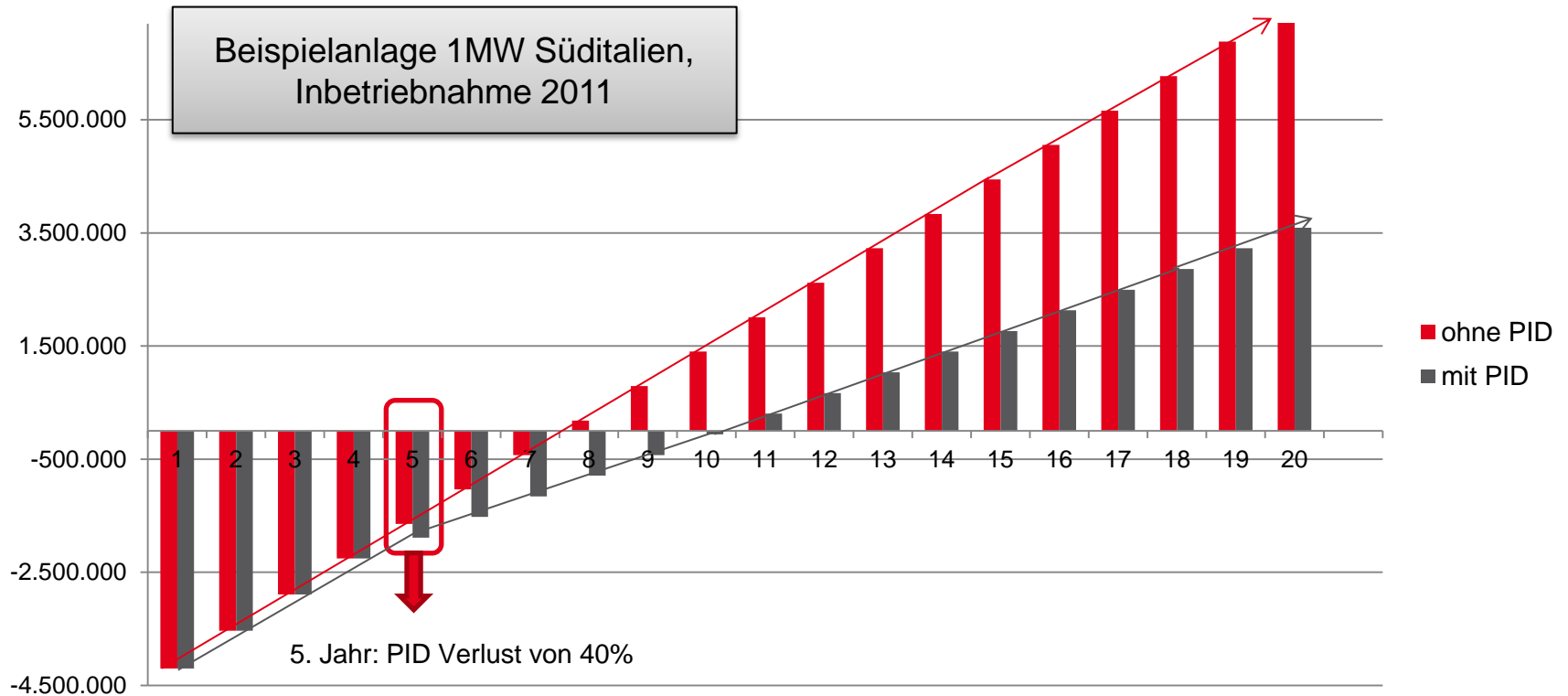


Fig.13: EL picture of the module no. 1 with EVA at top before and after 24h PID test. At the bottom the same for module no. 9 with PVB.

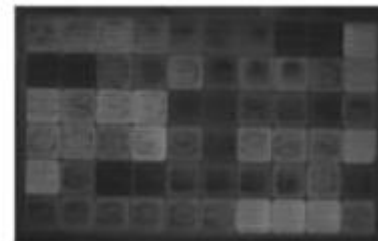
## 24 h PID Test (60°C, 85% rF, -1000 V)

“Investigation of potential induced degradation (PID) of solar modules from different manufacturers”, Schwark et. al., PVSEC 2014

# Für Anlagenbetreiber bedeutet PID einen signifikanten Einnahmenverlust



Von 100% Leistung im  
1. Jahr auf 60%  
Leistung im 5. Jahr





# Der Retrofit einer betroffenen Anlage kann Abhilfe schaffen



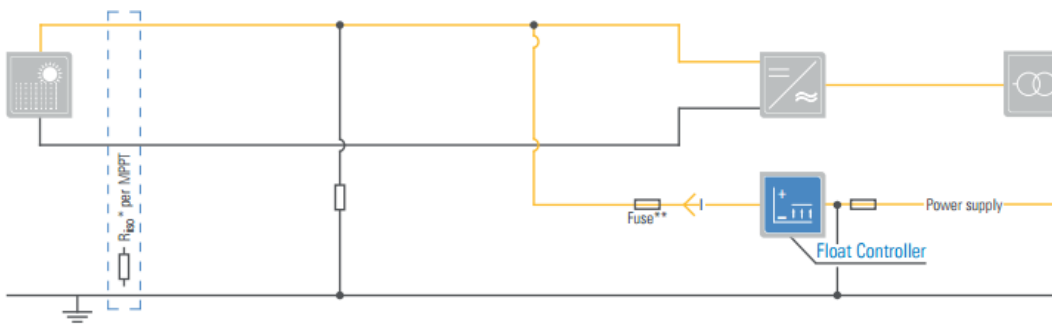
1 MW Anlage mit 15 kWp String Wechselrichter  
= 60 installierte WR

Geräte gegen PID  
Installation (Montage  
+ Stromversorgung

60x350€ = 21.000€

60x 70€ = 4.200€

**Gesamtkosten für eine Vorsorge gegen PID 25.200€**



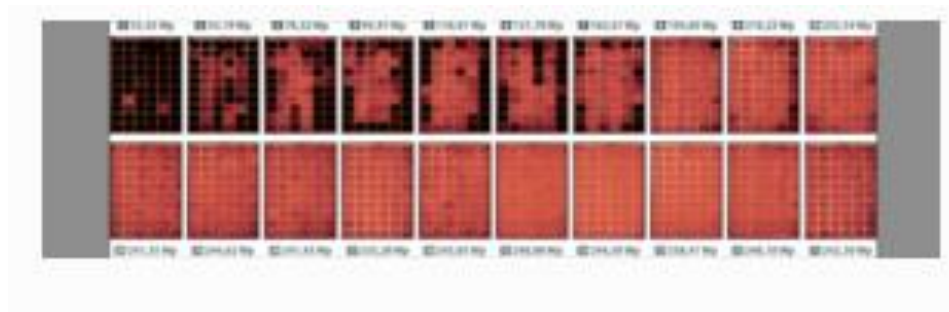
# PID stellt auch für Modulhersteller eine große Herausforderung dar

Zitat aus einem Artikel pv magazine:  
Mindestens **160 MW** sind in **Deutschland** von **PID** betroffen

- Davon 50% der Module → 80MW
  - Modulpreisannahme 50cent /Wp
  - Kosten für Module 40 Mio. €
  - Modultausch 25€/Modul
  - Kosten für Modultausch 8 Mio.€
- 
- Gesamtkosten für die Modulhersteller bis zu **48 Mio. €** alleine in Deutschland



[http://www.pv-magazine.de/nachrichten/details/beitrag/pid-bedingte-leistungsverluste-im-solarpark---schwarzes-oder-weies-schaf\\_100020785/](http://www.pv-magazine.de/nachrichten/details/beitrag/pid-bedingte-leistungsverluste-im-solarpark---schwarzes-oder-weies-schaf_100020785/)





1

ENcome Energy Performance

2

PID – Physikalische Grundlagen

3

PID – Fallstudie

4

Wirtschaftliche Aspekte von PID

5

Lösungsansätze gegen PID

6

PID – Prävention laufender Anlagen

# PID kann auf Zell-, Modul- und Systemebene bekämpft werden

Folgende Maßnahmen können präventiv gegen das Auftreten von PID in Betracht gezogen werden:

## Zellebene

Modifizierung der Anitreflex-Schicht durch angepassten PECVD<sup>1)</sup> Prozess

1) Plasma-enhanced chemical vapor deposition

## Modulebene

Änderung des Einkapselungsmaterials

Beispiel:

Auf Silicon basierendes Material ändern

Hersteller: Wacker  
Produkt: Tectosil



*Diverse Institute bieten bereits PID Resistenz Überprüfungstests an. Dies geschieht nach IEC 62804 (08-2015)*

## Systemebene

Erden des negativen Pols des Wechselrichters

Trafo Wechselrichter:  
Fronius Galvo



# Viele Hersteller von PV Komponenten bieten Produkte gegen potentialinduzierte Degradation an

## Anti PID-Solarzelle (Q6LMXP3)



### DIE NEUE Q-CELLS GENERATION

- Anti PID Technology (APT)<sup>1</sup>: **Sichere Erträge durch Verhinderung einer potential-induzierten Degradation auf Zellebene.**

Quelle: Q-Cells SE - Foto und Text aus Prospekt

## PV OFFSET BOX (PVO-11)



Quelle: SMA AG - Foto Prospekt

Erhaltung der Leistung von PV-Modulen mit Polarisierungseffekten für trafolose Wechselrichter

Nur nachtaktiv → Anlegen einer Gegenspannung (Leistungsaufnahme: 1,2 Watt)

Box wurde 2015 in der Produktion eingestellt

# Auch Spezialprodukte gegen PID befinden sich am Markt

## Padcon PID Killer

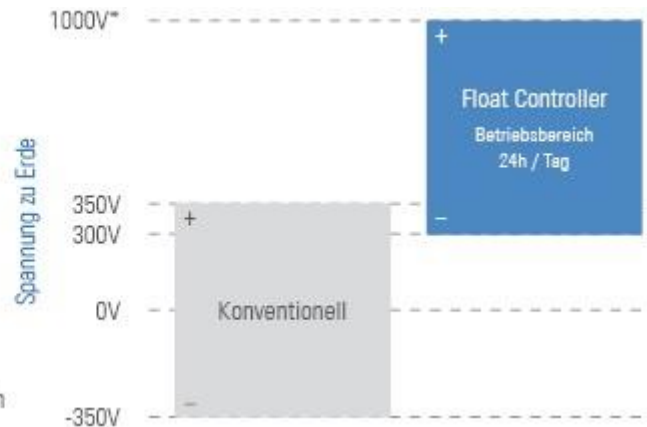
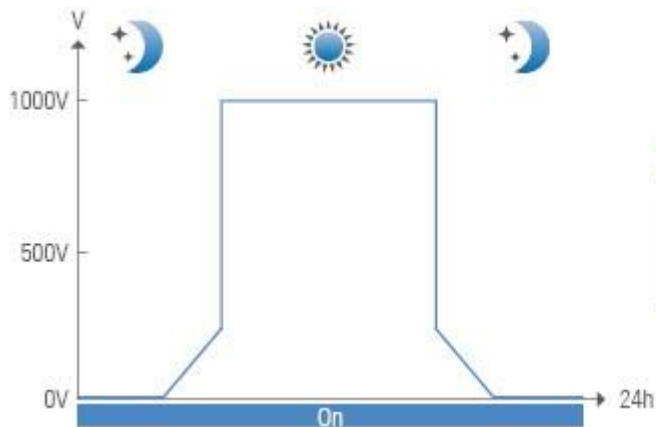


Verschaltung: Bis zu 8 MPPT tracker pro Box

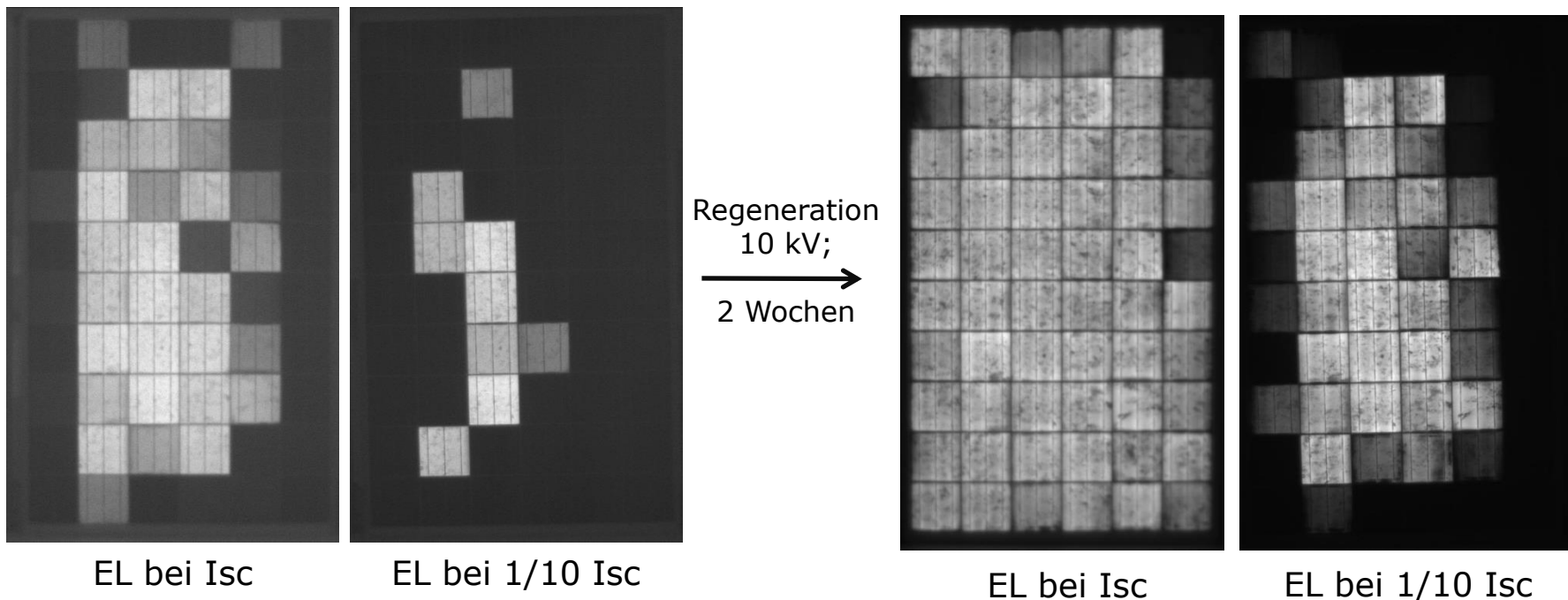
Potentialanhebung 24h/Tag

Für Anlagen bis 1000V DC Systemspannung

Lösungen für String- und Zentralwechselrichter (zB ABB, REFUsoL, KACO, SMA und andere...)



# Bei starkem PID Befall werden selbst unter Laborbedingungen lange Regenerationszeiten gemessen



| Leistung [Wp] |                            |                            |                |
|---------------|----------------------------|----------------------------|----------------|
|               | nach 168 h<br>Regeneration | nach 336 h<br>Regeneration | Sollwert Modul |
| vor Test      | 190,63                     | 201,58                     | 240            |
| 100,58        |                            |                            |                |

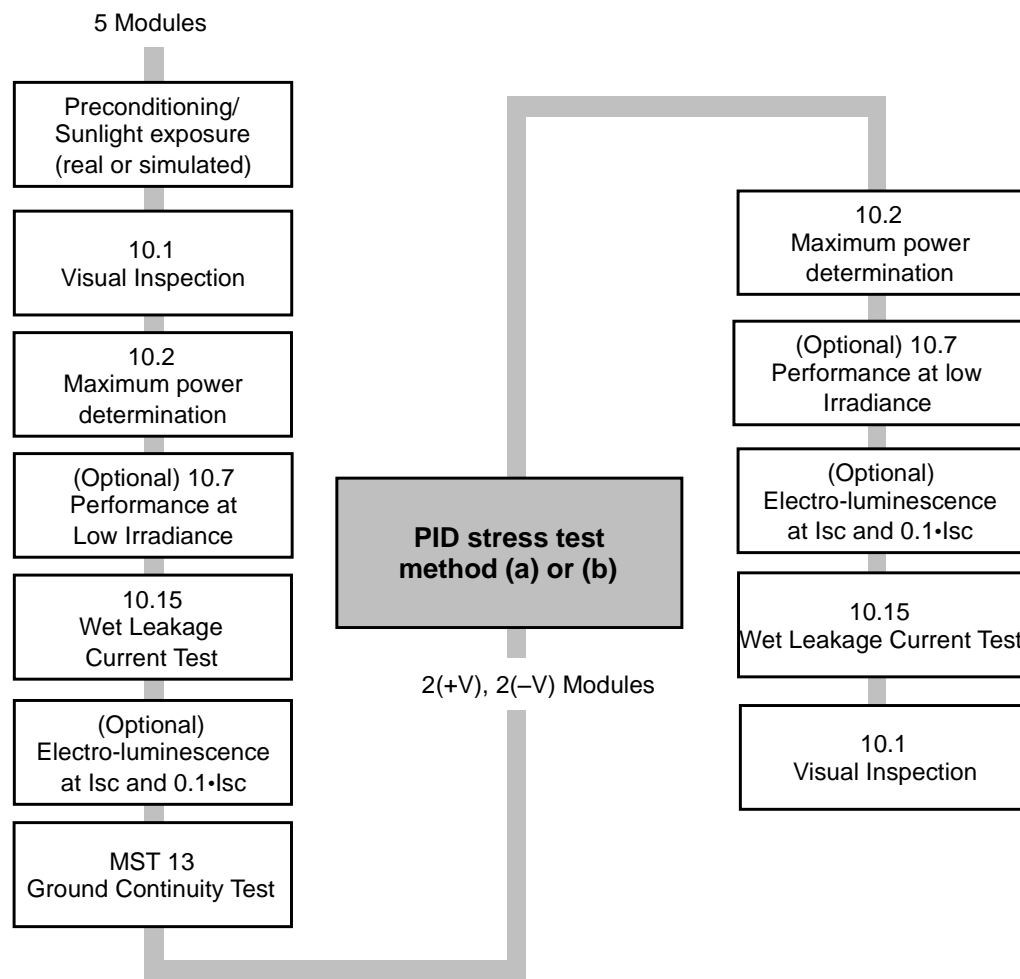
**Testbedingungen:** 85° C; 15% r.F.; 2 Wochen; 10 000 V DC

# Mit der IEC 62804 ist eine technische Richtlinie zur Prüfung neuer PV Module auf PID vorhanden

Zwei Methoden:

1. Klimakammer mit 85 % Luftfeuchte 60°C für 96 h und maximale Systemspannung

2. Oberflächenelektrode mit maximaler Systemspannung 168 h bei 25°C



Quelle: Austrian Institute of Technology, Michael Schwark





1

ENcome Energy Performance

2

PID – Physikalische Grundlagen

3

PID – Fallstudie

4

Wirtschaftliche Aspekte von PID

5

Lösungsansätze gegen PID

6

PID – Prävention laufender Anlagen

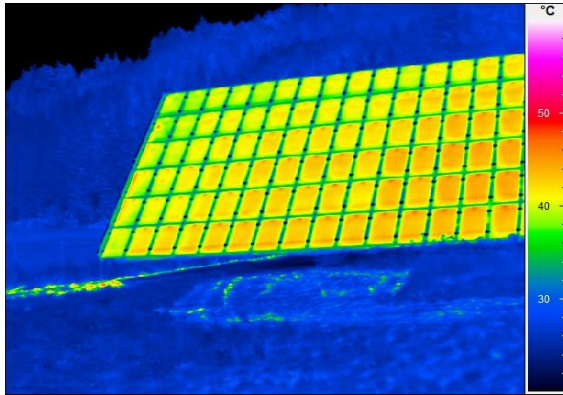
# PID Früherkennung fängt mit einem detaillierten Monitoring von PV Anlagen an

## ENcome Energy Monitor



- Notwendigkeit eines Monitoring-systems mit PR Messung basierend auf lokal gemessenen Einstrahlungsdaten
- Regelmäßige Überwachung der langfristigen Tendenzen
- Sinkende PR kann, muss aber nicht auf ein PID Problem hinweisen

# Regelmäßige IR Untersuchungen vor allem in den ersten Jahren hilft PID in Frühphasen zu entdecken



PID typische Erwärmung im Rahmenbereich nicht erkennbar – somit noch keine PID Gefahr

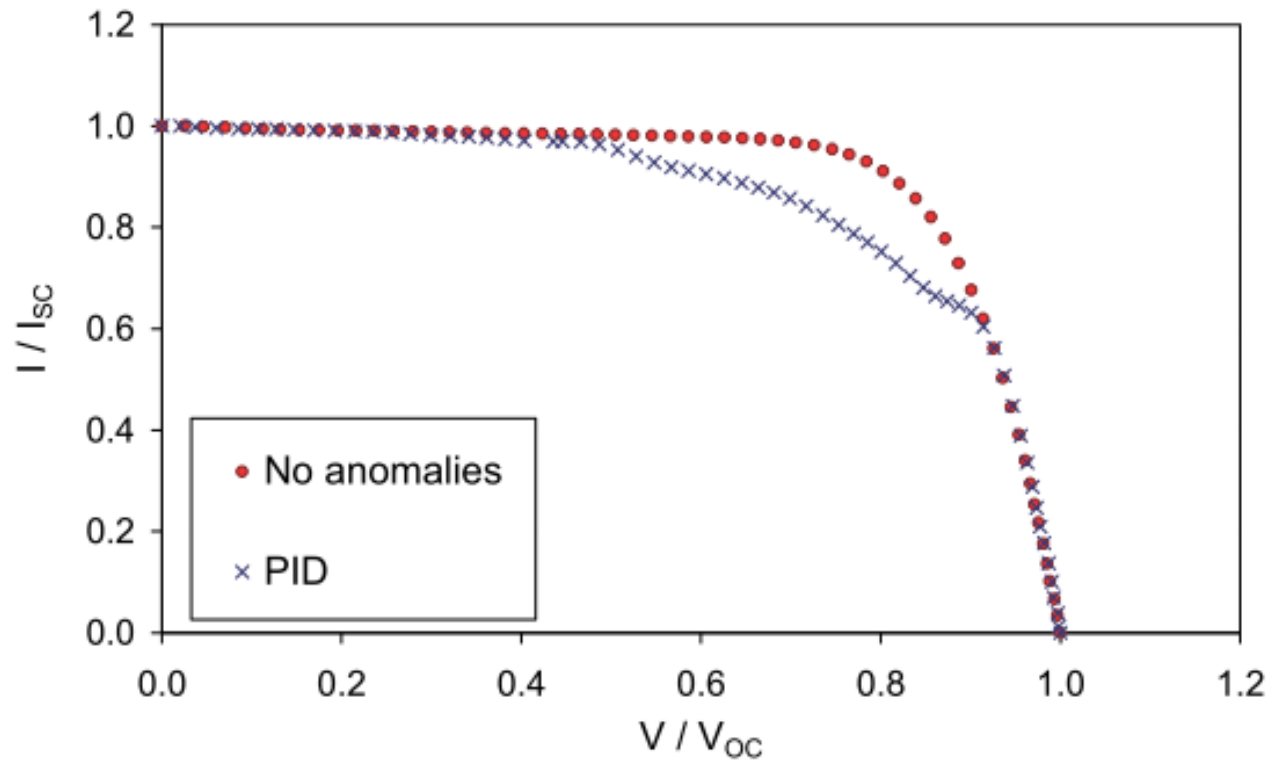
Einzelne Zellen im Randbereich der Module zeigen eine stärkere Erwärmung -> Indikation für PID



Quelle: PV Magazine / Solon (10/2013)

# Jährliche stichprobenartige Kennlinienmessungen können die Aussagen verifizieren

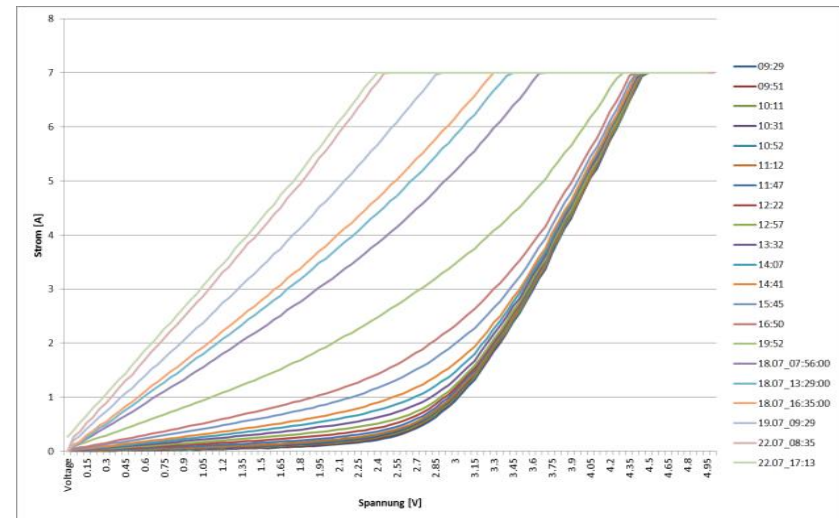
Im Vergleich mit störungsfreien Kennlinien sind beginnende PID Effekt deutlich zu erkennen



# Im Zweifelsfall ist eine Verifizierung im Labor empfehlenswert, z.B. mittels Dunkelkennlinie

## PID Messung mit in situ Dunkelkennlinien-Monitoring

- PID-Vergleich von PV Modulen in wenigen Stunden
- Zeitliche Verlauf des Parallelwiderstandes
- Vollautomatische Messung von 4 Modulen mit Leckstromerfassung
- Auch ohne Klimakammer anwendbar



## Veränderung der Dunkelkennlinie während PID Test

Quelle: Austrian Institute of Technology, Michael Schwark

# ENcome Energy Performance bedankt sich bei seinen Sponsoren und Kooperationspartnern

---





## Dr. Robin Hirschl

CEO

+43 (0) 664 91 00 557

robin.hirschl@en-come.com

ENcome Energy Performance GmbH

Lakeside B08b

A-9020 Klagenfurt / Austria



© ENcome Energy Performance GmbH. All rights reserved. All contents mentioned herein are intellectual property of ENcome Energy Performance GmbH (hereinafter „ENcome“). Usage of such contents as well as assignment or transfer of such contents and intellectual property rights is only allowed upon explicit written consent of ENcome. All contents of this document have been provided by ENcome. They are non-binding and for information purposes only. Contents may not be reproduced in parts or as a whole, nor changed without prior written consent of ENcome. ENcome accepts no liability for mistakes of any kind in this document.