

**Qualitätsinfrastruktur in BW** für die  
Energiewende in Deutschland, Europa und  
weltweit

Beispiel: Modulprüfung / Charakterisierung

CallLab  
PV Module

# Agenda

---

- **Kurzvorstellung der Abteilung  
Modulcharakterisierung und Zuverlässigkeit**
- Langzeit-Trends: gemessene vs. nominelle  
Modulleistung & Initialdegradation
- Nachtrag: FNEE –Themenpapier „Großkraftwerke“

# Modulcharakterisierung & Zuverlässigkeit

## Kurzüberblick Abteilung

- Akkreditiertes Kalibrierlabor PV-Module
- Akkreditiertes Labor für Zuverlässigkeitsprüfungen
- Methodenentwicklung für Modulprüfungen
- Degradationsanalytik

CalLab  
PV Modules

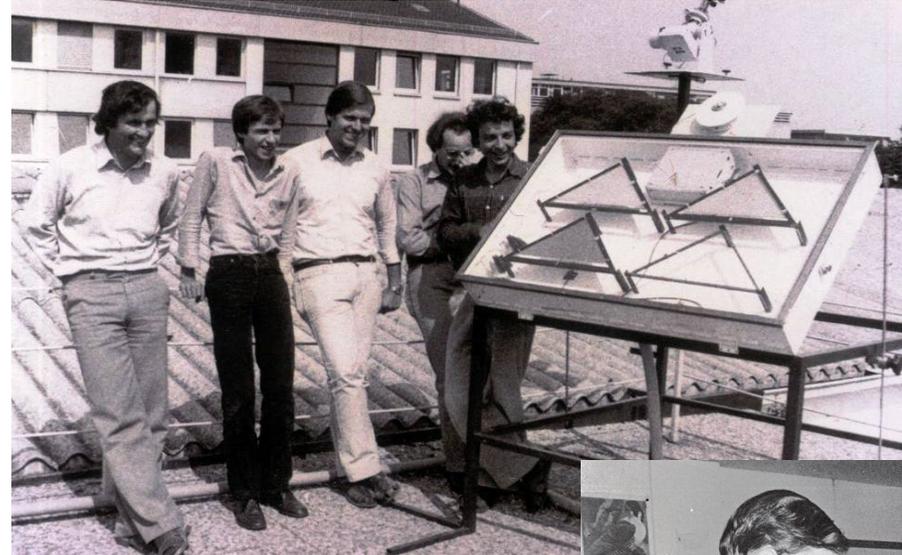


Deutsche  
Akkreditierungsstelle  
D-K-11140-02-00

TestLab  
PV Modules



Deutsche  
Akkreditierungsstelle  
D-PL-11140-03-02



Anfänge der Zell- und  
Modulkalibrierung am  
Fraunhofer ISE (1986)

Oben: Klaus Heidler (2.v.r.) mit  
Kollegen aus dem Kalibrierlabor  
Rechts: Adolf Götzberger im  
Kalibrierlabor



# Kalibrierlabor

## CalLab PV-Modules

### Kalibrierlabor

entspr. DIN EN ISO/IEC 17025

Eines von nur fünf Kalibrierlaboren für PV-Module weltweit



### Führende Messunsicherheit

auf 1,1 % für  $P_{MPP}$

Primärreferenziert auf Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB

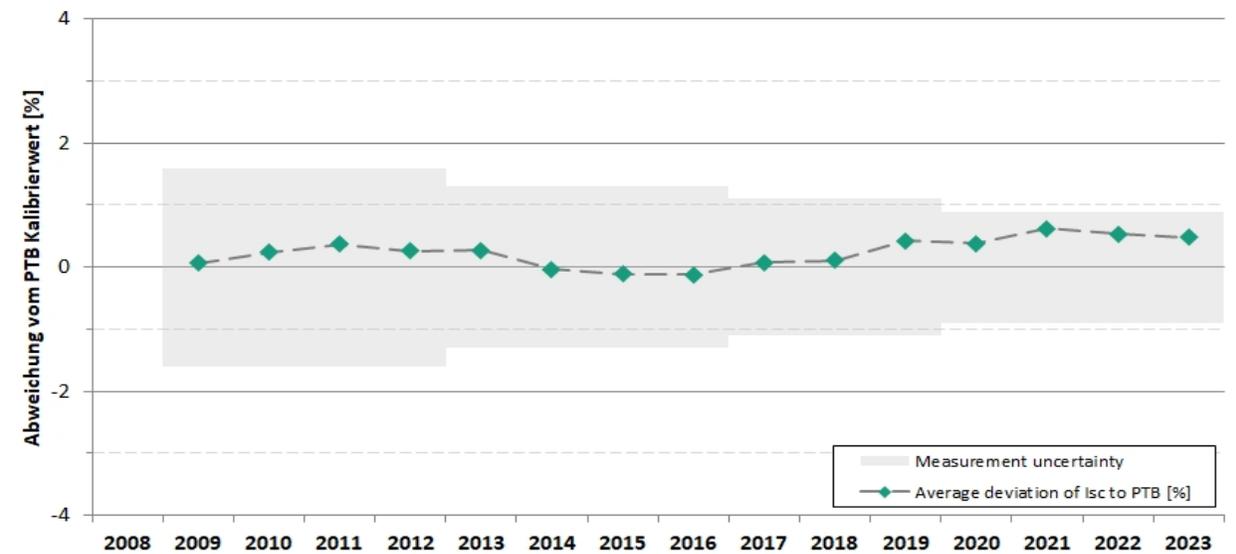
### Stabilität und Erfahrung

Mehr als 17 Jahre Rückverfolgbarkeit

Fast alle Tier-1-Hersteller weltweit erhalten Referenzen von CalLab PV-Modules



Messung von primärkalibrierten WPVS Referenzzellen

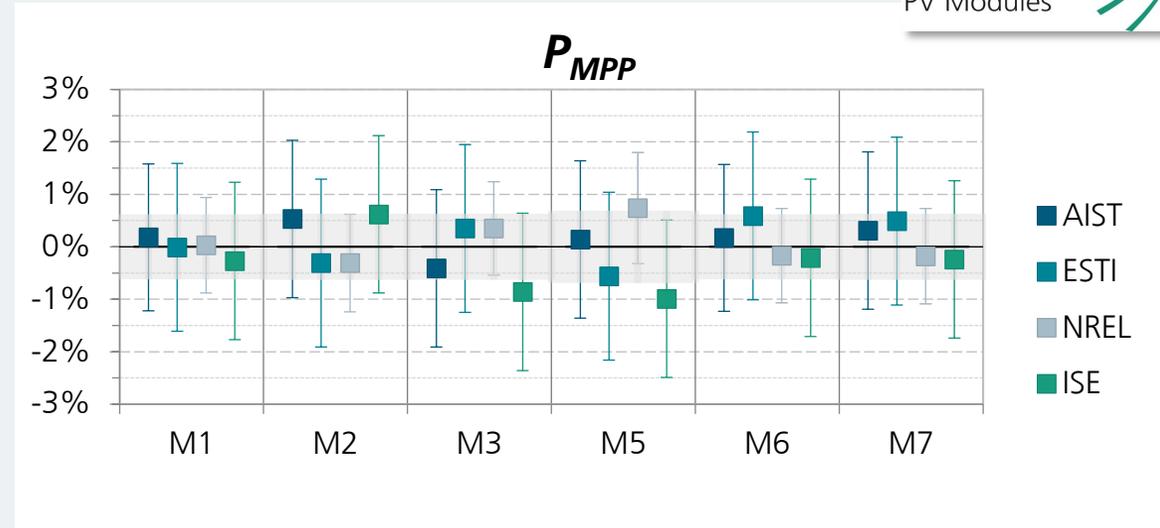


# Kalibrierlabor

## Maßnahmen zur Qualitätssicherung

### Stabile und präzise Ergebnisse über Jahre

- Wöchentliche/monatliche/vierteljährliche Intervalle für Kontrollmessungen mit hauseigenen Referenzen
- Wöchentliche Kontrolle der Messspektren
- Primäre Referenzzellen der PTB
- Regelmäßig Ringvergleiche [1,2]
- Regelmäßige Referenzmessungen mit der PTB



**Internationaler Rundvergleich: Abweichung der Messwerte für verschiedene Modultypen. Abweichung durchgängig < 1% vom Durchschnittswert (2021)**

**Standard MU für  $P_{MPP}$ :  $\pm 1.5\%$**

**Kalibrierung MU für  $P_{MPP}$ :  $\pm 1.1\%$  to  $1.4\%$**

# Charakterisierung und Prüfung

TestLab PV-Modules

## Prüflabor

entspr. DIN EN ISO/IEC 17025

## IECEE Autorisiert

Certification Body Test Laboratory (CB-Scheme)

## Leistung, Zuverlässigkeit, Sicherheit

IEC 61215 and IEC 61730 (incl. UL)

Siehe auch unseren die Geltungsbereiche der Akkreditierungen



**Certification Body:**

VDE Testing and Certification Institute

TestLab  
PV Modules



**CBTL Status:**

CB Testing Laboratory (CBTL) | IECEE

**Geltungsbereich:**

TestLab PV Modules - Fraunhofer ISE

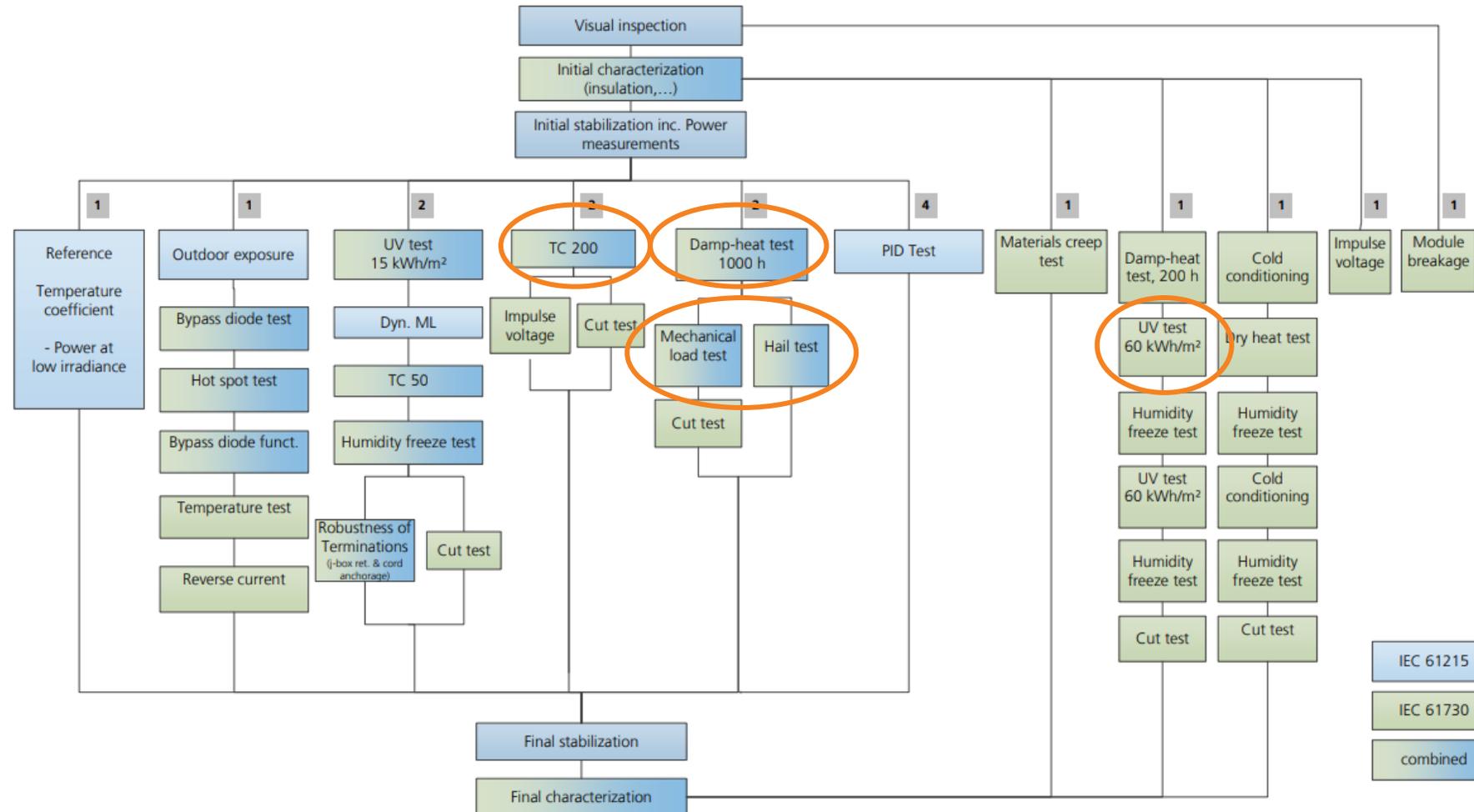
# Zertifizierungsprüfungen

## IEC 61215 und IEC 61730

### Tests:

- Damp-Heat 1000 h
- Temperaturwechsel (200 Zyklen)
- Mechanische Last & Hagel
- UV 60 kWh\* \*(ohne P-Bewertung)

Verschiedene Module werden unterschiedlich belastet

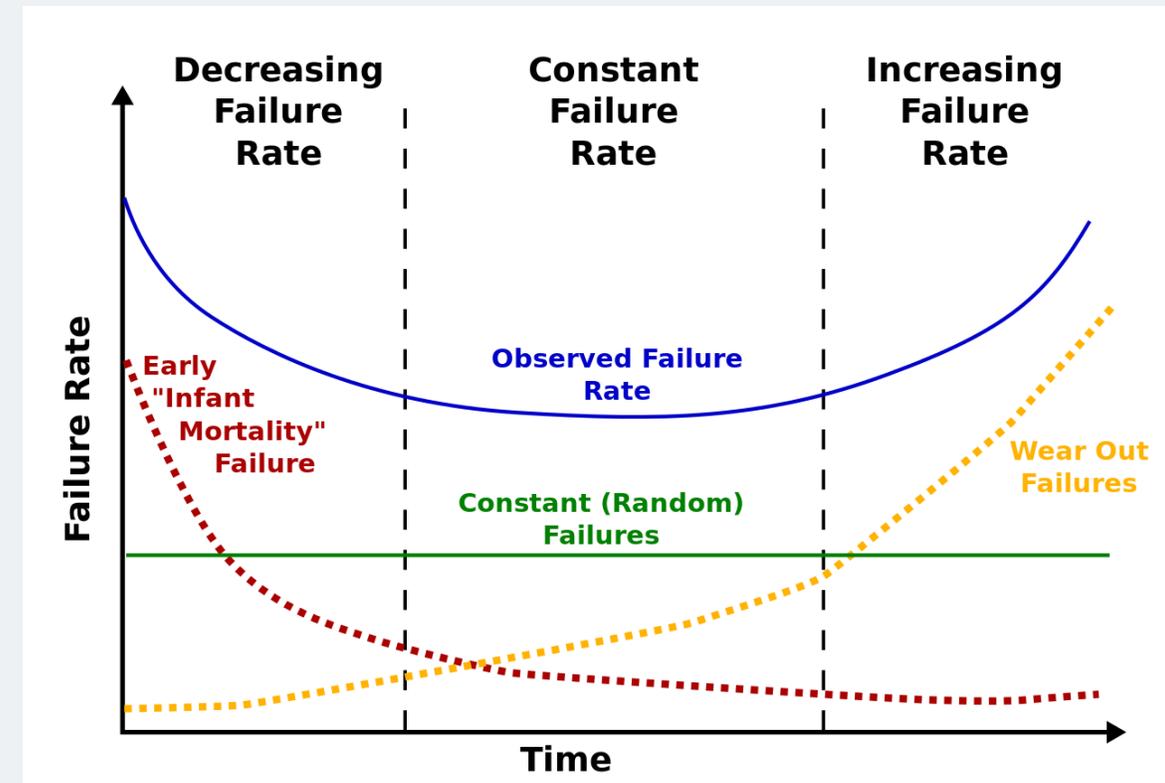
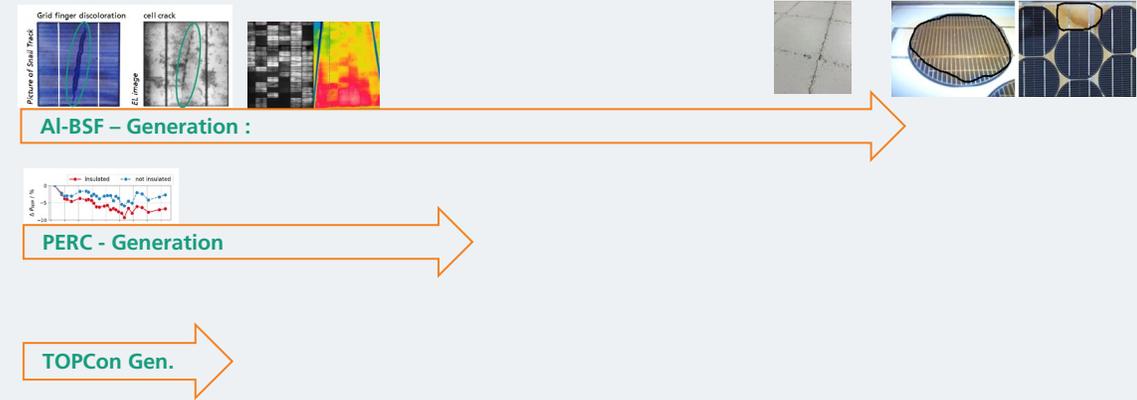


# Entwicklung Prüfmethode

Risiken frühzeitig erkennen

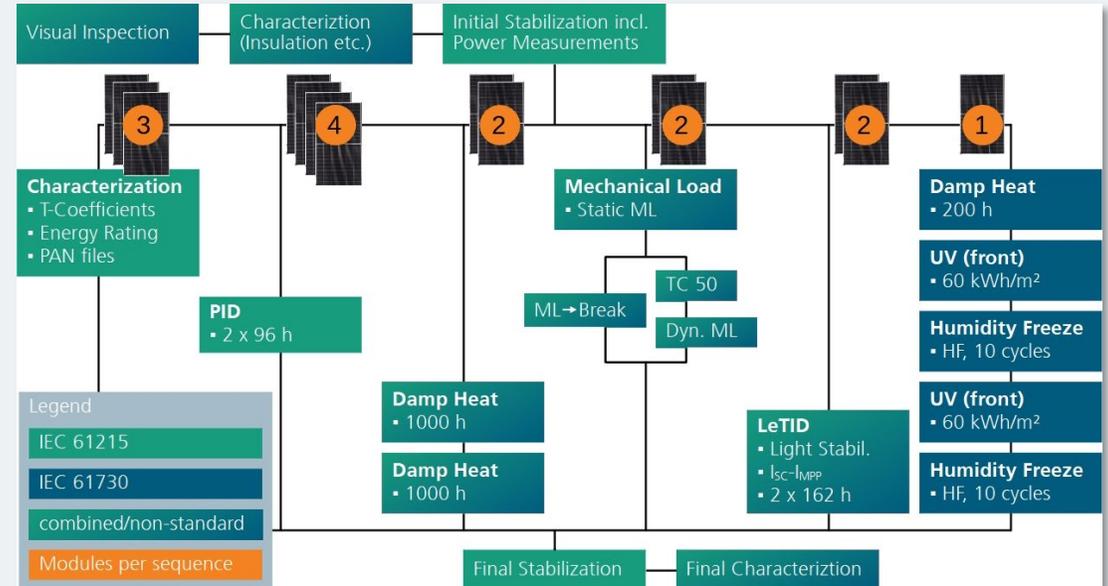
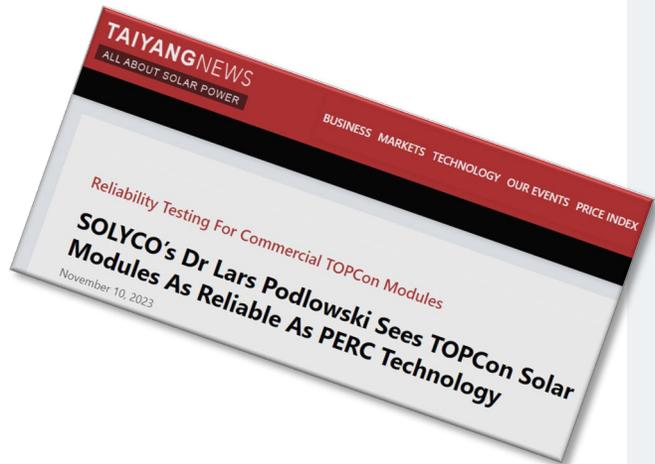
## Neue Technologien bringen neue Ausfallrisiken mit sich:

- Al-BSF-Generation: PID, Cell Cracks, ...
- PERC-Generation: LeTID, BO-LID
- Aktuelle Generation:
  - UV-induzierte Degradation
  - Spontane Glasbrüche

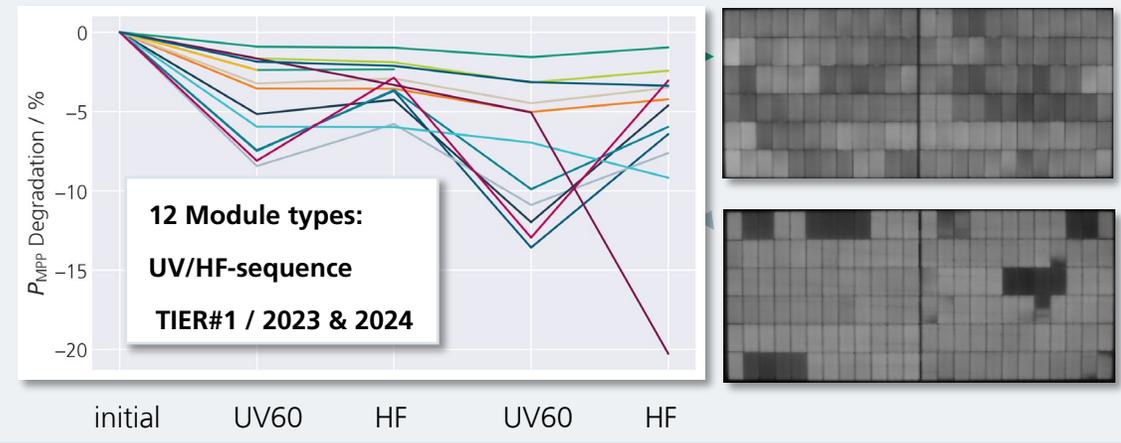


# UV-Induzierte Degradation

## TOPCon



## Benchmark-Testprogramm für TopCon und HJT Module UV-Degradation & Recovery Pattern (12 Modultypen)



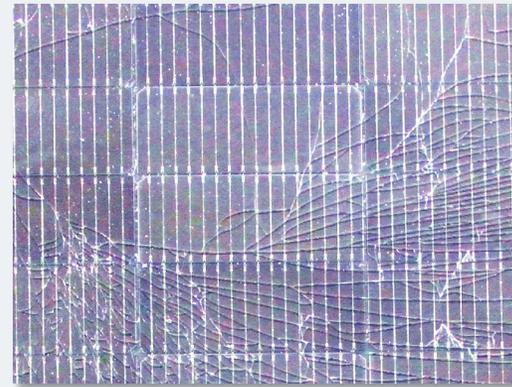
# “Spontane” Glasbrüche

An Großkraftwerks-Modulen

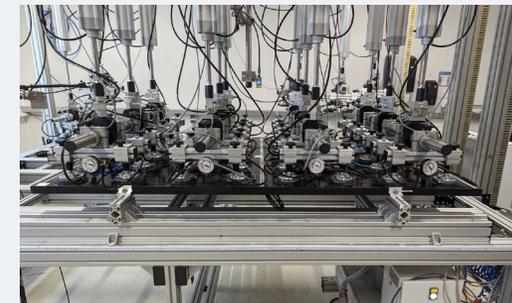
Der Trend zu dünnerem Glas und größeren Modulen führte zu einer Zunahme mechanischer Brüche im Feld.

Oft bereits nach wenigen Monaten im Betrieb

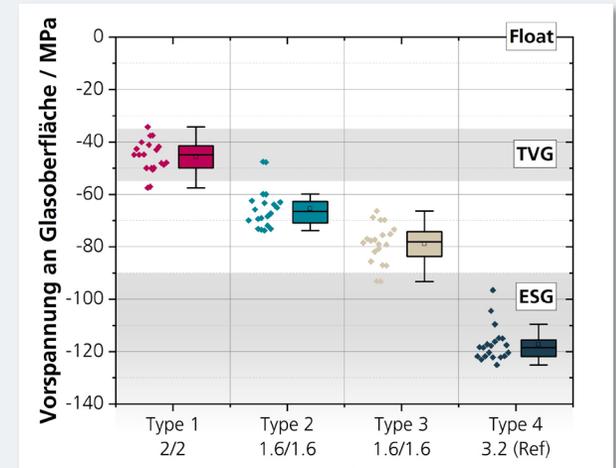
- Mehr als 40 Industrieprojekte in den letzten Monaten
- Forschungsprojekt “Similar”:
  - Untersuchung und Vermeidung von Bruchursachen



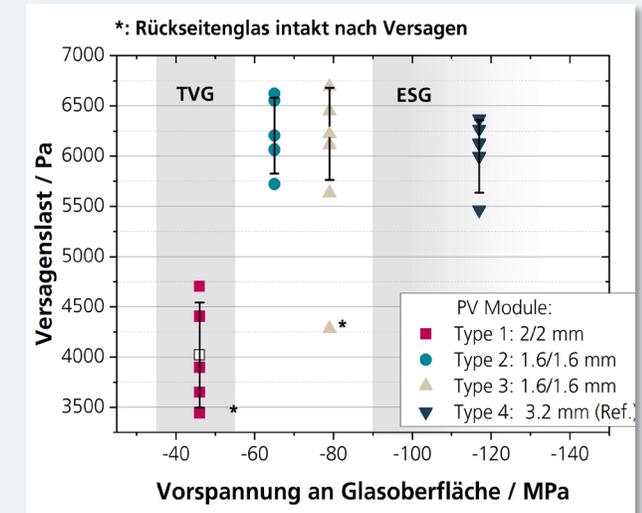
Typisches Bruchbild weist auf eine unzureichende / inhomogene Glasfestigkeit hin



Korrelation mit Belastbarkeit im Bruchversuch

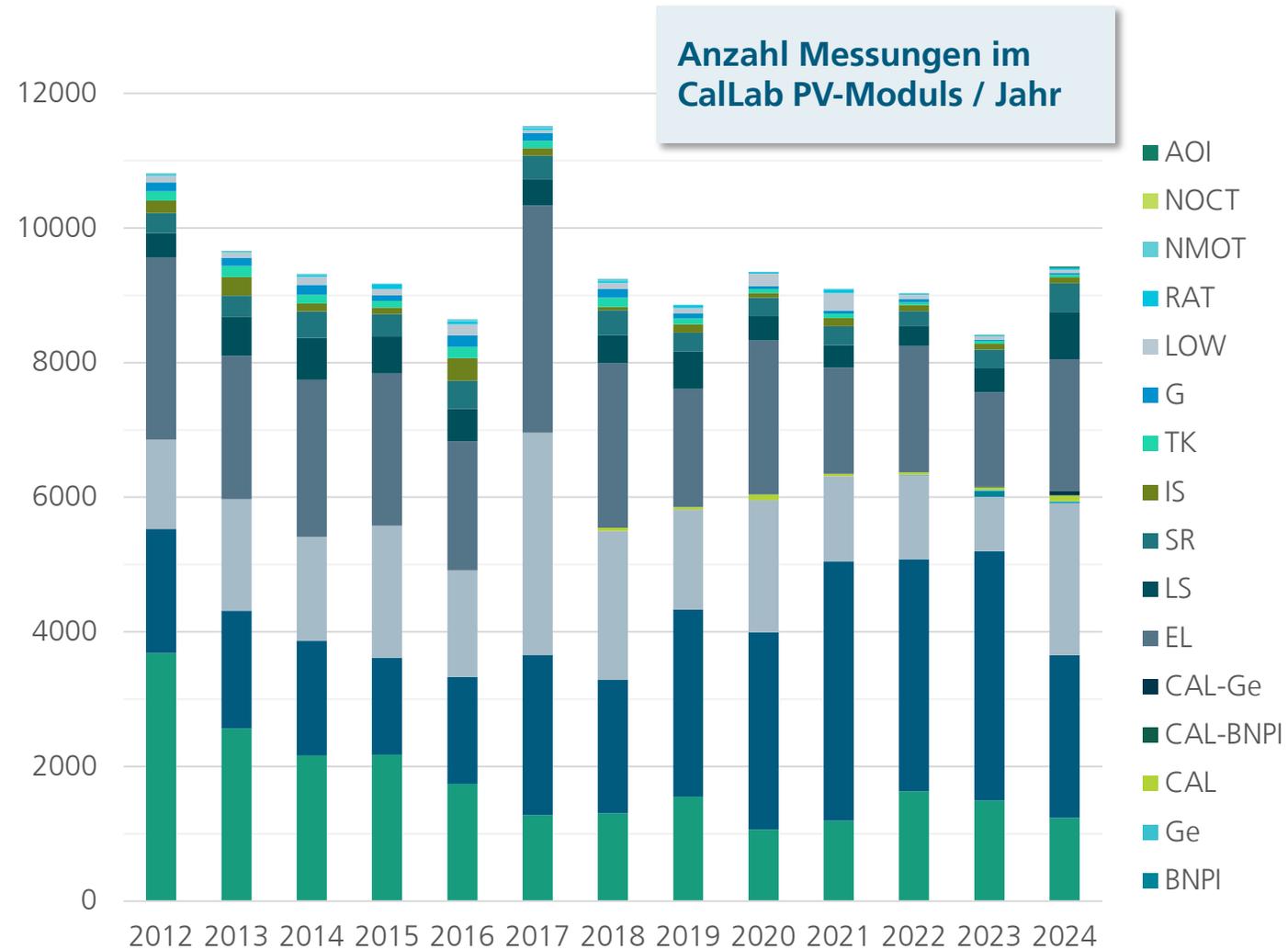


Messung der Glas-Vorspannung



# Agenda

- Kurzvorstellung der Abteilung  
Modulcharakterisierung und Zuverlässigkeit
- **Langzeit-Trends: gemessene vs. nominelle  
Modulleistung & Initialdegradation**
- Nachtrag: Themenpapier „Großkraftwerke“



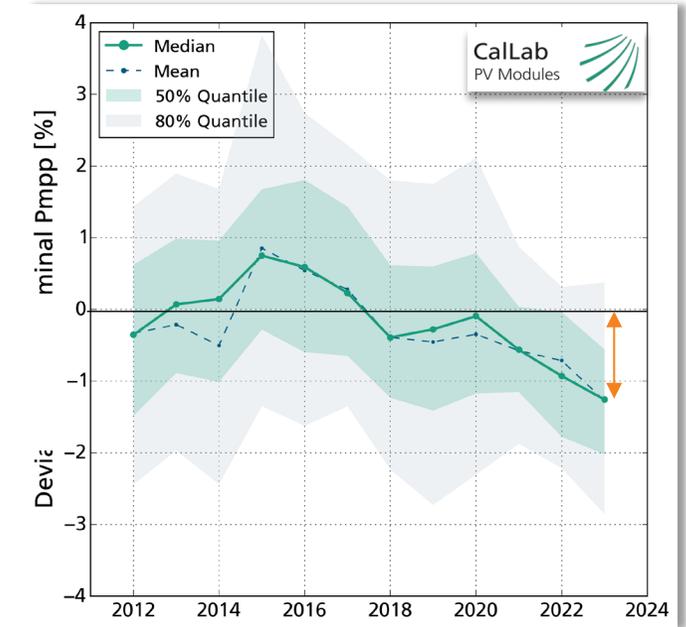
# Hintergrund

## Motivation & Ziele

- Nominalleistung ( $P_{max}$ ) zentraler Parameter:
  - Ertragsberechnung & Preisbestimmung (Eur/Wp)
- Trend zu negativen Abweichungen basierend auf statistischen Auswertungen empirisch nachgewiesen und 2024 auf dem PV-Symposium erstmals präsentiert

-1,3 % Minderleistung im Schnitt entspricht etwa 180 MWp bei 14 GWp Zubau in 2023!

PHOTOVOLTAIC MODULE		
<b>Solar Module Type :XXXXXXXXXXXX</b>		
Maximum Power	(Pmax)	295W
Power Tolerance		0~+3%
Maximum Power Voltage	(Vmp)	32.4V
Maximum Power Current	(Imp)	9.10A
Open Circuit Voltage	(Voc)	39.7V
Short Circuit Current	(Isc)	9.61A
Nominal Operating Cell Temp	(NOCT)	45±2°C
Maximum System Voltage		1500VDC



**Grafik:** Abweichung Nominalleistung vs. Label in Prozent von 2012 bis 2023 erweiterte Filter

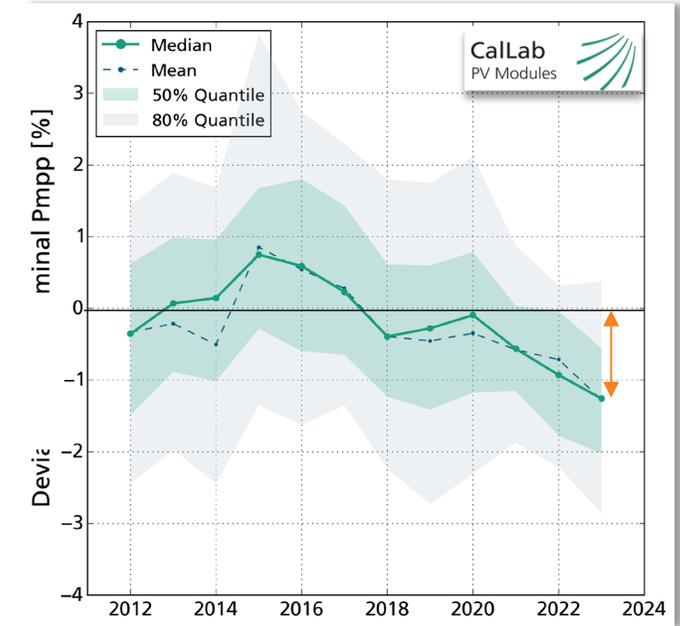
# Hintergrund

## Motivation & Ziele

- Nominalleistung ( $P_{max}$ ) zentraler Parameter:
  - Ertragsberechnung & Preisbestimmung (Eur/Wp)
- Trend zu negativen Abweichungen basierend auf statistischen Auswertungen empirisch nachgewiesen und 2024 auf dem PV-Symposium erstmals präsentiert
- Große internationale Aufmerksamkeit:



PHOTOVOLTAIC MODULE		
<b>Solar Module Type :XXXXXXXXXXXXXX</b>		
Maximum Power (Pmax)		295W
Power Tolerance		0~+3%
Maximum Power Voltage (Vmp)		32.4V
Maximum Power Current (Imp)		9.10A
Open Circuit Voltage (Voc)		39.7V
Short Circuit Current (Isc)		9.61A
Nominal Operating Cell Temp (NOCT)		45±2°C
Maximum System Voltage		1500VDC



**-1,3 % Minderleistung im Schnitt entspricht etwa 180 MWp bei 14 GWp Zubau in 2023!**

**Grafik:** Abweichung Nominalleistung vs. Label in Prozent von 2012 bis 2023 erweiterte Filter

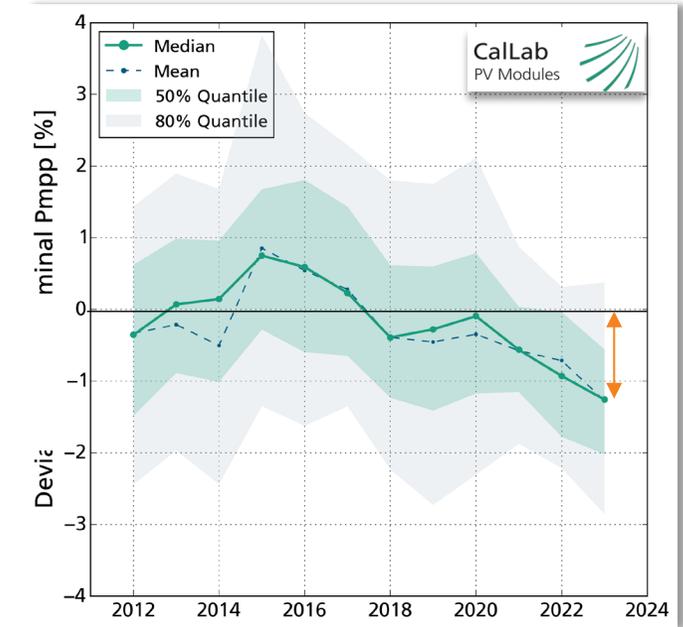
# Hintergrund

## Motivation & Ziele

- Nominalleistung ( $P_{max}$ ) zentraler Parameter:
  - Ertragsberechnung & Preisbestimmung (Eur/Wp)
- Trend zu negativen Abweichungen basierend auf statistischen Auswertungen empirisch nachgewiesen und 2024 auf dem PV-Symposium erstmals präsentiert
- Große internationale Aufmerksamkeit:

## Weiterentwicklung 2024?

PHOTOVOLTAIC MODULE		
<b>Solar Module Type :XXXXXXXXXXXX</b>		
Maximum Power	(Pmax)	295W
Power Tolerance		0~+3%
Maximum Power Voltage	(Vmp)	32.4V
Maximum Power Current	(Imp)	9.10A
Open Circuit Voltage	(Voc)	39.7V
Short Circuit Current	(Isc)	9.61A
Nominal Operating Cell Temp	(NOCT)	45±2°C
Maximum System Voltage		1500VDC



**-1,3 % Minderleistung im Schnitt entspricht etwa 180 MWp bei 14 GWp Zubau in 2023!**

**Grafik:** Abweichung Nominalleistung vs. Label in Prozent von 2012 bis 2023 erweiterte Filter

# Datenbasis

## Filterung – Level 1 (Basisfilter)

---

- Grundlage:  $P_{STC}$ -Messungen im CalLab PV-Modules seit 2012: **74.844 Datensätze**
- Inkonsistenz-Filter
  - Sortiert ungültige Messungen aus
- Initial und Erstmessungs- Filter:
  - Keine Mehrfachmessung eines Moduls (z.B. nach Alterung oder Mehrfachkalibrierung etc.)
- Balance-Filter: Nur 1 repräsentatives Modul pro Modultyp und Projekt
  - Äquivalente Gewichtung von Modultypen aus Projekten mit unterschiedlichen Modulanzahlen
- Technologie Filter: nur kristallines Silizium
- Anzahl  $P_{STC}$ -Messungen nach Basisfilterung **5550 Datensätze**

# Datenbasis

## Filterung – Level 2 (Erweitert)

- Hersteller ≠ Auftraggeber
  - Herausfiltern von Referenzmodulen
  - Überwiegend Projekte von Modulabnehmern (EPCs etc.)
- Module von Top15 Hersteller
  - Etablierte Produktions- und Messverfahren erwartet
- Erweiterte Filter: **1034 Datensätze**

**Tabelle:** Datensätze vor- / nach Filterung, aufgelöst nach Jahren

	alle Technologien mit Angabe zu P <sub>Nom</sub>	nur krist. Silizium	Basisfilter (Balance-Filter und ungült. Daten, init. Messung)	Erw.Filter (Auftraggeber ≠ Hersteller TOP15 Herst.)
2012	5021	4397	594	93
2013	5366	4314	653	73
2014	4861	3856	518	59
2015	4831	4232	466	52
2016	4369	3826	458	86
2017	6329	5909	444	87
2018	4551	4156	389	70
2019	4257	3825	362	93
2020	4696	4591	382	111
2021	4030	3962	326	78
2022	4286	4170	297	74
2023	4044	3925	299	68
2024	4970	4876	362	90
<b>Gesamt</b>	<b>61611</b>	<b>56039</b>	<b>5550</b>	<b>1034</b>

# Datenbasis

## Filterung – Level 2 (Erweitert)

- Hersteller ≠ Auftraggeber
  - Herausfiltern von Referenzmodulen
  - Überwiegend Projekte von Modulabnehmern (EPCs etc.)
- Module von Top15 Hersteller
  - Etablierte Produktions- und Messverfahren erwartet
- Erweiterte Filter: **1034 Datensätze**

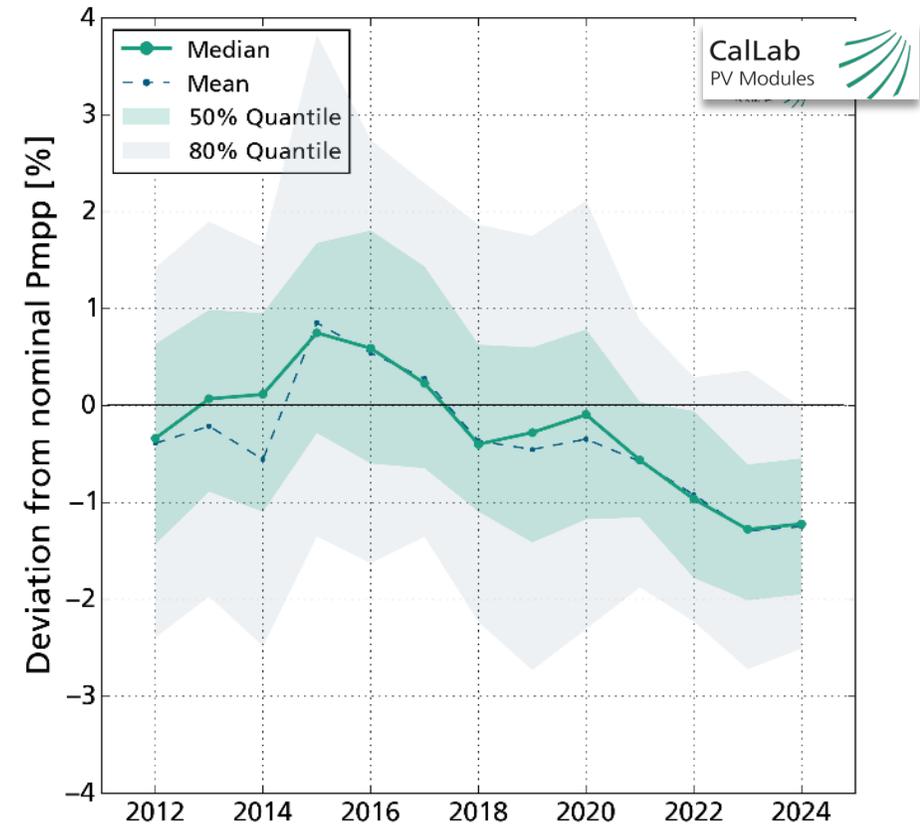
**Tabelle:** Datensätze vor- / nach Filterung, aufgelöst nach Jahren

	alle Technologien mit Angabe zu P <sub>Nom</sub>	nur krist. Silizium	Basisfilter (Balance-Filter und ungült. Daten, init. Messung)	Erw.Filter (Auftraggeber ≠ Hersteller TOP15 Herst.)
2012	5021	4397	594	93
2013	5366	4314	653	73
2014	4861	3856	518	59
2015	4831	4232	466	52
2016	4369	3826	458	86
2017	6329	5909	444	87
2018	4551	4156	389	70
2019	4257	3825	362	93
2020	4696	4591	382	111
2021	4030	3962	326	78
2022	4286	4170	297	74
2023	4044	3925	299	68
2024	4970	4876	362	90
<b>Gesamt</b>	<b>61611</b>	<b>56039</b>	<b>5550</b>	<b>1034</b>

# Ergebnisse – Erweiterter Filter

Entwicklung der Leistungsabweichung seit 2012

- Änderung 2024 zu 2023: **+0,1 %**
- Mittl. Abweichung 2024: **-1,2 %**



**Grafik:** Abweichung Nominalleistung vs. Label in Prozent seit 2012 – Erweiterter Filter

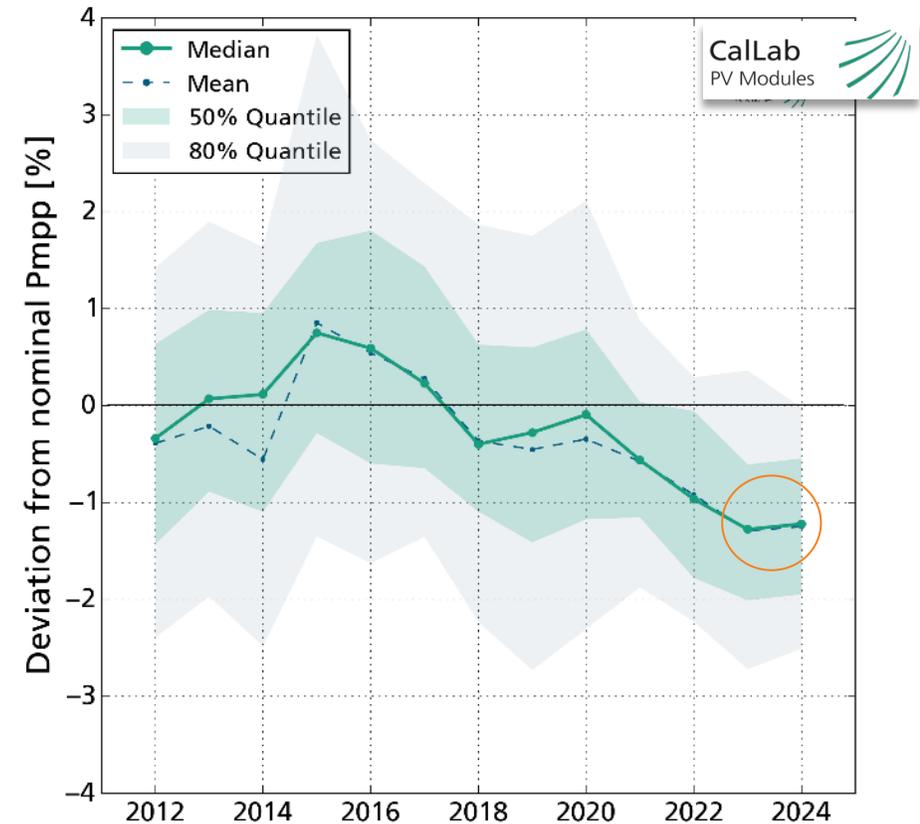
# Ergebnisse – Erweiterter Filter

Entwicklung der Leistungsabweichung seit 2012

- Änderung 2024 zu 2023: **+0,1 %**
- Mittl. Abweichung 2024: **-1,2 %**

## Zwischenfazit:

- Nach wie vor überwiegend negative Abweichungen „Viele aktuelle Module würden wir mindestens eine Wattklasse niedriger labeln“
- Jedoch leichte Verbesserung zu 2023 - Publikation der Ergebnisse hatte möglicherweise positiven Effekt



**Grafik:** Abweichung Nominalleistung vs. Label in Prozent seit 2012 – Erweiterter Filter

# Ergebnisse

## Weitere Ertragsparameter

---

- **Temperaturkoeffizienten**

### Angaben aus Datenblatt

- Bifazialität

Ungefähre Angaben in Datenblatt

- Schwachlichtverhalten

i.d.R. keine Angaben in Datenblatt

- Spektrale Empfindlichkeit

keine Angaben in Datenblatt

- Winkelabhängigkeit:

keine Angaben in Datenblatt

# Ergebnisse

## Temperaturkoeffizienten gemessen vs. Datenblatt

### Prozess:

- Betrachtung aller TK-Messungen seit 2018
  - 340 Datensätze
- Suche nach Referenzdaten aus Datenblättern
  - Nutzung einer nicht-generativen KI (Fh-Lizenz)
  - → 302 Datensätze
- Abgleich gemessener vs. Datenblatt in %
  - Aussortierung deutlich inkonsistenter Werte (Abweichung > ±15%)
  - → 265 Datensätze

Elektrische Daten (STC)			S19L265/S19J265	S19L270/S19J270	S19L275/S19J275	S19L280/S19J280
Nennleistung	$P_{MPP}$	[W]	265	270	275	280
Nennspannung	$U_{MPP}$	[V]	31,4	31,5	31,6	31,6
Nennstrom	$I_{MPP}$	[A]	8,44	8,57	8,71	8,85
Leerlaufspannung	$U_{OC}$	[V]	38,3	38,3	38,4	38,5
Kurzschlussstrom	$I_{SC}$	[A]	8,91	9,05	9,20	9,34
Wirkungsgrad	$\eta$	[%]	16,1	16,4	16,7	17,0

Elektrische Werte bei Standard-Testbedingungen (STC): 1000 W/m<sup>2</sup>; 25°C; AM 1,5

Elektrische Daten (NOCT)			S19L265/S19J265	S19L270/S19J270	S19L275/S19J275	S19L280/S19J280
Leistung	$P_{MPP}$	[W]	193	196	200	203
Spannung	$U_{MPP}$	[V]	28,5	28,5	28,6	28,7
Strom	$I_{MPP}$	[A]	6,76	6,88	6,99	7,10
Leerlaufspannung	$U_{OC}$	[V]	35,2	35,3	35,3	35,4
Kurzschlussstrom	$I_{SC}$	[A]	7,17	7,29	7,41	7,52
Wirkungsgrad	$\eta$	[%]	14,6	14,9	15,2	15,5

Elektrische Werte bei Zellen-Nennbetriebsbedingungen: 800 W/m<sup>2</sup>; 20°C; AM 1,5; Wind 1 m/s  
NOCT: 48°C (Zellen-Nennbetriebs Temperatur)

Weitere elektrische Daten		
Reduktion des STC-Wirkungsgrades von 1000 W/m <sup>2</sup> auf 200 W/m <sup>2</sup>	[%] rel.	< 4
Klassenbreite (positive Klassifizierung)	[W]	0/+4,99

Belastungen		
Max. Modulbelastung Druck	[Pa]	5400
Max. Modulbelastung Sog	[Pa]	5400
Max. Systemspannung	[V <sub>OC</sub> ]	1000
Rückstrombelastbarkeit	$I_r$ [A]	15

Mechanische Belastung nach IEC/EN 61215

Temperaturkoeffizienten			
Temperaturkoeffizient $I_{SC}$	$\alpha (I_{SC})$	[%/K]	+0,05
Temperaturkoeffizient $U_{OC}$	$\beta (U_{OC})$	[%/K]	-0,30
Temperaturkoeffizient $P_{MPP}$	$\gamma (P_{MPP})$	[%/K]	-0,43

Messgenauigkeit P<sub>MPP</sub> bei STC -3/+3% | Toleranz übrige elektrische Werte -10/+10% | Wirkungsgrade bezogen auf die gesamte Modulfläche

Grunddaten Modul		
Länge x Breite x Höhe	[mm <sup>3</sup> ]	1660 x 990 x 50
Gewicht	[kg]	20
Zellanzahl		60
Zellgröße	[mm <sup>2</sup> ]	156 x 156
Zellmaterial		Monokristallines Si
Frontabdeckung		Solarglas (ESG)
Rückabdeckung		Polymerfolie
Rahmenmaterial		Al-Legierung

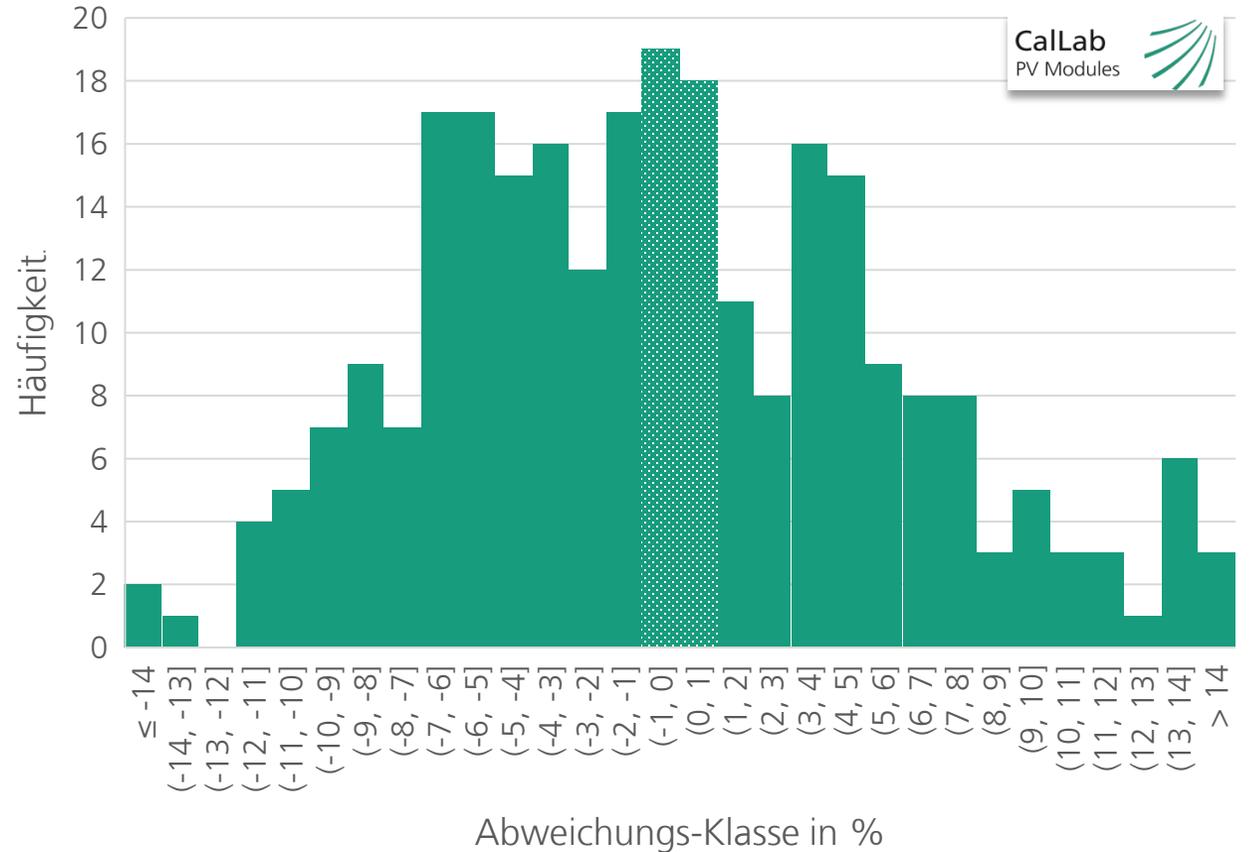
Grunddaten Anschlussdose		S19L	S19J
Länge x Breite x Höhe	[mm <sup>3</sup> ]	132 x 107 x 27	148 x 123 x 27
IP-Klasse		IP65	IP65
Kabellänge	[mm]	1200 (+), 800 (-)	1200 (+), 800 (-)
Stecker		MC4	PV-JM601
Bypass-Dioden		3	3

# Ergebnisse

## Temperaturkoeffizienten gemessen vs. Datenblatt

### Prozess:

- Betrachtung aller TK-Messungen seit 2018
  - 340 Datensätze
- Suche nach Referenzdaten aus Datenblättern
  - Nutzung einer nicht-generativen KI (Fh-Lizenz)
  - → 302 Datensätze
- Abgleich gemessener vs. Datenblatt in %
  - Aussortierung deutlich inkonsistenter Werte (Abweichung  $> \pm 15\%$ )
  - → 265 Datensätze



**Grafik:** Häufigkeitsverteilung zur Abweichung gemessener TK Werten vergl. mit Datenblättern über 6 Jahre

# Ergebnisse

## Temperaturkoeffizienten gemessen vs. Datenblatt

### Prozess:

- Betrachtung aller TK-Messungen seit 2018
  - 340 Datensätze
- Suche nach Referenzdaten aus Datenblättern
  - Nutzung einer nicht-generativen KI (Fh-Lizenz)
  - → 302 Datensätze
- Abgleich gemessener vs. Datenblatt in %
  - Aussortierung deutlich inkonsistenter Werte (Abweichung > ±15%)
  - → 265 Datensätze



	PERC	HJT	TOPCon
Anzahl Hersteller	11	3	4
<b>Mittelwert [%/K]</b>	<b>-0.350</b>	<b>-0.274</b>	<b>-0.313</b>
Stabw [%/K]	0.012 (3,4%)	0.011 (4%)	0.007 (2,2%)
Min [%/K]	-0.371	-0.299	-0.322
Max [%/K]	-0.337	-0.251	-0.306
Kommentar	2021-2024	2020-2024	nur aus 2024

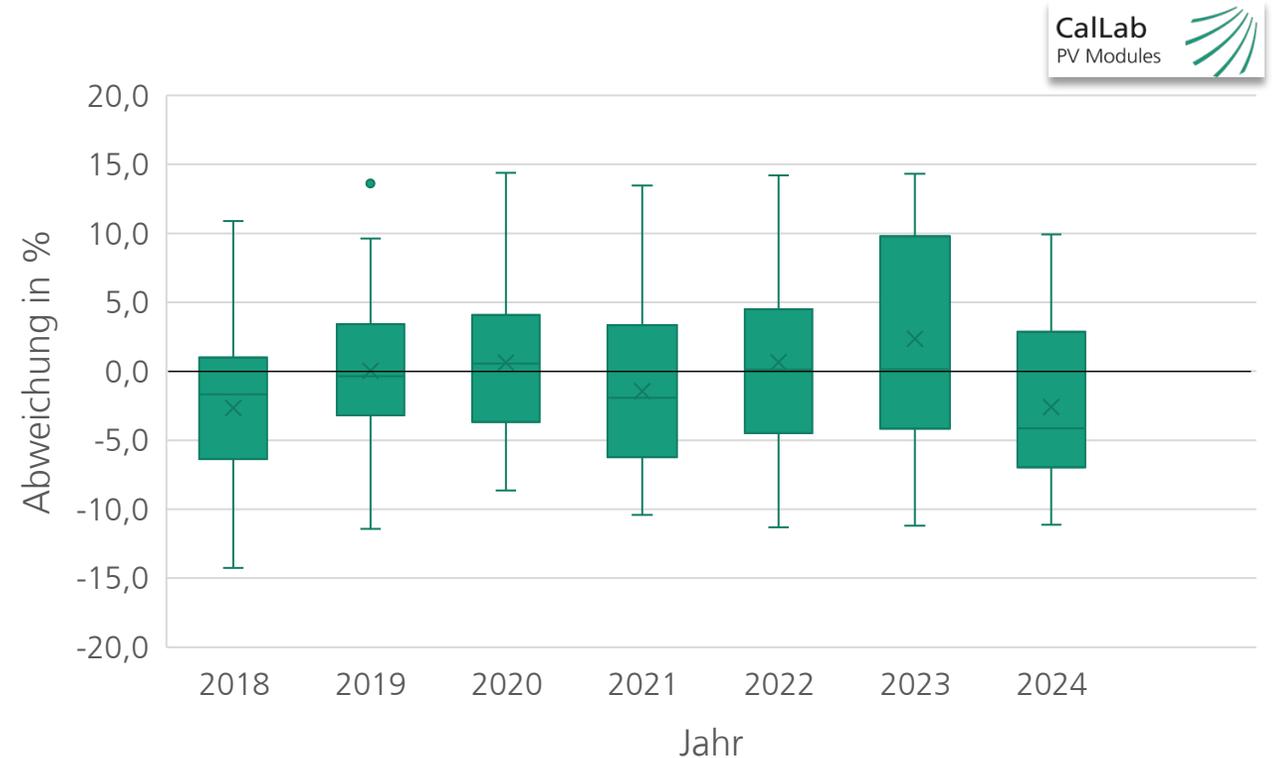
**Grafik:** TK nach Technologien. – **Achtung:** nur 25 Datensätze.

# Ergebnisse

## Temperaturkoeffizienten gemessen vs. Datenblatt

### Prozess:

- Betrachtung aller TK-Messungen seit 2018
  - 340 Datensätze
- Suche nach Referenzdaten aus Datenblättern
  - Nutzung einer nicht-generativen KI (Fh-Lizenz)
  - → 302 Datensätze
- Abgleich gemessener vs. Datenblatt in %
  - Aussortierung deutlich inkonsistenter Werte (Abweichung  $> \pm 15\%$ )
  - → 265 Datensätze



**Grafik:** Prozentuale Abweichung gemessener TK-Werte von Datenblättern über 6 Jahre

# Ergebnisse

## Light-Induced-Degradation (LID Effekt)

### Prozess (IEC 61215):

1. Leistungsmessung



20 kWh/m<sup>2</sup> Bestrahlung

2. Leistungsmessung



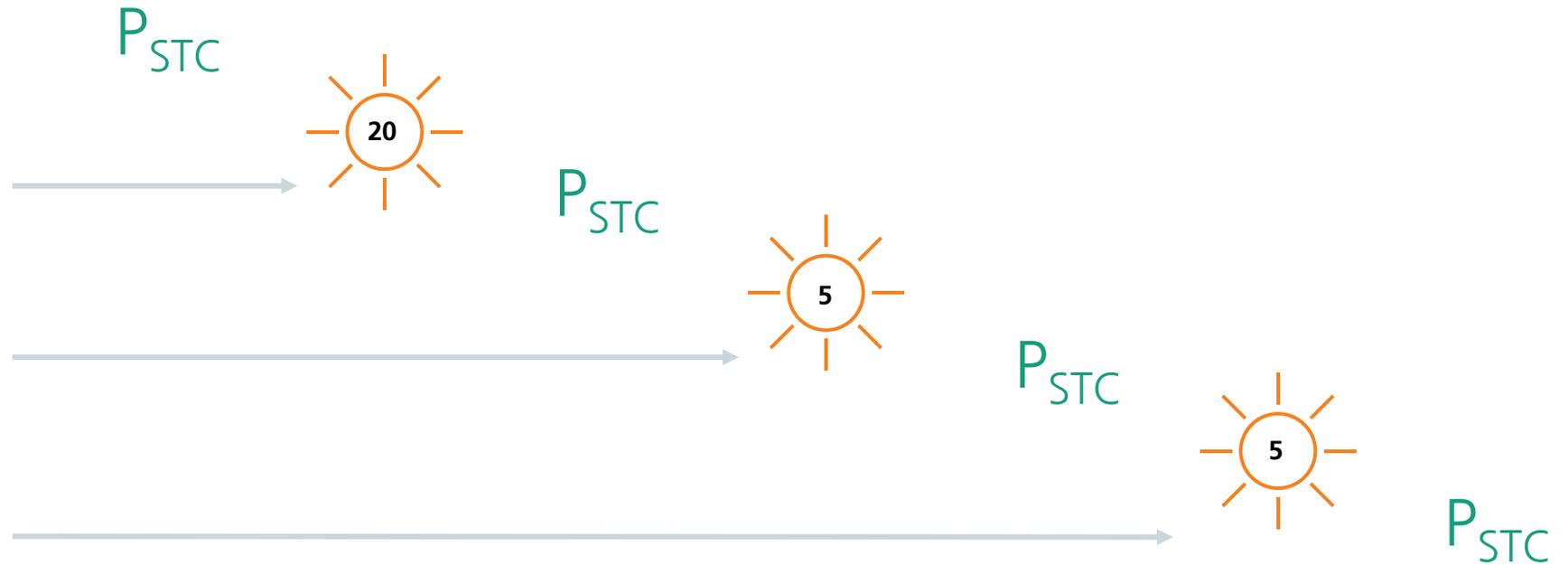
5 kWh/m<sup>2</sup> Bestrahlung

3. Leistungsmessung



5 kWh/m<sup>2</sup> Bestrahlung

4. Leistungsmessung



# Ergebnisse

## Light-Induced-Degradation (LID Effekt)

### Prozess (IEC 61215):

1. Leistungsmessung



20 kWh/m<sup>2</sup> Bestrahlung

2. Leistungsmessung



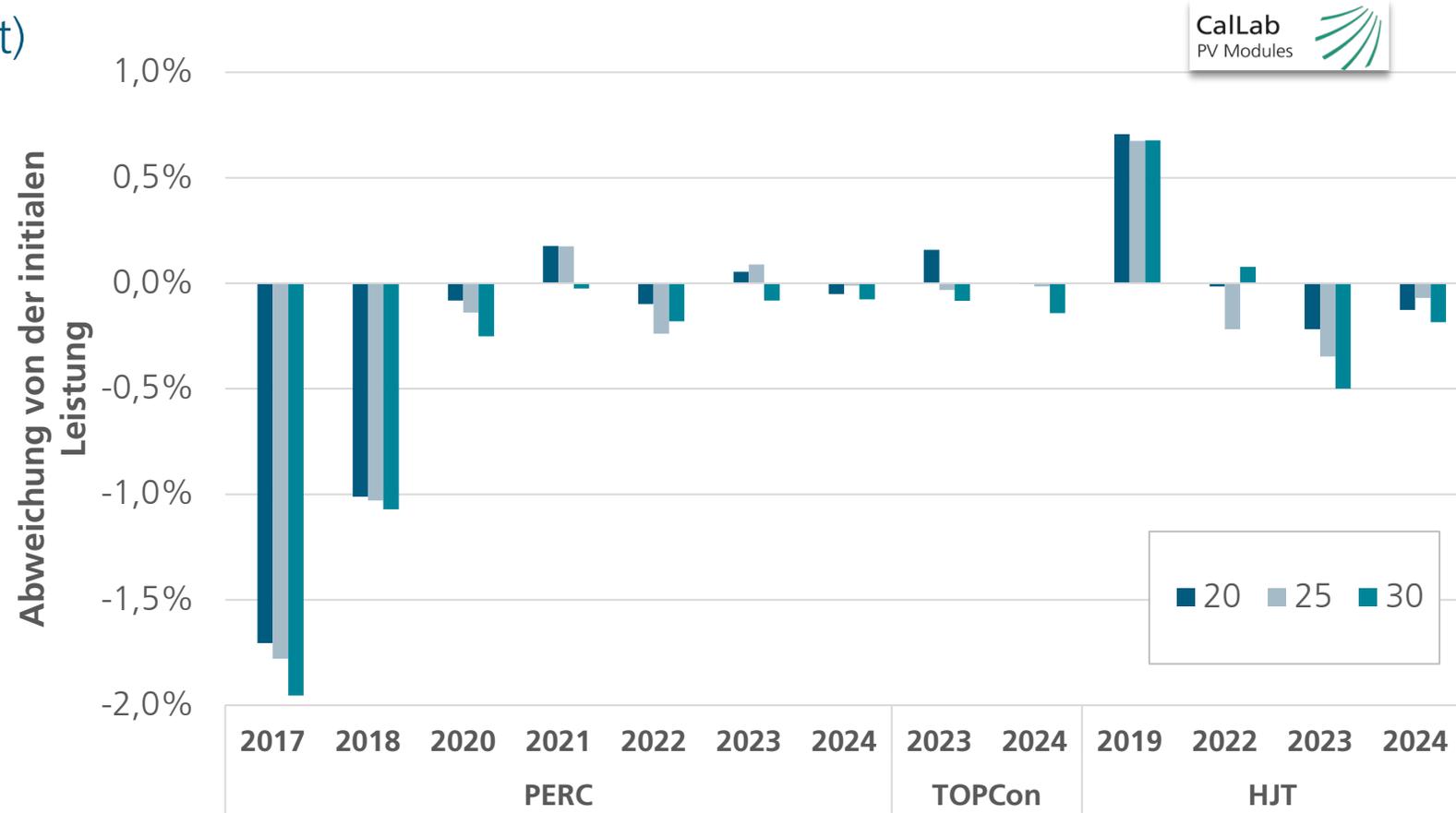
5 kWh/m<sup>2</sup> Bestrahlung

3. Leistungsmessung



5 kWh/m<sup>2</sup> Bestrahlung

4. Leistungsmessung

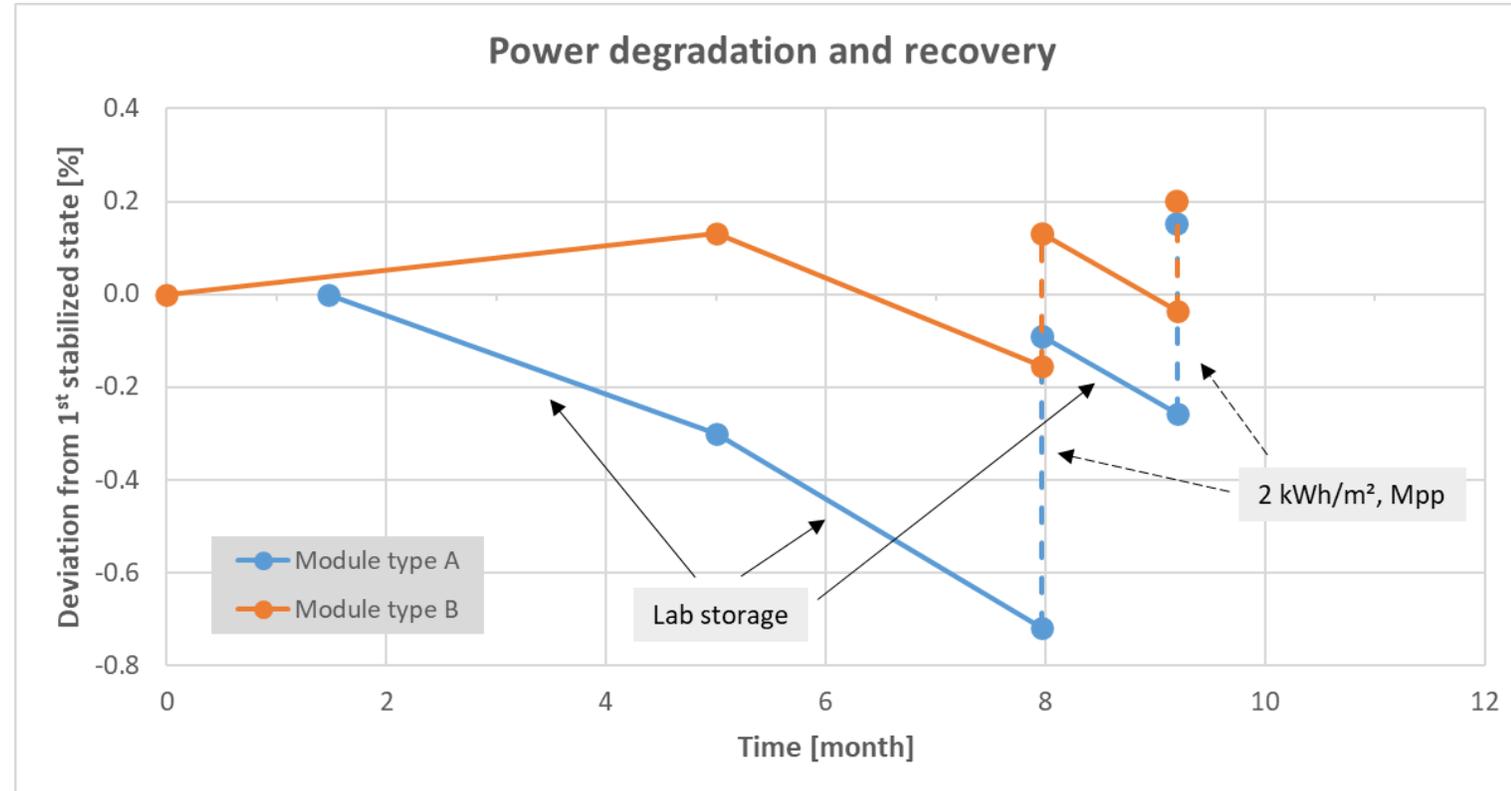


**Grafik:** Mittlerer LID-Effekt von 2017 bis 2024; zusätzliche aufgeschlüsselt nach Zelltechnologie

# Neue Herausforderungen

## Meta-Stabilität / Dark-Storage

- TOPCon und HJT:
  - Leistungsniveau verändert sich durch Lagerung
  - „Dark-Storage Effect“
- Beispiel:
  - 2 unterschiedliche TOPCon-basierte Modultypen – Veränderungen über die Lagerzeit
  - Kurzeit-Bestrahlung verändert die das Leistungsniveau

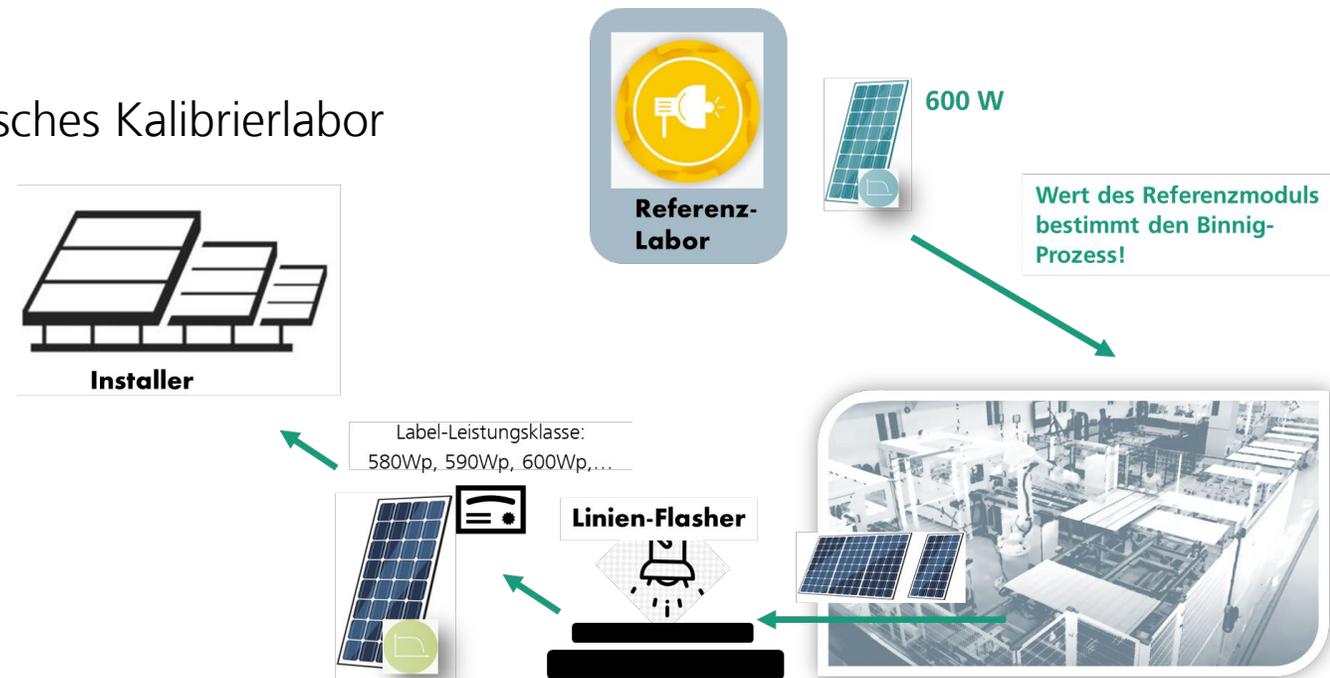


**Grafik:** Dunkellagerungs- und Erholungseffekte beispielhaft anhand von 2 aktuellen TOPCon basierten PV-Modulen. Dunkellagerung führt zu Leistungsverlust bis 0,8 % - Kurzzeitbestrahlung zu Erholung.

# Einordnung und Fazit

## Leistungsabweichung

- Nach wie vor wird i.d.R. mehr weniger Leistung im STC gemessen – 2024 etwa -1,2 % im Mittel –
  - Das entspricht **etwa einem Minus 194 MW bei einem Zubau von 16,2 GW in 2024**
- Der negative Trend scheint gestoppt...
  - Ursache: gestiegenes Bewusstsein?
  - Einige Abnehmer verlangen Referenz auf europäisches Kalibrierlabor



# Einordnung und Fazit

## Temperaturkoeffizient und LID

---

- Temperaturkoeffizienten:
  - Große Abweichungen zw. gemessenem und Datenblatt-Wert eher üblich – „*plus / minus 10 % Abweichung fast normal*“
  - Jedoch kein zeitlicher Verlauf und kein eindeutiger Trend zu positiverem Wert
  
- Anfangsdegradation / LID
  - Neue Technologien, einschließlich Ga-PERC- zeigen sich nicht- bzw. kaum mehr Anfällig für LID
  - Bei TOPCon und HJT: Neue Meta-Stabilitäten
    - **Dark-Storage Effekt**

# Vielen Dank

Kontakt: Daniel Philipp  
PV Module Analysis and Reliability  
[daniel.philipp@ise.fraunhofer.de](mailto:daniel.philipp@ise.fraunhofer.de)

## Forschungsnetzwerke Energie:

- Gründung 2014 im Rahmen der Energieforschung
- initiiert und unterstützt durch das BMWK
- Inzwischen 7 Netzwerke

*„Die Forschungsnetzwerke Energie repräsentieren die breite Forschungslandschaft in Deutschland [..]“*

*Die Netzwerke haben sich als dialogorientierte Foren für den Austausch zwischen Forschung, Politik und Wirtschaft etabliert und sind vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert“*



Bildnachweis: [www.forschungsnetzwerke-energie.de](http://www.forschungsnetzwerke-energie.de)



Infos und Anmeldung:  
Forschungsnetzwerke-  
Energie

## Erneuerbare Energien

### ▪ Solar

- AG Photovoltaik – Innovation
- AG Photovoltaik – Integration
- AG Photovoltaik – Nachhaltigkeit
- AG Photovoltaik – Performance
- AG Photovoltaik – Produktion
- Begleitforschung Photovoltaik
- AG Solarthermische Kraftwerke und Thermische Speicher

### ▪ Wind

- AG Akzeptanz / Begleitforschung
- AG Anlagentechnik
- AG Betrieb
- AG Physikalische Faktoren
- FA Offshore
- FA Onshore

## Erneuerbare Energien

### ▪ Solar

- AG Photovoltaik – Innovation
- AG Photovoltaik – Integration
- AG Photovoltaik – Nachhaltigkeit
- AG Photovoltaik – Performance
- AG Photovoltaik – Produktion
- **Begleitforschung Photovoltaik**
- AG Solarthermische Kraftwerke und Thermische Speicher

### ▪ Wind

- AG Akzeptanz / Begleitforschung
- AG Anlagentechnik
- AG Betrieb
- AG Physikalische Faktoren
- FA Offshore
- FA Onshore

PtJ / BMWK regen die Erstellung eines Themenpapiers zu PV-Großkraftwerken an: *„PV-Großkraftwerke sind ein wichtiger Pfeiler der Energiewende > -> Forschung sollte – insbesondere vor dem Hintergrund knapperer Fördermittel zielgerichtet unterstützen“*

## Themenpapier „PV Großkraftwerke

- Initiierung Juli 2024
- Leitung: A. Heimsath / Jann Bender
- ZSW, Hi-ERN, Fh-CSP, Fh-ISE, DLR, ISFH
  - Entwurf Gliederung Nov. 24
  - Online Industrie Wokshop 4.12.
  - Entwurfsfassung März 25
  - Präsenz-Workshop Berlin (Industrie, Forschung, BMWK und PtJ)
  - Final Draft
  - Veröffentlichung int. Bereich FNEE-Seite

## Themenbereiche:

- Qualität & Zuverlässigkeit: Technologie, Zuverlässigkeit und Zusammenspiel der Kraftwerkskomponenten
- Monitoring, Inspektion und Analyse - für präzises und bezahlbares O&M
- Hybridkraftwerk & Systemintegration - für effiziente Netznutzung und Energieversorgung
- Digitalisierung für effiziente und resiliente PV-Parks der Zukunft
- Nachhaltigkeit & gesellschaftliche Akzeptanz