

Fehleranalyse von Photovoltaikanlagen mittels Thermografiebildern

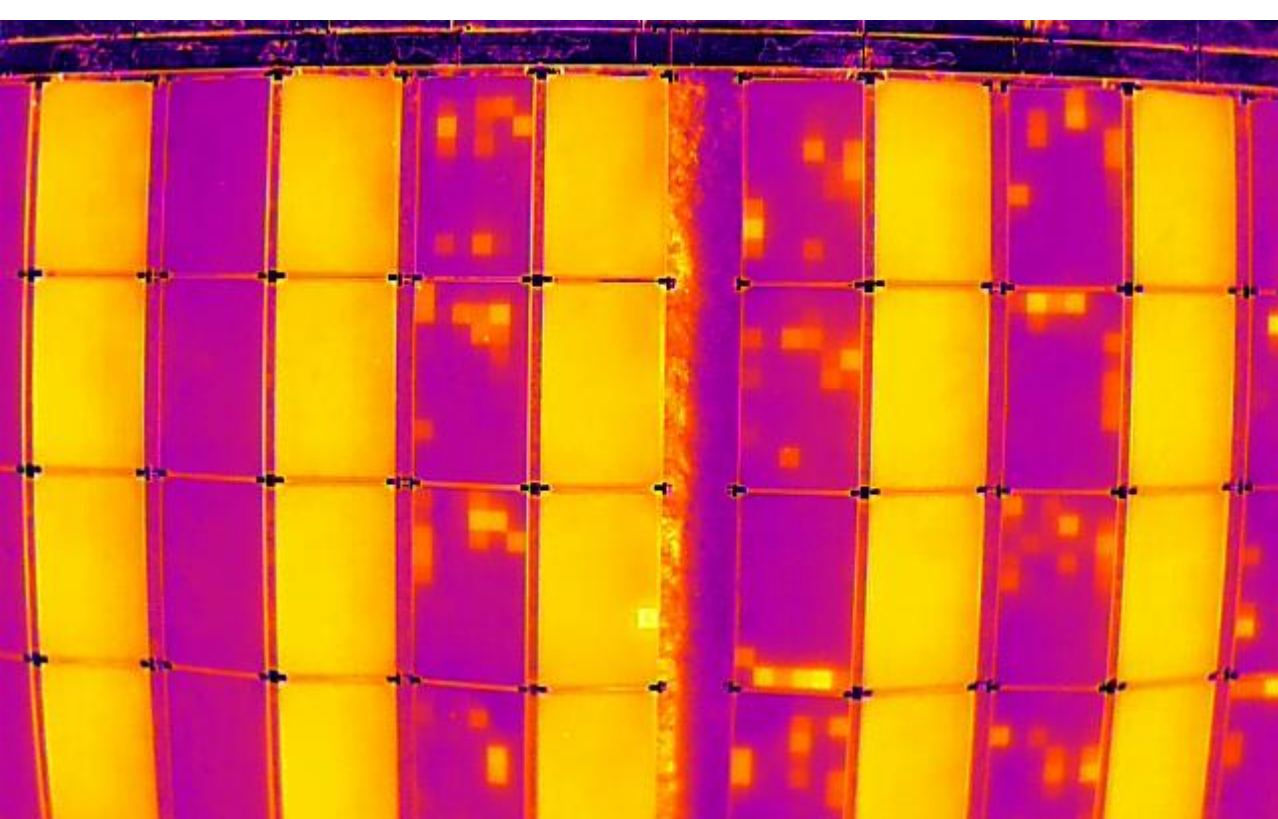
Schweizer Photovoltaik-Tagung 2026

Janina Reichstein, Christof Bucher, Matthias Burri und Emmanuel Amstutz, Labor für Photovoltaiksysteme, Berner Fachhochschule, Burgdorf, janina.reichstein@bfh.ch

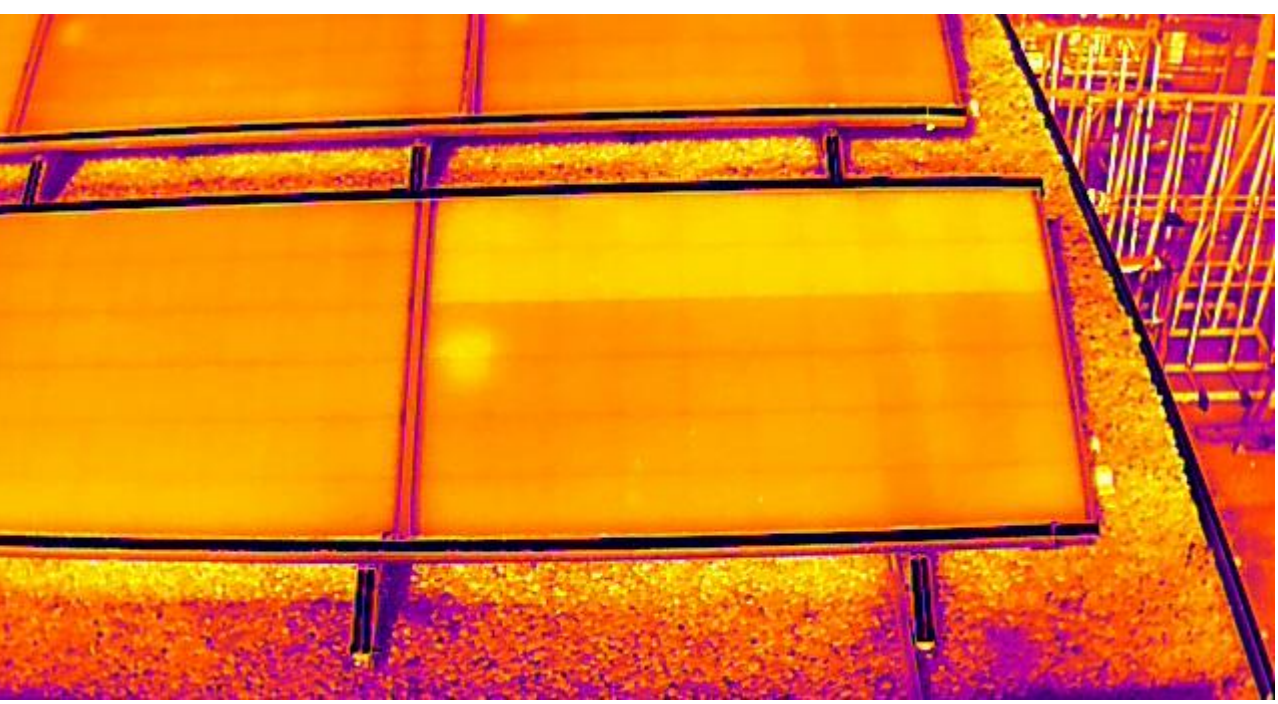
Viele Defekte in PV-Modulen erzeugen charakteristische thermische Anomalien, die in IR-Bildern sichtbar sind. In einem Projekt des PV-Labors der BFH wurden ca. 70 000 Module aus ca. 160 Anlagen analysiert. Insgesamt wird dabei festgestellt, dass es keine gravierenden systematischen Probleme in PV-Anlagen gibt. Über 90 % der Module sind defektfrei und nur 2 % fallen komplett aus. Auch die Beurteilung der zeitlichen Entwicklung der verschiedenen Defekte, deutet auf eine hohe Zuverlässigkeit von PV-Anlagen hin. Ausser für Hotspots aufgrund von Zelldefekten, konnte keine eindeutige Zunahme von Defekten mit steigendem Anlagenalter festgestellt werden. Mehr als die Hälfte der detektierten Defekte sind auf Installationsfehler oder mangelnde Wartung zurückzuführen.

Infrarot-Thermografie

Auswerten der Daten anhand von Einteilung in Fehlerkategorien. Beispiele:



- Schachbrettmuster bei einem gesamten Strang
→ Strang im Kurzschluss (String SC)

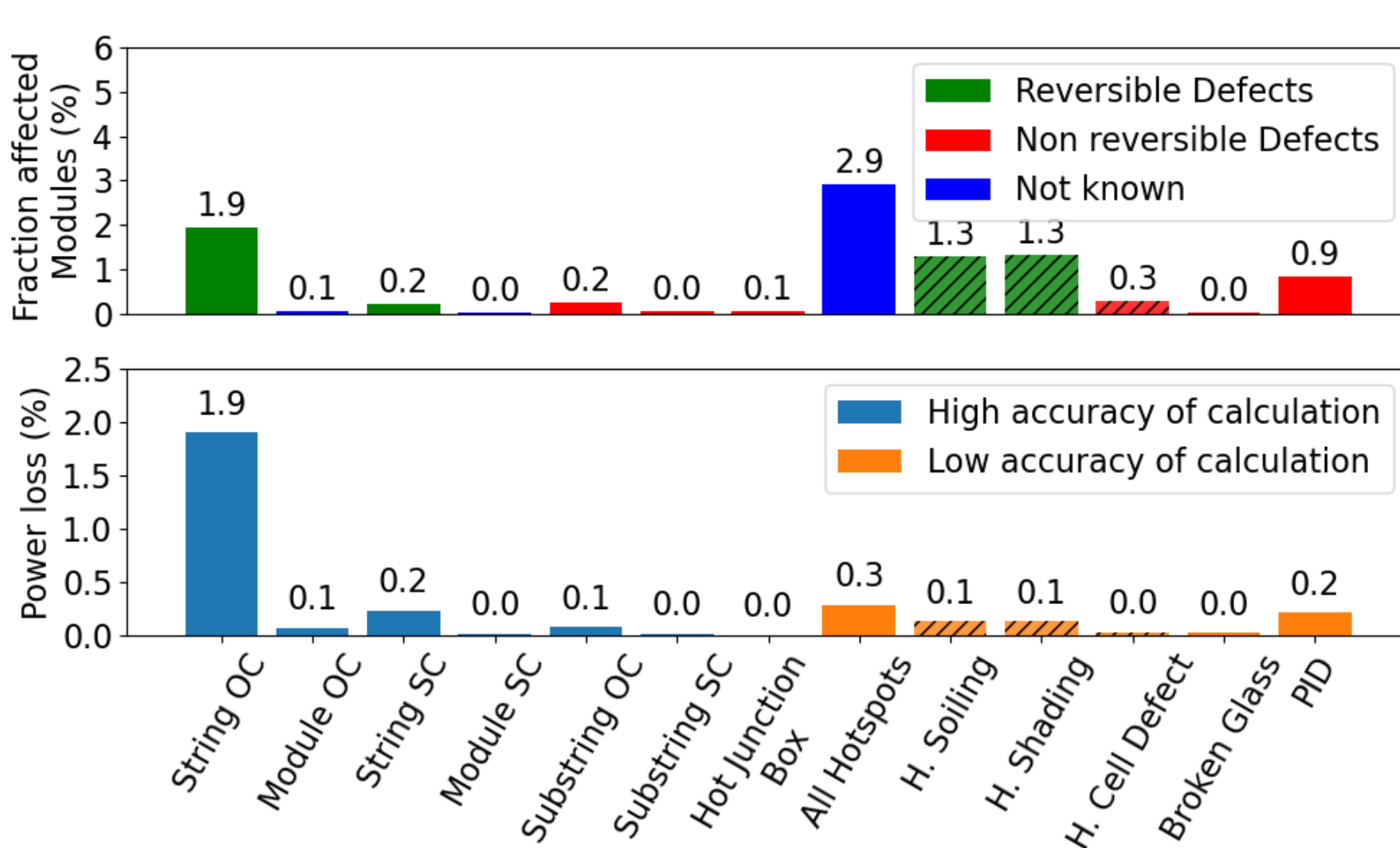


- Homogene Erwärmung ein Drittel des Moduls
→ Substring im Leerlauf (Substring OC)

Vorgehen

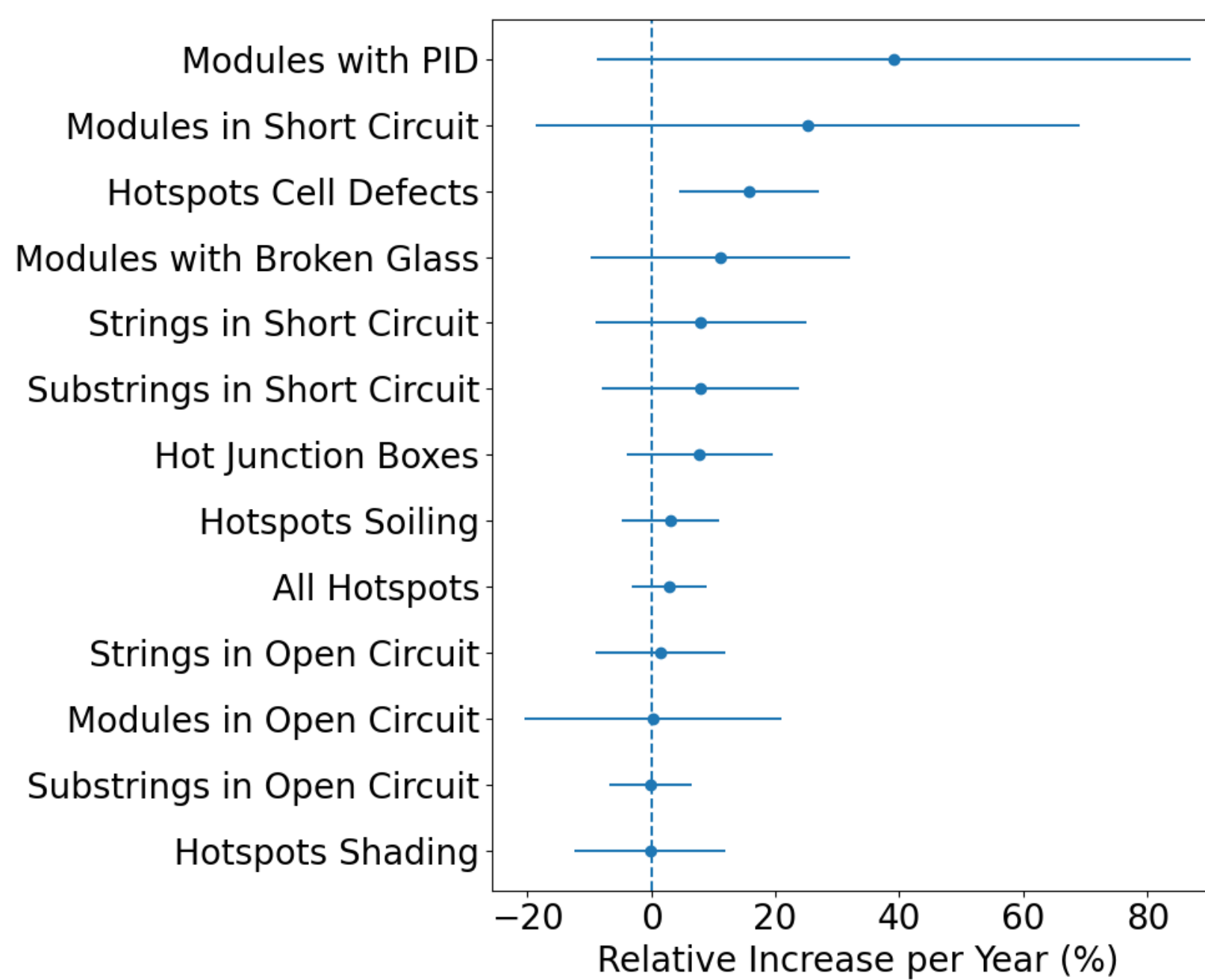
- Einteilung in Fehlerkategorien
- Erfassung zusätzlicher Informationen
- Manuelle Auswertung der ca. 70 000 Module aus ca. 160 Anlagen

Anteil und Auswirkung Defekte



- Anteil Module die von dem jeweiligen Defekt betroffen sind (oben)
- Unterkategorien Hotspots schraffiert
- Daraus berechneter Leistungsverlust (unten)
- Unsichere Abschätzung des Leistungsverlust durch den Defekt (orange)

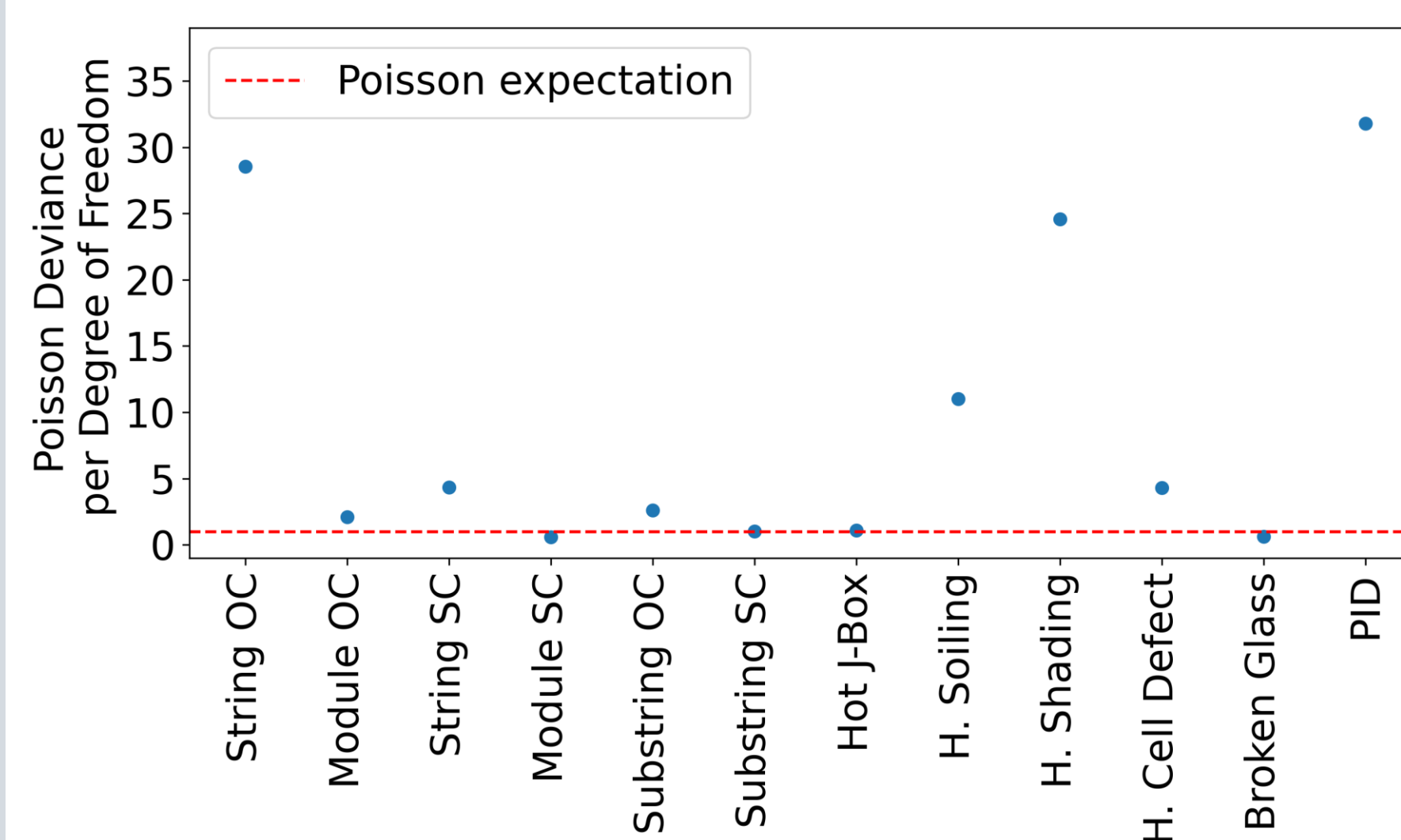
Abhängigkeit Defektraten Anlagenalter



- Geringe Zunahme bei steigendem Anlagenalter bei den meisten Defekten
- Aber: grosse Konfidenzintervalle, meist über die Nulllinie
- Zunahme dieser Defektraten nicht statistisch signifikant
- Insgesamt kaum Zusammenhang von Anlagenalter und Defektraten
- Indiz für Zuverlässigkeit / gute Wartung von PV-Anlagen

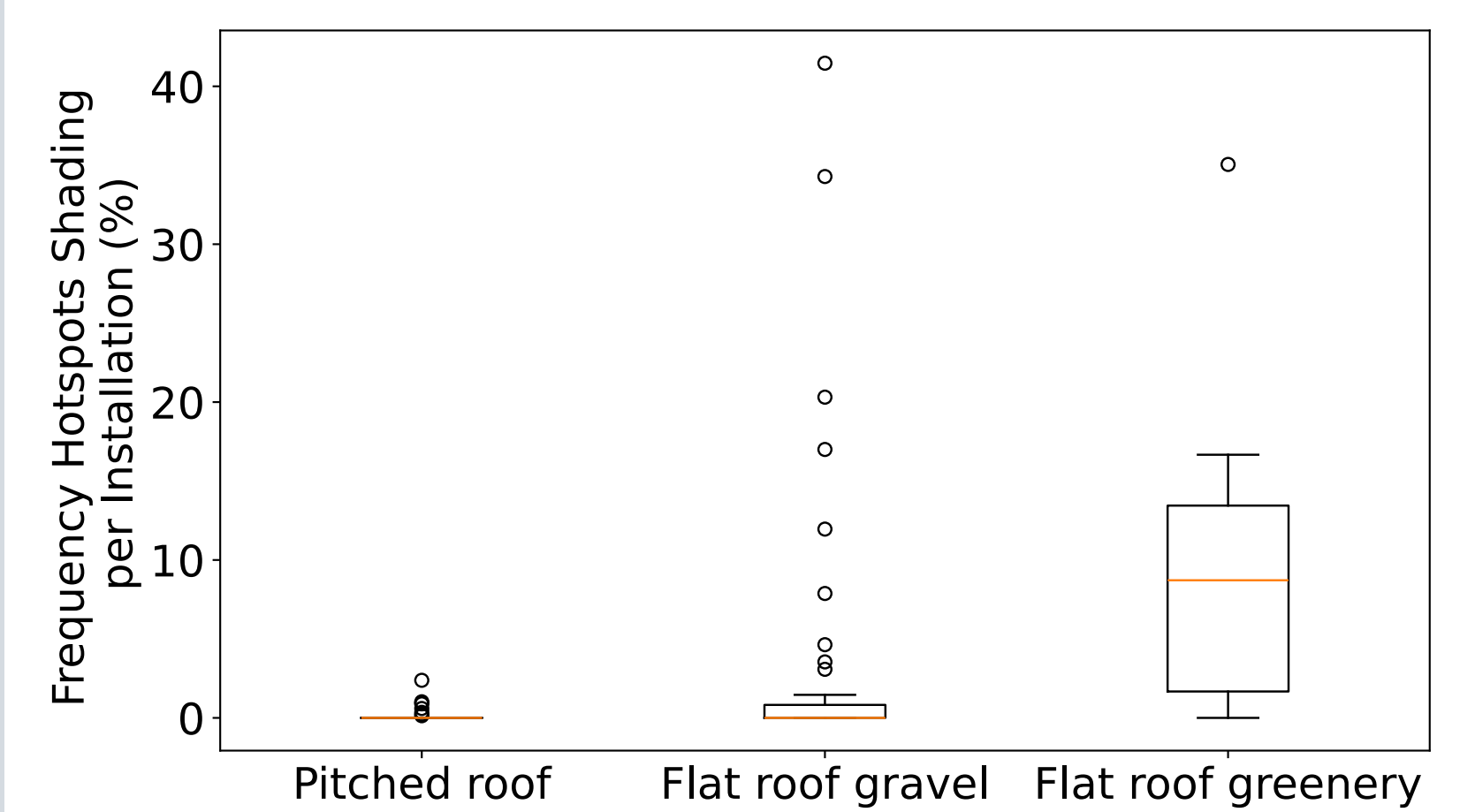
Verteilung Defekte

- Zufällige (Poisson) Verteilung angenommen
- Mit tatsächlicher Verteilung abgeglichen

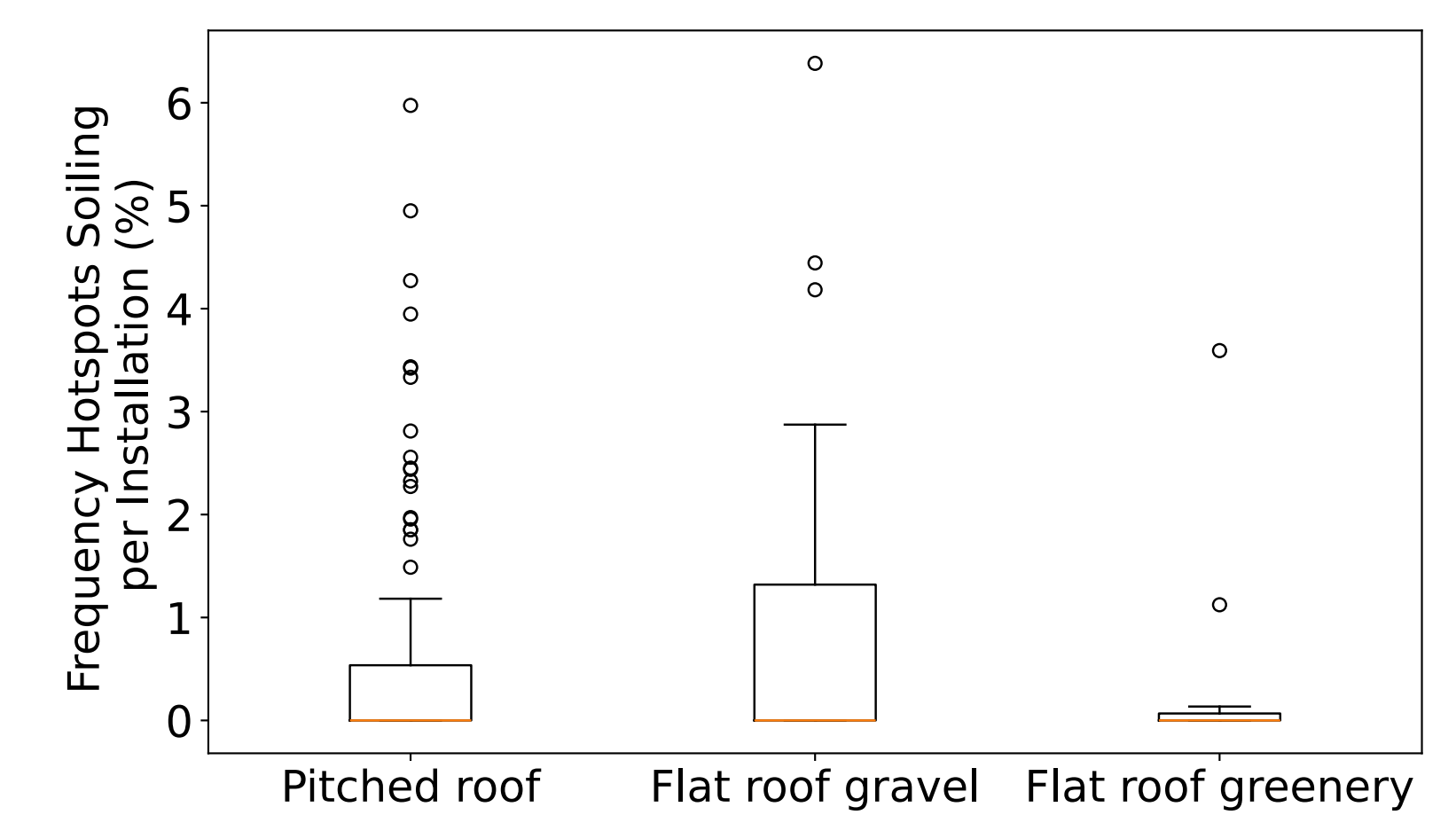


- Viele Defekte nahe Poisson Verteilung
- Vor allem Material/Modul Defekte (Substrings im Leerlauf etc.)
- Sind zufällig verteilt
- Keine Hinweise auf übergreifende Einflussfaktoren
- Hotspots aufgrund Verschattung und Verschmutzung zeigen Akkumulation
- Einfluss von Standort und Aufbau der Anlagen
- PID ebenfalls
- Module und Systemspannung beeinflussen auftreten von PID

Einfluss verschiedene Dacharten



- Hotspots Verschattung selten bei Schrägdächern, wenige teils stark betroffene Kiesdächer und grosser Teil und Gründächern betroffen



- Kiesdächer stärker betroffen als Schrägdächer, vermutliche flacherer Modulaufstellwinkel
- Schlechtere Selbstreinigung bei Regen
- Verschmutzung bei Gründächern vermutlich von Verschattung verdeckt

Zusammenfassung

- Über 90 % der Module ohne thermische Auffälligkeiten
- Kaum Zunahme der Defekte mit Anlagenalter
- Insgesamt gute Zuverlässigkeit der PV-Anlagen
- Gute Übereinstimmung mit Literatur [1]

Dank

Diese Studie wurde vom Bundesamt für Energie und Umwelt (BFE) finanziert. Die Daten wurden von Energie Netzwerk GmbH, Solaik GmbH und Helion Energie AG bereitgestellt.

Referenzen

[1]: C. Buerhop et al., „Statistical overview of findings by IR-inspections of PV-plants“, in Reliability of Photovoltaic Cells, Modules, Components, and Systems IX, SPIE, Sep. 2016, S. 100–108. doi: 10.1117/12.2237821.