



# Auswertungen von Feldmessungen zu Hagelschäden an Photovoltaik-Modulen

## Alterung von Hagelschäden

Im Juni und Juli 2021 kam es in der Schweiz zu mehreren schweren Hagelereignissen mit bis zu 90 mm grossen Hagelkörnern, die erhebliche Schäden auch an Photovoltaikanlagen (PV) verursachten. 500 betroffene PV-Anlagen wurden nach den Hagelstürmen inspiziert, Daten von Modulen mit Glasbruch gesammelt und visuell einwandfreie Proben mit dem mobilen PV-Labor der OST mittels Elektrolumineszenz (EL)-Bildgebung zur Analyse von Mikrorissen untersucht.



**Alexandre Voirol**  
BSc. Energie und Umwelttechnik  
alexandre.voirol@ost.ch  
T +41 58 257 41 45

### Vorgehen

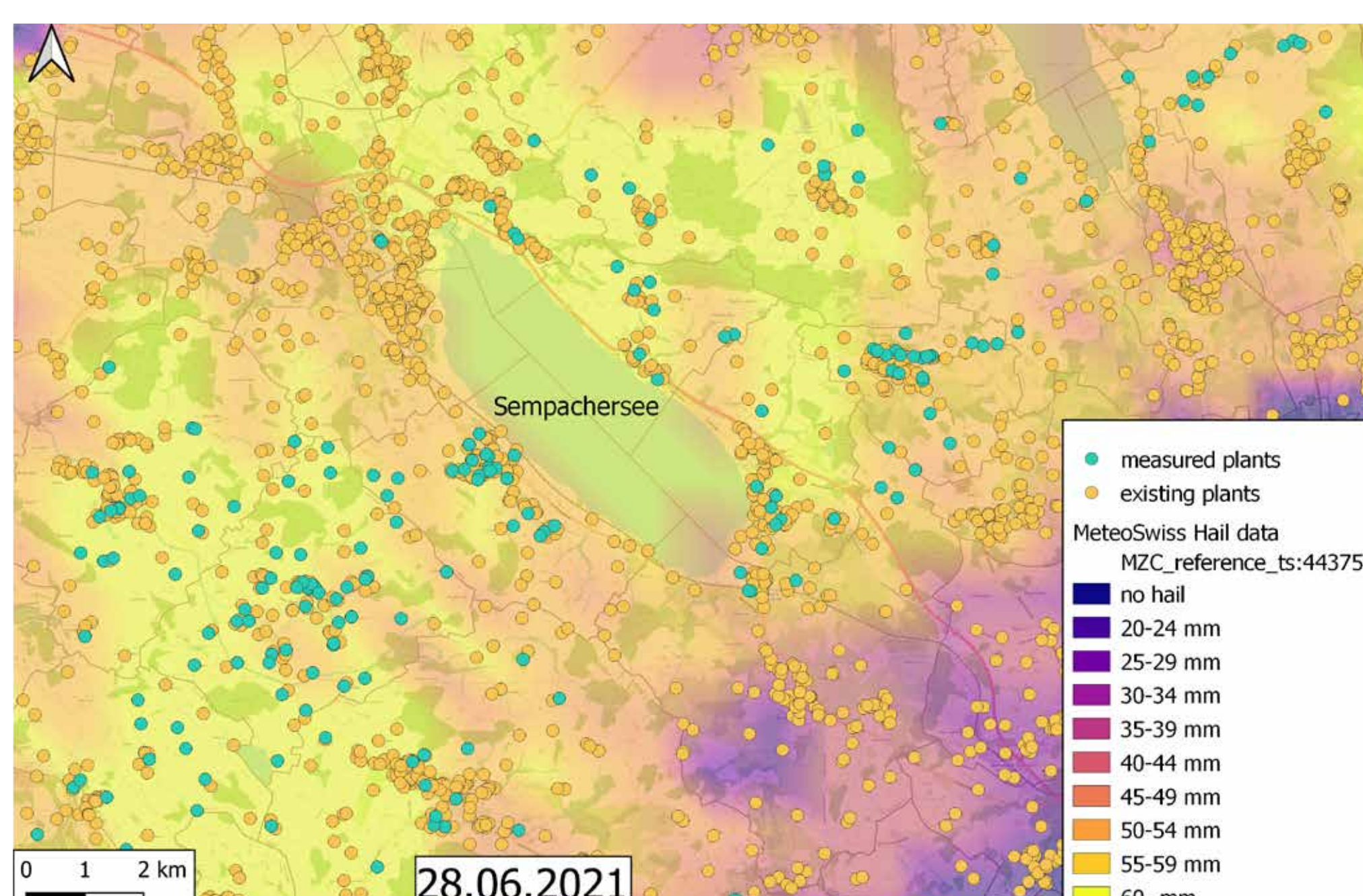
Für die Studie wurde eine Datenbank mit über 500 PV-Anlagen genutzt, die starkem Hagel ausgesetzt waren. Die Daten umfassten sowohl Module mit Glasbruch als auch EL-Bilder, die Zellrisse aufzeigen. Zwei Anlagen mit schweren Zellschäden (Klasse C & D) wurden nach zwei Jahren erneut vermessen, um die Alterung der Schäden zu bewerten.

### Datenanalyse

Von den über 500 gemessenen PV-Anlagen konnten schliesslich 344 Anlagen vollständig charakterisiert werden. Dazu wurden die Anlagen mit den Hagelraten von MeteoSchweiz (Abb. 1) und weiteren Datenbanken des Bundesamtes für Energie kombiniert. Von diesen 344 PV-Anlagen wurden 5'209 PV-Module ohne sichtbare Schäden entnommen. Es wurden EL-Bilder aufgenommen und die Module nach Anzahl und Schwere der Mikrorisse in die Klassen A-D eingeteilt.

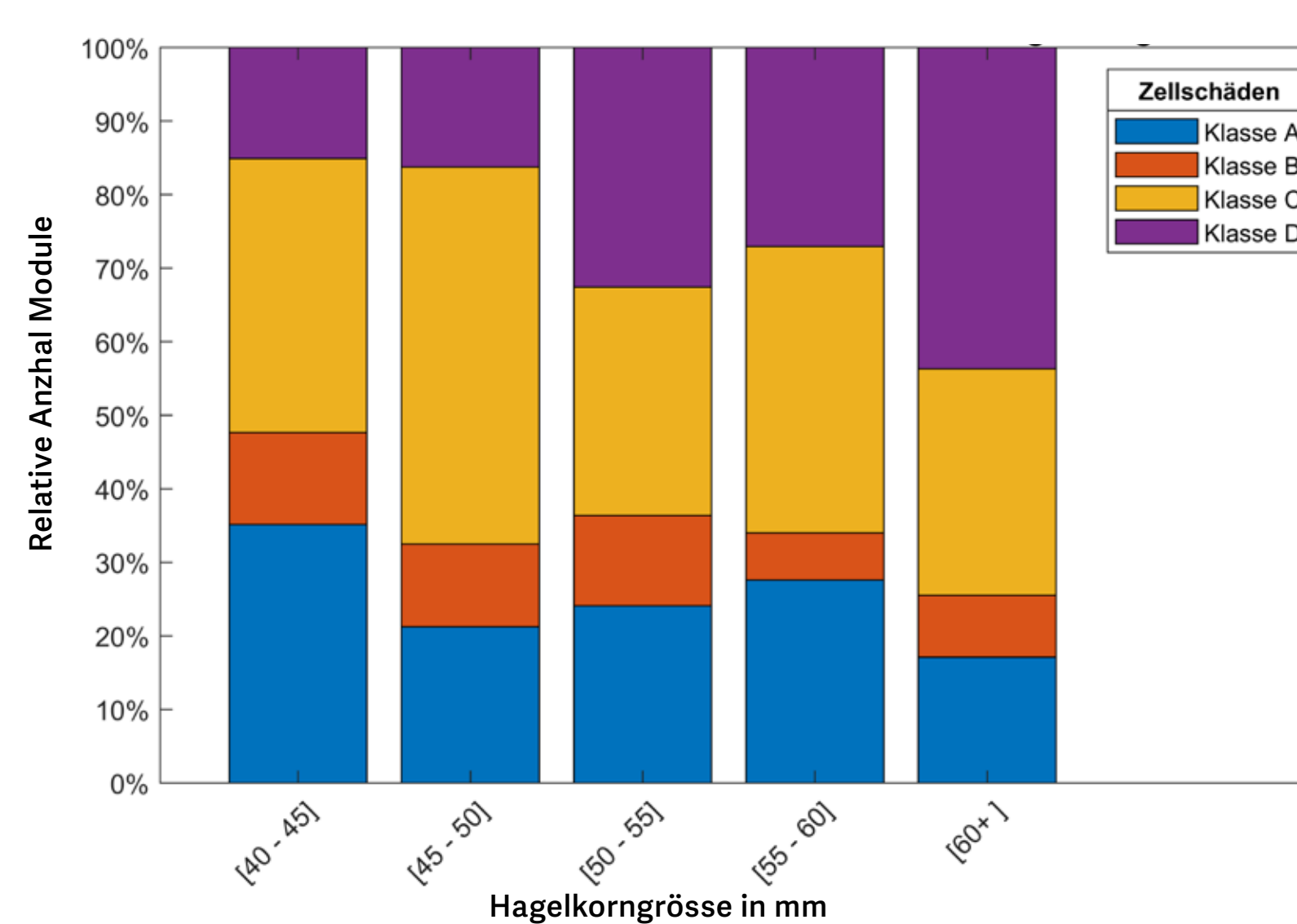
- **Klasse C:** Mindestens eine Zelle hat kritische Risse, die mehr als 20% der Zellfläche betreffen.
- **Klasse D:** Mehr als 10% der Zellen des Moduls weisen kritische Zellrisse auf.

**Abb. 1: Hagelkarte (MESH) vom 28.06.2021 in der Region Sempachersee mit vorhandenen und gemessenen Anlagen**  
Quelle: Eigene Darstellung aus Daten von MeteoSchweiz



### Schäden durch Hagel

Die Wahrscheinlichkeit für kritische Mikrorisse steigt mit der Hagelkörngrösse. Besonders in der Klasse D nimmt der Anteil stark zu, während die Klassen A und B abnehmen (Abb. 2). Allerdings gibt es innerhalb jeder Klasse grosse Unterschiede zwischen den Anlagen. Bei manchen Anlagen sind alle Module schwer geschädigt.

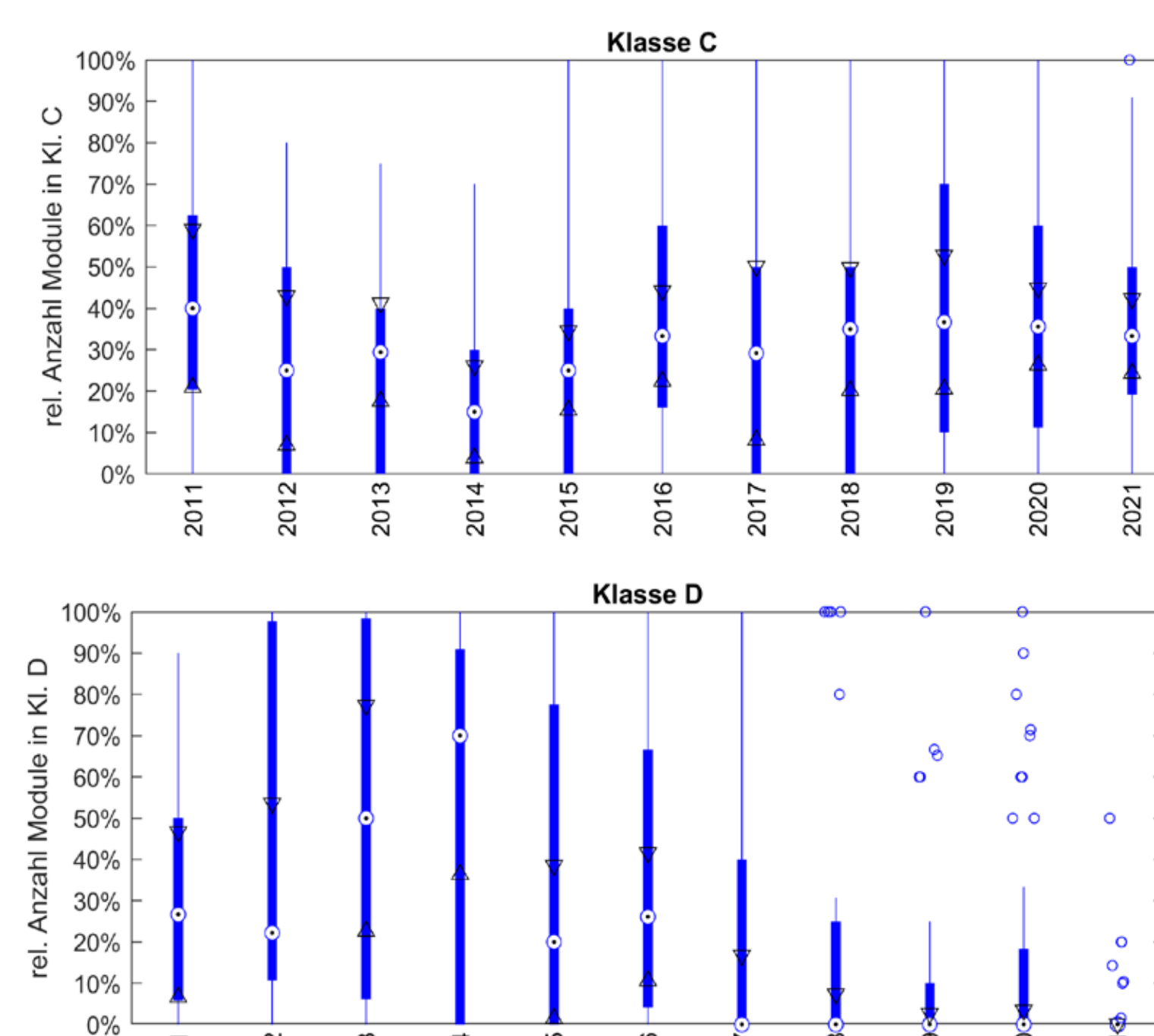


**Abb. 2 Anteil Module mit Zellschäden nach Klasse A-D und nach Hagelkörngrösse**

Ein weiterer wichtiger Faktor ist das Baujahr der Module (Abb. 3).

- Der Anteil an Modulen mit Zellrisse der Klasse C ist bei Modulen ab 2016 etwas höher als bei älteren Modellen.
- Im Schnitt sind bei Baujahren vor 2016 über 20% der Module einer Anlage in Klasse D. Ab Baujahr 2016 nimmt dieser Anteil stark ab, ebenso die Streuung der Daten.

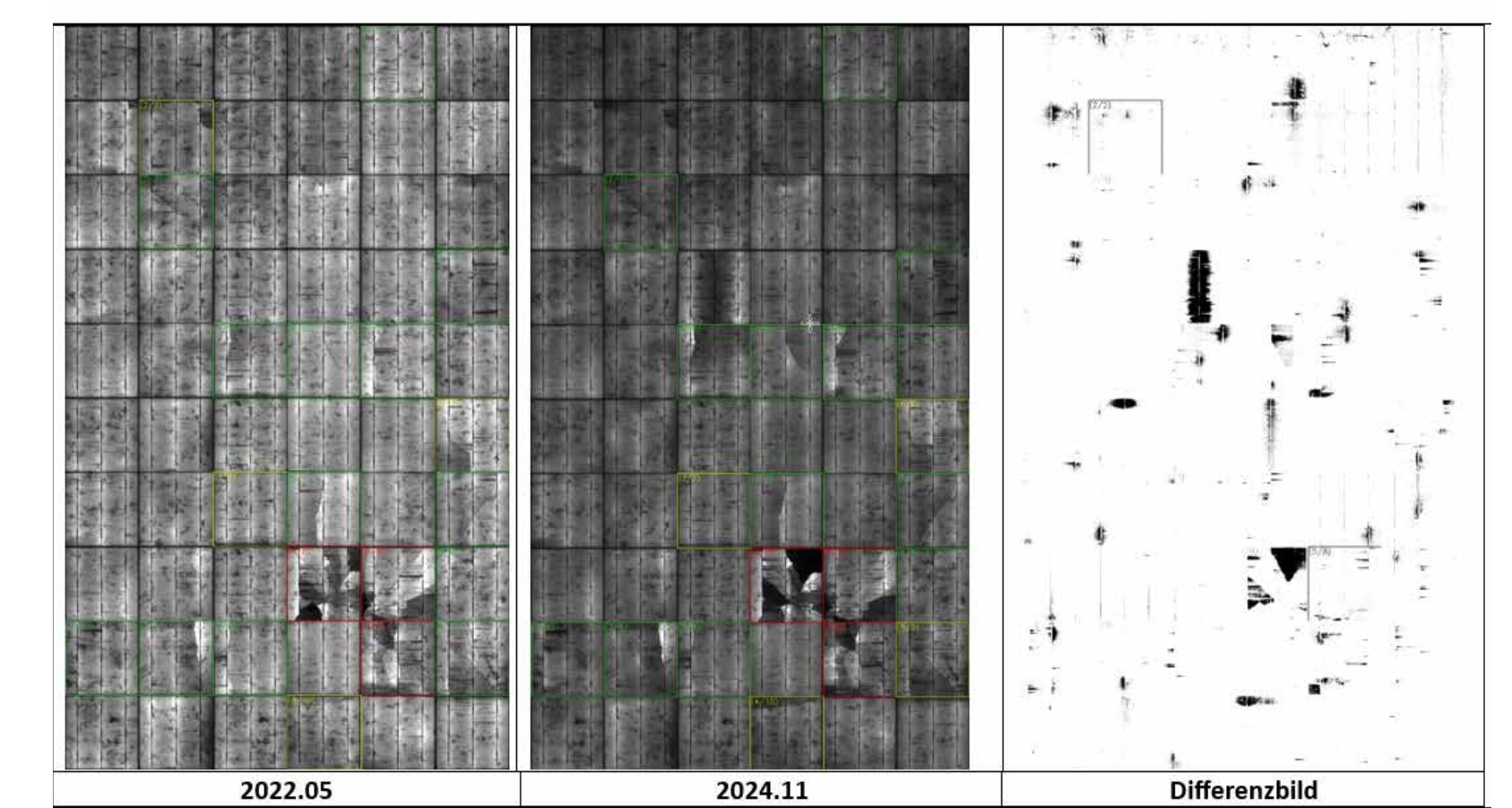
Dies deutet darauf hin, dass neuere Module eine höhere Qualität aufweisen oder dass ältere Module stärker durch langfristige Belastungen geschädigt wurden. Unabhängig vom Baujahr sind, bis auf wenige Ausnahmen, bei allen getesteten Anlagen gerahmte Module und ein Frontglas von 3,2 mm verwendet worden.



**Abb. 3 Boxplot der Modulanteile pro Anlage in der Klasse C (oben) und Klasse D (unten) nach Baujahr der Anlagen.**

### Alterung der Mikrorisse

Eine PV-Anlage am Sempachersee mit Modulen der Klassen C und D wurde nach 2,5 Jahren erneut untersucht. Die Module zeigten in dieser Zeit eine deutliche Alterung. Von den zehn gemessenen Modulen sank die Leistung im Durchschnitt um 4 %. Abb. 4 zeigt ein Beispiel: Links das EL-Bild direkt nach der Beschädigung, in der Mitte das Bild nach 2,5 Jahren, rechts ein Differenzbild, das zeigt, welche Bereiche inaktiv geworden sind. Der inaktive Bereich nahm um 2,24% zu.



**Abb. 4. Elektrolumineszenz-Bilder desselben Moduls aus einer Anlage oberhalb des Sempachersee. Das Modul wurde 2022 und 2024 gemessen. Rechts ein Differenzbild zwischen den zwei Messungen.**

### Fazit

Insgesamt wurden 344 PV-Anlagen mit EL-Bildgebung von rund 5'200 Modulen analysiert. 58% der Module hatten kritische Zellschäden (Klasse C & D). Die Ergebnisse zeigen:

- Ab einer Hagelkörngrösse von 40 mm treten erste Zellrisse auf.
- Bei Hagelkörngrössen über 50 mm werden Schäden sehr wahrscheinlich.
- Neuere Module sind widerstandsfähiger gegenüber Hagelschäden.
- Die Streuung der Daten ist gross, das bedeutet, dass nicht alle Anlagen gleich stark betroffen sind.

### Nächste Schritte

Die nächsten Schritte im Projekt sind die In- und Outdooralterung von Modulen mit hagelbedingten Zellschäden und die Bewertung der Entwicklung von Zellrisse, der IV-Eigenschaften und einer möglichen Degradation.