

# Analyse von PV-Modulschäden aufgrund von Hagelereignissen

## Diplomand



Andres Rossel

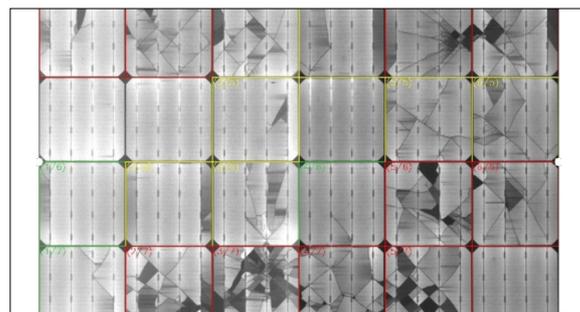
**Problemstellung:** Die produzierte Sonnen-Energie hat in den letzten Jahren stark zugenommen, da sie eine umweltfreundliche und unbegrenzte Energiequelle ist. Es gibt allerdings einige Einflüsse wie zum Beispiel Hagelschlag, welche die Leistung von PV-Modulen beeinträchtigen. Die Schäden werden in Zukunft aufgrund der zunehmenden Häufigkeit schwerer Hagelstürme wahrscheinlich noch zunehmen. Die wohl größten Kosten entstehen durch beschädigte Dächer. Im Vergleich zu den herkömmlichen Dächern haben die Photovoltaik-Module auf den Dächern aufgrund ihrer Oberflächen-Materialien eine geringere Widerstandsfähigkeit gegenüber Naturkatastrophen. Ein starker Hagelsturm kann die vordere Glasoberfläche beschädigen, die Solarzelle zerstören und so mit der Zeit die Energie-Gewinnung reduzieren. Wenn Risse in einer Solarzelle auftreten, wird die Zelle vollständig isoliert, was zu einer Verringerung des Stroms führt. Hagelstürme verringern nicht nur die gesamte Stromerzeugung, sondern auch die Lebensdauer der PV-Module. Es mangelt jedoch an Erfahrung und Kenntnissen, um zu bestimmen, welche Abhängigkeit gewisse Eigenschaften bezüglich der Schadeneinflüsse an der Solarzelle haben.

**Ziel der Arbeit:** Diese Bachelorarbeit befasst sich mit spezifisch durchgeführten Elektrolumineszenz-Verfahren und deren erfassten Messdaten, die für die Analyse gebraucht werden, um die unterschiedlichen Kriterien für den Grad der Beschädigung der Module und den Zusammenhang von verschiedenen Einflussgrößen auswerten zu können. So lässt sich die Anfälligkeit von Solarmodulen für Hagel ermitteln. Die Datensätze wurden von der Firma Energie Netzwerk aufgrund des Hagelereignisses in der Schweiz vom 28. Juni 2021 bereitgestellt. Zusätzlich wurden Hagelmessungen von verschiedenen Berichten aus den Regionen mit hohem Hagelaufkommen für die Analyse verwendet. Ausserdem sind ältere Hagelereignisse mitberücksichtigt worden. Um die Ergebnisse einordnen und mögliche spätere Ertragsminderungen abschätzen zu können, wurde eine Literaturrecherche zu Modulschäden im Zusammenhang mit Hagelereignissen durchgeführt.

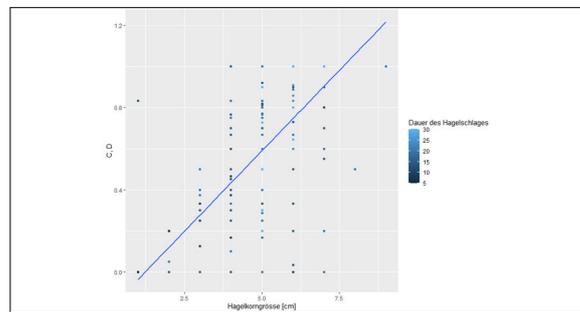
**Ergebnis:** Die Analyse hat ergeben, dass der grösste signifikante Zusammenhang zwischen der Hagelkorngrösse, der Dauer des Hagelschlags und dem Prozentualen Zellschaden «C, D» an den Modulen liegt. Pro 1cm Hagelkorngrösse erhöht sich der Schadenwert an den Zellen «C, D» um 13 %. Pro Minute des Hagelsturms steigt der Wert «C, D» um 1.5 %. Spannend ist dabei, dass der Prozentsatz des Schadenanteils am Glasbruch im Vergleich zum Wert «C, D» um das Siebenfache kleiner ist. Bei der Relation zwischen Glasschaden und Hagelkorngrösse steigt der Wert des Schadenanteils nur um 1.7% und pro Minute um 0.1%. Einer der

Faktoren für die Ursache ist, dass für die Modul Schadenklassierung «C, D» ein zu geringer Wert als Anteil der beschädigten Zellen pro Modul gewählt wurde. Nach den Beobachtungen der Auswertungen wäre ein Wert von 20% Schadenanteil der Zelle pro Modul am sinnvollsten. Somit gäbe es auch nicht bei allen Analysen einen so hohen Schaden-Prozentsatz-Wert der Zellen pro Modul, die ausgewechselt werden sollen. Die Schlussfolgerung ist, dass der Hauptfaktor für die Schäden an den Zellen der Module bei einem so heftigen Hagelschlag wie im Sommer 2021, bei der Hagelkorngrösse und der Dauer des Hagelschlags liegt.

**Darstellung einer EL Analyse des Moduls**  
Eigene Darstellung



**Zusammenhang des Werts «C, D» von Zellschaden des Moduls nach Hagelkorngrösse und Dauer des Hagelschlags**  
Eigene Darstellung



**Examinator**  
Prof. Christof Biba

**Experte**  
Michael Beer,  
Photovoltaik-Service  
Beer, Weimar (Lahn)

**Themengebiet**  
Elektrische  
Solartechnik (PV, Wind,  
H2)

**Projektpartner**  
Heinz Simmler, Energie  
Netzwerk GmbH,  
Bachenbülach, ZH