

# OUTDOOR LOCK-IN THERMOGRAPHIE VON PID MODULEN



MSEL

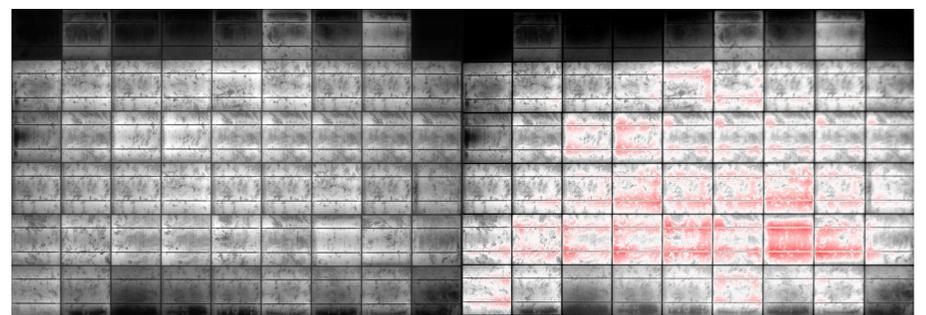
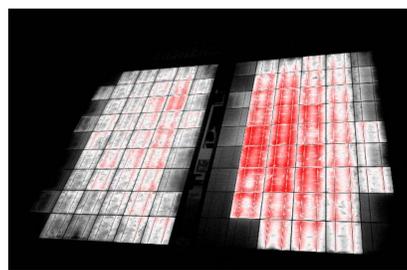
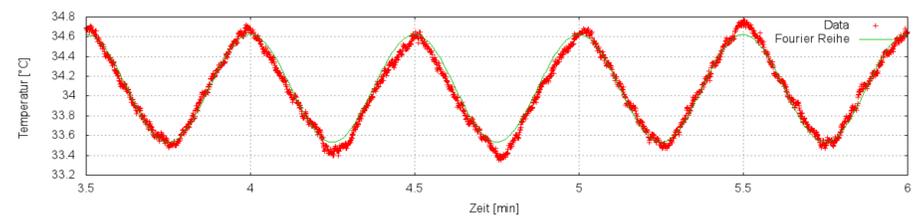


## LIT

Bei Indoor Lock-In Thermographie wird typischerweise ein Modul mit periodischem Gleichstrom durchflossen. Nach einer dynamischen Temperaturstabilisierung wird jeder Punkt auf der Oberfläche mit eben dieser Periodendauer in der Temperatur schwanken, jedoch sind Phasenlage und Amplitude ortsabhängig. Durch thermographisches filmen der Moduloberfläche und anschließender Fourier-transformation der einzelnen Bildpunkt-Temperaturen können Schwankungs-Amplitude und Phase bestimmt werden. Bei unendlich langsamen Schwankungen sind die Amplituden äquivalent zu einer normalen Thermographie. Je kürzer die Periodendauer, desto kleiner werden die Amplituden. Jedoch erhöht sich auch die Ortsauflösung, da eine seitliche Wärmeausbreitung, z.B. durch das Modulglas, eliminiert werden kann. Die Ortsverteilung der Amplitude entspricht daher bei höheren Frequenzen hochgradig der Wärmequellenverteilung im Modul. Die typische Messdauer liegt bei 30 Minuten, die benötigte externe elektrische Leistung lässt sich mit  $U_{oc} \cdot I_{sc}$  abschätzen, also typischerweise 350W/Modul.

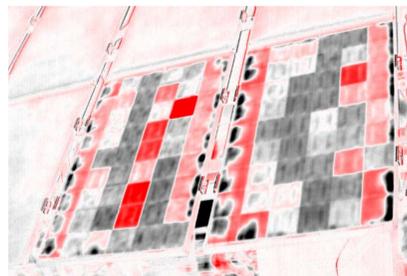
## OdLIT

Die für die LIT nötige Temperaturschwankung wird durch Lastwechsel des Moduls erzeugt. Im Leerlauf ist ein Energietransport zwischen unterschiedlichen Zellen nicht möglich, alle Zellen haben (abgesehen von lokalen Defekten im Parallelwiderstand) ähnliche Temperatur. Im Kurzschluss kann die produzierte Energie einer Zelle in anderen abgebaut werden, und daher höhere Temperaturschwankungen erzeugen. Speziell der Mismatch im  $I_{sc}$  der Zellen zeigt sich. Die benötigte Energie wird rein durch die Sonneneinstrahlung erzeugt. Messungen waren bis  $250W/m^2$  Einstrahlung verwertbar. Schaltungen in MPP sind machbar, jedoch elektrisch aufwändiger.



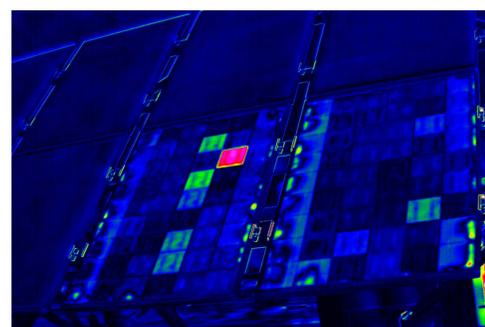
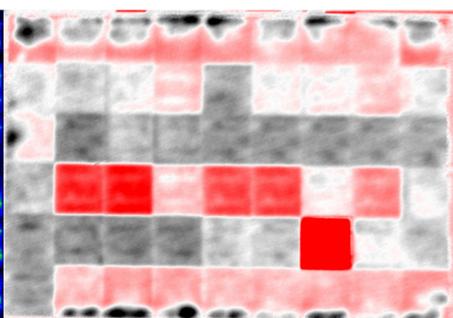
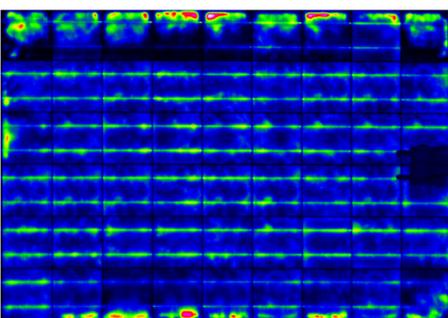
### Untersuchte Module

Die PID geschädigten Module wurden über zwei Jahre Outdoor betrieben. Es wurde Outdoor EL als auch OdLIT durchgeführt. Die Module wurden danach ebenso mit den entsprechenden Indoor Methoden vermessen.



### ELEKTROLUMINESZENZ

Outdoor EL (rechts) mittels modifizierte DSLRs zeigt bei entsprechender Dunkelheit und ausreichender Tiefenschärfe keinen Nachteil gegenüber Indoor EL (links). Sinnvolle Messungen sind etwa 1h nach Sonnenuntergang möglich (nautische Dämmerung). Betauung wirkt sich negativ auf die Schärfe aus, und erfordert Vorsicht bei der Handhabung der Netzteile.



### OdLIT Amplitude

Die positiv definite Amplitude der LIT Schwankungsamplitude (0-150mK) zeigt Zellen ohne defekte als die, welche bei Kurzschluss am stärksten erwärmen.

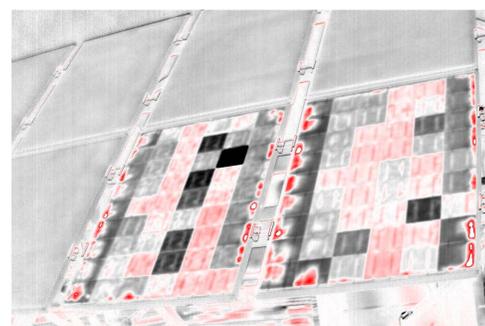
### LIT

Indoor sind Lock-In Amplituden nach entsprechender Kompensation des allgemeinen Phasenversatzes nur positiv: Es wird jeder Oberflächenpunkt nach der Wellen-Durchtrittszeit durch die Materialien wärmer.

Bei gleicher Messzeit ist z.B. durch Betrachtung der Rückseite statt der trägeren Glas-Vorderseite eine höhere Auflösung möglich.

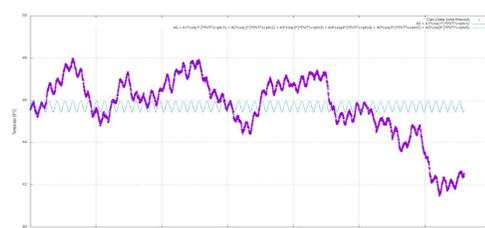
### OdLIT

Outdoor ist es möglich, dass manche Stellen bei Kurzschluss kühler werden als bei Leerlauf. Dann ist es sinnvoll, die Amplitude vorzeichenbehaftet zu betrachten. Dabei können die durch PID geschädigten Parallelwiderstände sehr gut Lokalisiert werden. Zusätzlich wird der  $I_{sc}$ -Mismatch gezeigt: Zellen mit zu hohem oder zu niedrigem  $I_{sc}$  im Vergleich zum durchschnittlichem  $I_{sc}$  werden im Kurzschluss erwärmt. Es kann also auch die „beste“ Zelle die heißeste sein.



### OdLIT COS-Anteil

Der nach Korrektur der gemeinsamen Phase (Minimierung des SIN-Anteils) berechnete COS-Anteil ist von -100 bis +100 mK skaliert. Abkühlungen bei Kurzschluss sind hier rot, Erwärmungen schwarz markiert.



### Robustheit

Trotz starker absoluter Temperaturschwankungen während des Messdauer von  $\pm 2^\circ$  (Wind, Einstrahlung) ist es problemlos möglich, den Anteil der Pixeltemperaturen mit bekannter Frequenz zu rekonstruieren.