

ANALYSE VON FEHLERBILDERN AN DÜNNSCHICHTMODULEN ÜBER DAS ELEKTROLUMINESZENZVERFAHREN

MATTHIAS ANKNER | MATTHIAS ZECH | THORSTEN KOPP | MIKE ZEHNER | MARTIN SCHWINDL | GERD BECKER

1 Einleitung

Durch mechanische Einwirkung, Fehler bei der Herstellung oder durch Umwelteinflüsse können in Photovoltaikmodulen mit bloßem Auge nicht sichtbare Defekte entstehen, die den Wirkungsgrad beeinflussen. Es ist daher von großer Bedeutung, die Fehler zu finden und die Gründe ihrer Entstehung zu analysieren. Die untersuchten amorphen (a-Si) Dünnschichtmodule weisen, infolge des Aufbaus und dünnerer Siliziumschichten, andere Eigenschaften und Defekte auf als kristalline Module. Zur genaueren Beurteilung einzelner Defekte wurden zusätzlich Infrarotbilder (IR) aufgenommen.

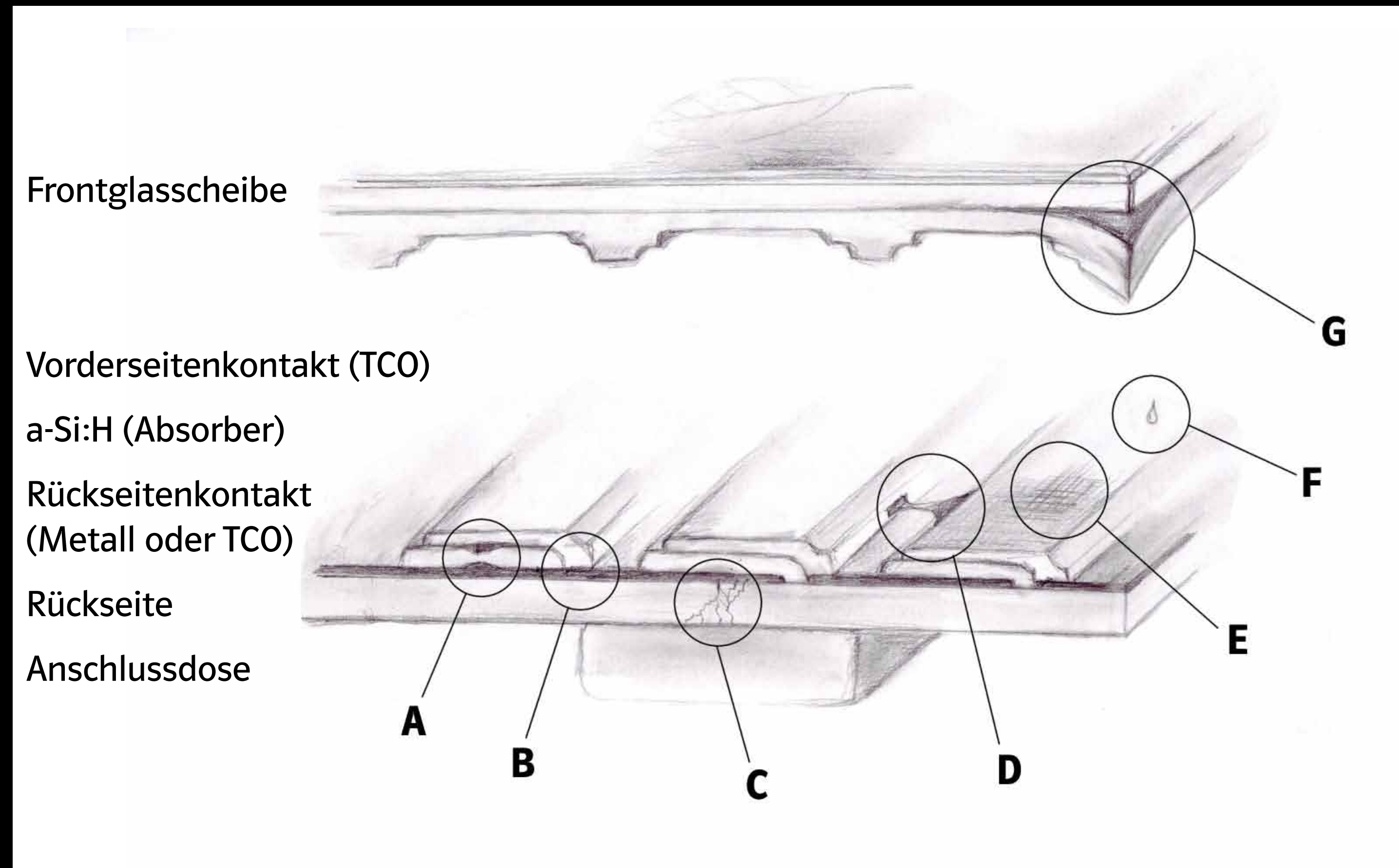


Abb. 1: Defekte an a-Si Modulen: A – Shunt (innerhalb der Zelle), B – Ausfall einer Zelle, C – mechanischer Einfluss, D – Local Shunt (zwischen Zellen), E – TCO-Korrosion, F – Wassereinfluss, G – Delamination



2 Grundlegende Informationen zum Messaufbau

Das Herzstück im Messaufbau an der Hochschule München ist eine Kamera mit einem CCD-Chip aus InGaAs (Auflösung 1024 x 1024 Px) der Firma Greateyes. Diese erfasst die vom Modul ausgesandte, infrarote Lumineszenzstrahlung. Der verwendete Sensorchip kann im Gegensatz zu einem Siliziumchip Photonen im nahen Infrarot ausreichend gut detektieren, da InGaAs eine geringere Bandlücke aufweist. Für die Aufnahme des Lumineszenzvorgangs wurden bei den Modulen die Bypassdioden entfernt und die Zellen anschließend mit ihrem Nennstrom als Verbraucher beschaltet. Dabei treten Zellbereiche mit hoher Stromdichte und intakter Struktur heller hervor, als defekte Bereiche mit geringer Stromdichte und höherem Zellwiderstand. Somit ist es möglich, durch Aufnahme des von Modulen abgestrahlten infraroten Lichts Abweichungen in der Effizienz der einzelnen Zellbereiche und mögliche Defekte als Ursache innerhalb des Materials zu entdecken.

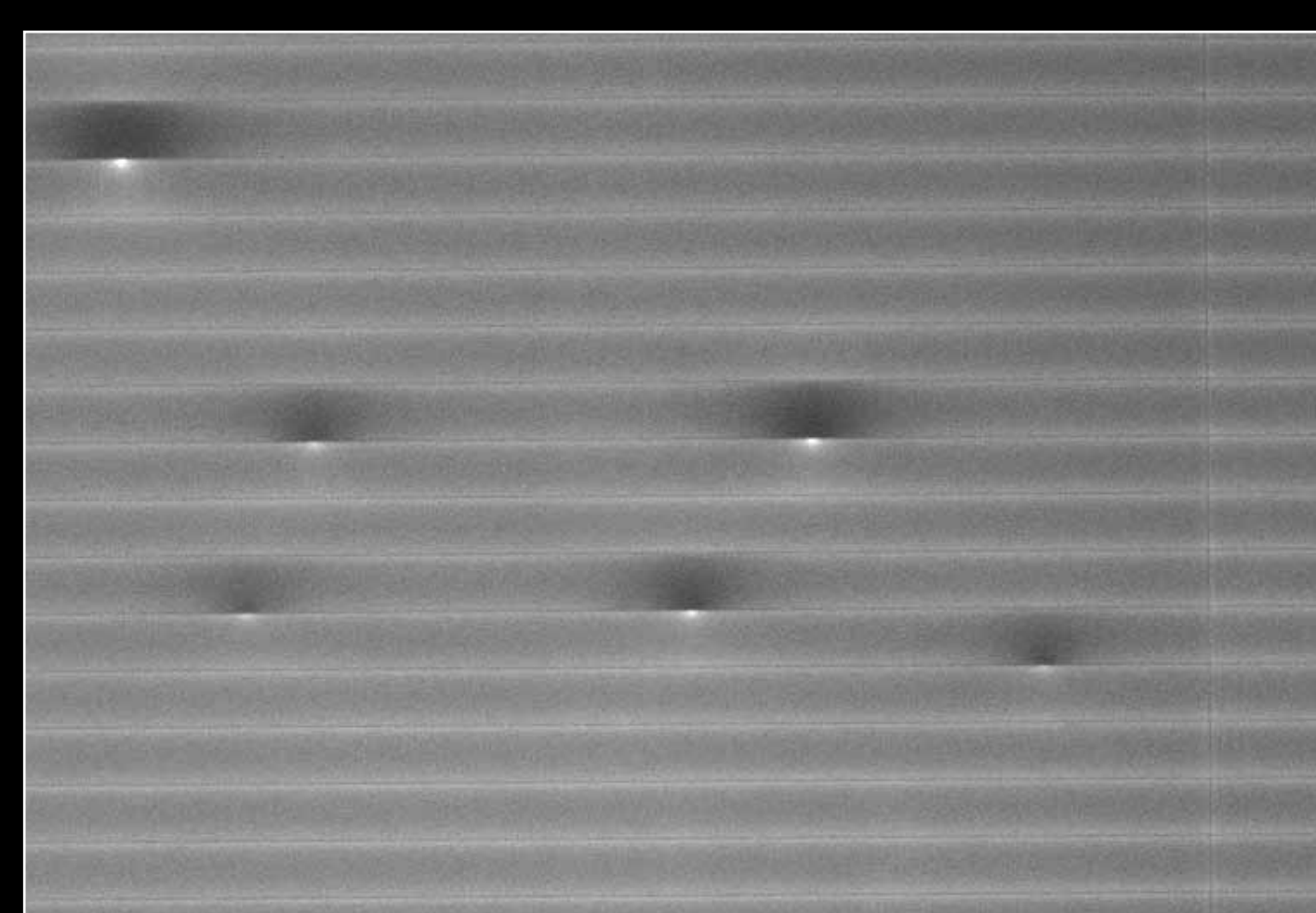


Abb. 2: EL-Aufnahmen von mehreren Local Shunts: der Kurzschluss als heller Punkt hoher Stromdichte mit angrenzendem dunklen Fleck des überbrückten Bereiches, der helle senkrechte Strich trennt zwei Zellreihen.

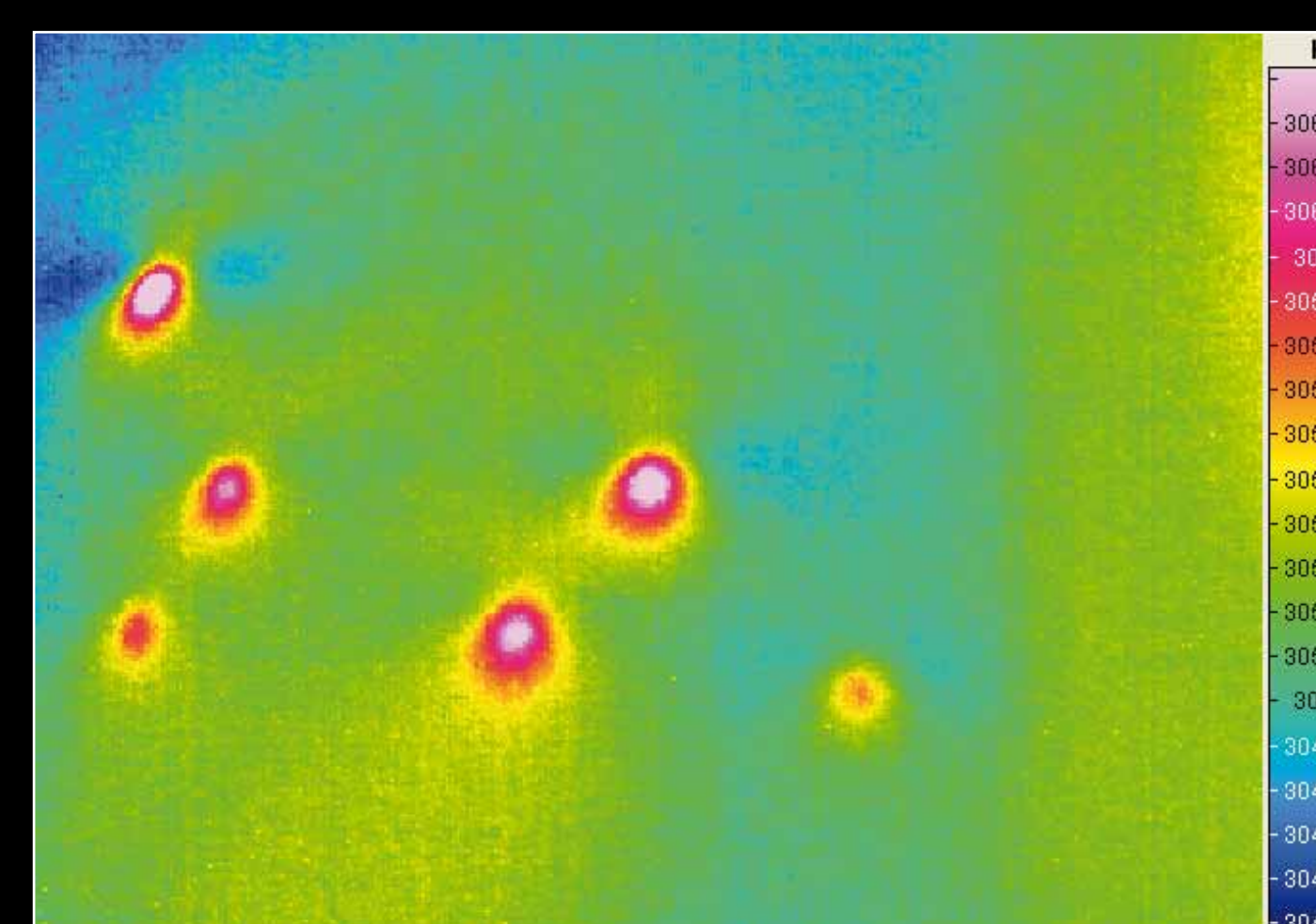


Abb. 3: Auf der IR-Aufnahme sind zwar die Shunts, aber nicht deren genaue Entstehungsursache zu erkennen.

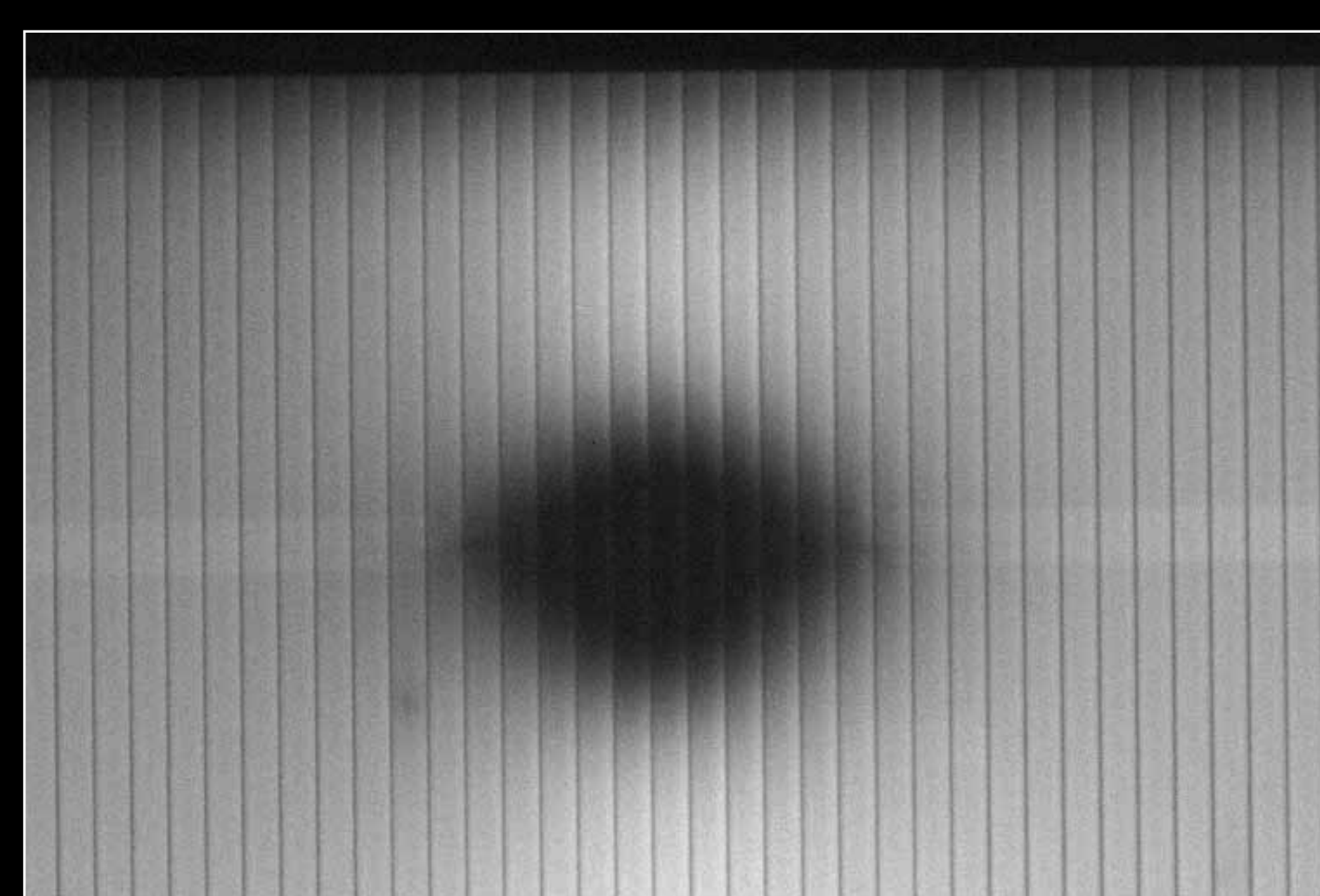


Abb. 5: EL-Aufnahme, auf der der dunkle Bereich einen Defekt durch eingedrungenes Wasser über der Anschlussdose zeigt.

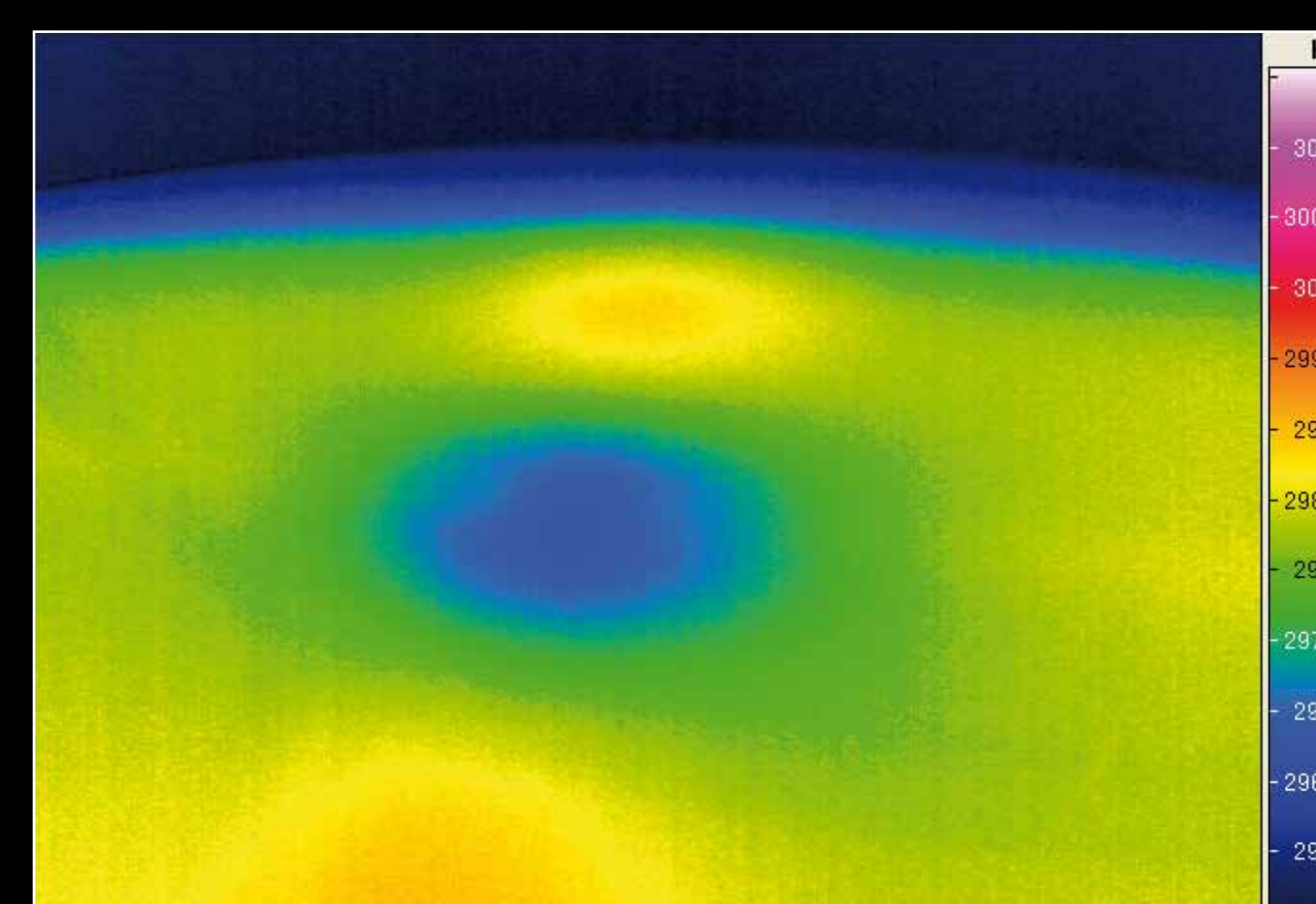


Abb. 6: Die Zellschädigung ist auf dem IR-Aufnahme durch eine niedrigere Temperatur zu erkennen.

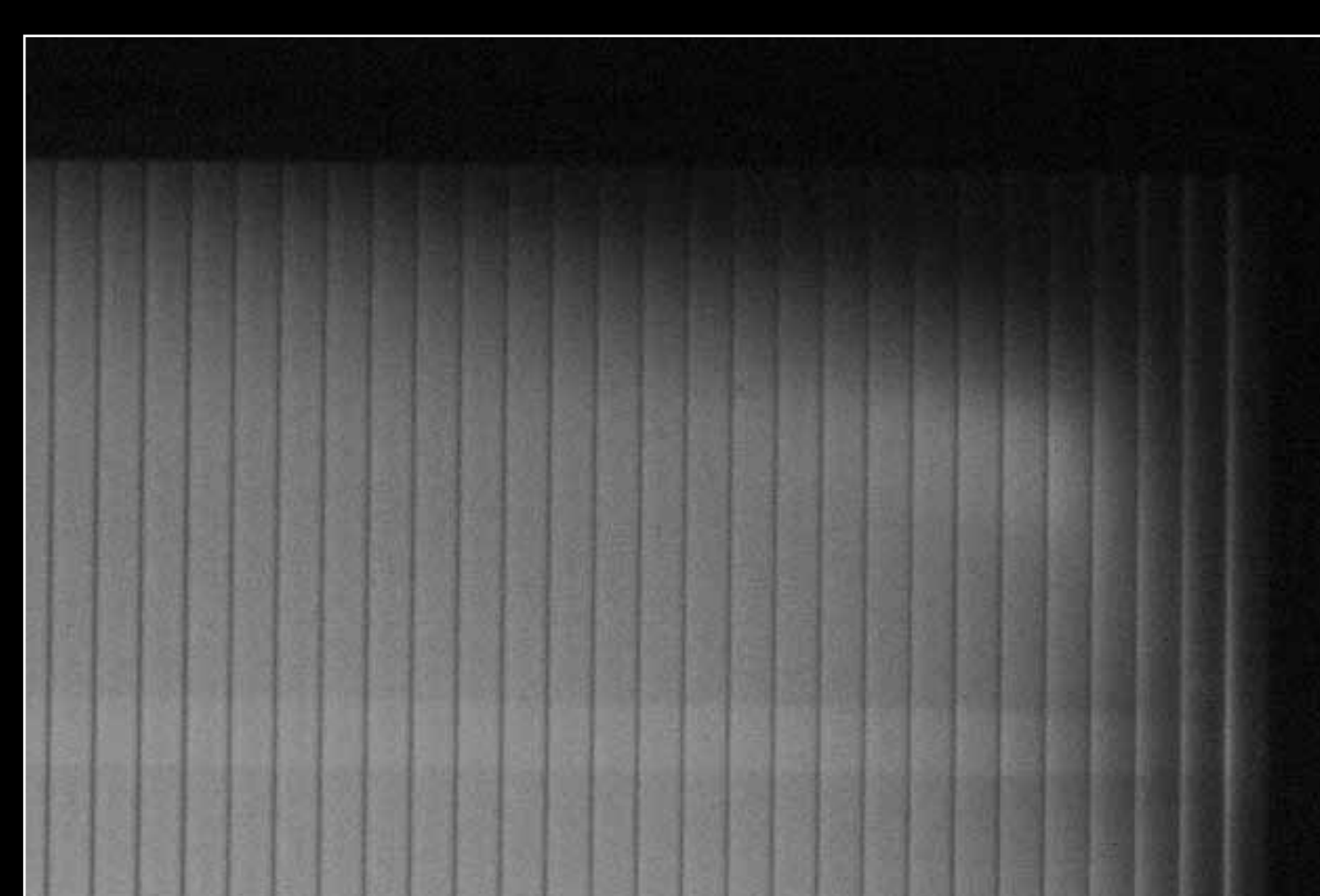


Abb. 7: EL-Aufnahme eines Modulrandes mit Zellbeschädigungen durch eingedrungenes Wasser.

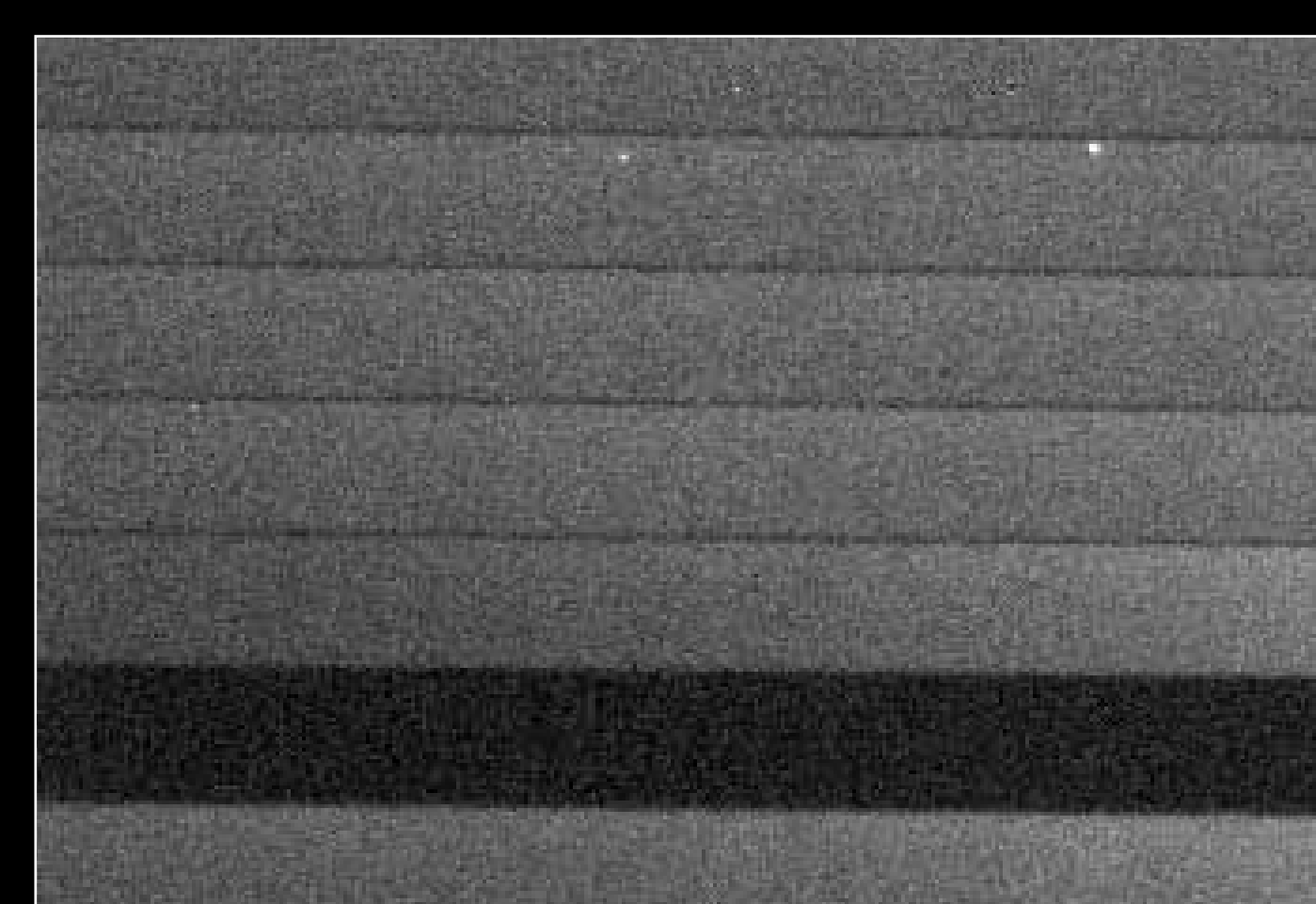


Abb. 8: EL-Aufnahme zeigt einen Zellausfall.

3 Defekte und deren Ursache

Abb. 1 zeigt schematisch verschiedene Fehler an einem a-Si Dünnschichtmodul. Im Rahmen dieses Beitrags wird nur auf die Fehler B, D und G eingegangen.

3.1 Erkennung eines Local Shunts – Fehler D
Bei a-Si Modulen tritt häufig ein Local Shunt (Kurzschluss) auf, der durch eine Verbindung zwischen den TCO- oder Metallschichten zweier angrenzender Zellen verursacht wird. Dieser überbrückt einen Teil der Zelle und schließt diesen dadurch kurz. Bei einem TCO-Fehler, wie in Abb. 1-D dargestellt, existiert ein punktueller Kurzschluss der TCO-Schichten zweier benachbarter Zellen. Der Strom fließt gebündelt über diesen Shunt als Verbindung zur nächsten Zelle. Dies verursacht einen hellen Punkt in der EL-Aufnahme durch erhöhte Rekombination der Elektron-Loch-Paare in diesem Bereich. In der angrenzenden Siliziumschicht der überbrückten Zelle findet durch den Kurzschluss keine Rekombination statt, gut sichtbar als dunkler, inaktiver Zellbereich (Abb. 2). An der Lage des hellen Punktes hoher Stromdichte zum dunklen, überbrückten Bereich kann erkannt werden ob der Shunt sich zwischen den unteren oder oberen Kontaktschichten der angrenzenden Zellen befindet. In der IR-Aufnahme ist die Stelle der höchsten Stromdichte durch ihre Wärmeentwicklung als Hotspot zu erkennen (Abb. 3).

3.2 Ausfall einer Zelle – Fehler B

In Abb. 8 sind die Auswirkungen eines Zellausfalls auf das Lumineszenzbild zu erkennen. Hier ist ersichtlich, dass im bestromten Zustand des Moduls keinerlei Rekombination der Elektronen-Loch-Paare in der Zelle stattfindet. Die Kontaktschicht wurde bei der Herstellung mit dem Laser nicht restlos entfernt, sondern ist auf der vollen Länge einer Zelle noch vorhanden. Dies führt zu einer Überbrückung der gesamten Zelle und somit zum Kurzschluss selbiger, wie in Abb. 1-A dargestellt.

3.3 Schädigung durch eingedrungenes Wasser – Fehler G

Bei einem Modul ist durch eine fehlerhaft gesetzte Anschlussdose (Abb. 6) nach Langzeittests in der Klimakammer Feuchtigkeit in die Zellen eingedrungen, wodurch die Zellen in diesem Bereich geschädigt wurden. Bei einem ungenügenden Verkapselungsprozess kann dieses Problem auch am Rand und den Ecken des Moduls (Abb. 7) auftreten. Die schadhaften Stellen zeigen eine deutlich reduzierte EL. In den IR-Aufnahmen erkennt man, dass an den entsprechenden Stellen die Stromdichte verringert ist. Möglicherweise führt eingedrungenes Wasser zu einem Anstieg des Widerstandes in diesen Bereichen.

4 Resümee

Einige bereits bekannte Defekte in der Dünnschichttechnologie konnten über das Verfahren der Elektrolumineszenz aufgezeigt werden. Hierunter fallen inaktive Zellen und Zellbereiche, Shunts und Schädigungen durch

Wasser in den Zellen. Die Kombination mit einer IR-Aufnahme erleichtert die Beurteilung bestimmter Defekte. Für die Quantifizierung resultierender Leistungsverluste sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig. In den bisherigen Messungen hat sich gezeigt, dass die Elektrolumineszenz auch für die

Dünnschichttechnologien ein wichtiges Hilfsmittel zur Prozessüberwachung und Qualitätssicherung darstellt. Zukünftige Arbeiten umfassen eine Ergänzung des Fehlerkataloges um TCO-Korrosion, Fremdkörpereinschlüsse oder Delamination. Diesem Katalog werden Untersuchungen der anderen

Dünnschichttechnologien angefügt und die bestehenden Erkenntnisse erweitert.