

## Anwendungsbereich

Anwendungsbereich dieses Dokuments ist ...

## Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	5
1 Anwendungsbereich.....	6
2 Normative Verweisungen .....	6
3 Begriffe .....	6
4 Bildaufnahme.....	7
4.1 Ausrüstung .....	7
4.1.1 Kamera für Elektrolumineszenz-Bildaufnahme .....	7
4.1.2 Bildaufnahmestudio mit Dunkelkammer.....	9
4.1.3 Stromversorgung .....	10
4.1.4 Computergestützte Steuerung während der Bildaufnahme .....	10
4.1.5 Bildverarbeitung und Darstellungssoftware.....	10
4.1.6 Ausrüstungen für Schutz und Handhabung .....	11
4.2 Verfahren.....	12
4.2.1 Kameraeinstellungen und -positionierung.....	12
4.2.2 Kameraeinstellungen.....	12
4.2.3 Umgebung bei der Bildaufnahme.....	13
4.2.4 Bildaufnahme.....	14
4.3 Bildkorrektur und -analyse.....	14
4.3.1 Signal-Rausch-Verhältnis .....	14
4.3.2 Verfahren der Bildaufnahme .....	15
4.3.3 Analyse.....	15
4.3.4 SNR-Kriterien .....	15
5 Bewertung von EL-Bildern.....	16
5.1 Grundsätze der Elektrolumineszenz .....	16
5.2 Bildinterpretation.....	16
5.2.1 Serienwiderstand.....	16
5.2.2 Minoritätsträgerlebensdauer und Diffusionslänge.....	17
5.2.3 Nebenschlusswiderstand .....	17
5.2.4 Zuordnung von Grundursachen .....	17
5.3 Statistische Analyse des Elektrolumineszenzsignals.....	17
5.3.1 Allgemeines.....	18
5.3.2 Bildinformationen.....	18
5.3.3 Auswirkungen des Vorwärtsstroms.....	18
5.3.4 Analyse von Intensitätsverteilungen.....	18

	Seite
5.3.5 Abweichungen.....	18
5.3.6 Wölbung (Kurtosis).....	18
5.3.7 Schiefe .....	18
5.3.8 Pixel- (oder Bereichs-)-gewichtete Elektrolumineszenz im Verhältnis zum idealen Modul .....	18
6 Berichtswesen.....	19
Anhang A (normativ) Verfahren der Bildkorrektur .....	21
A.1 Objektivverzerrung .....	21
A.1.1 Korrektur der Vignettierung .....	21
A.1.2 Vignettierung als Funktion des Winkels zur Kameraachse.....	21
A.1.3 Korrektur der Vignettierung .....	21
Anhang B (informativ) Schärfeeinstellung .....	23
B.1.1 Allgemeines .....	23
B.1.2 Anwendung der Tenengrad-Funktion und des Sobel-Operators .....	23
Anhang C (normativ) Quantifizieren von Solarzellenrissen in Photovoltaikmodulen .....	24
C.1 Allgemeines .....	24
C.2 Rissarten von Zellen .....	24
C.3 Grundlage der Quantifizierung von Zellenbeschädigungen.....	25
C.4 Verfahren.....	27
Anhang D.....	29
D.1 Qualitative Auswertung von Elektrolumineszenzbildern von kristallinen Silizium-PV-Modulen.....	29
D.2 Qualitative Auswertung von Elektrolumineszenzbildern von Dünnschicht-PV-Modulen .....	34
Literaturhinweise .....	37
<b>Bilder</b>	
Bild 1 – Verschiedene Halbleiterdetektor-Werkstoffe und ihre absolute Spektralempfindlichkeit .....	8
Bild 2 – Elektrolumineszenz-Emissionsspektren für (a) Si, (b) ZnO/CdS/Cu(In,Ga)Se <sub>2</sub> (CIGS) und (c) CdS/CdTe .....	8
Bild 3 – Beispiel für die Bildsubtraktion, angegeben in den Bildern 3a) bis 3e), mit Bildern, die unter idealen Dunkelkammerbedingungen, angegeben in Bild 3d), aufgenommen wurden. Kameraeinstellungen wurden in Bild 3e) für ideale Dunkelkammerbedingungen optimiert. ....	11
Bild 4 – Dichte der zusätzlichen Minoritätsträger $n_{p(x)}$ als Funktion des Abstandes x vom Schnittpunkt im p-n-Übergang einer Solarzelle (oben) und ein Banddiagramm (unten), welches die elektrolumineszente Rekombination darstellt . ....	16
Bild 5 – Schema für die Kennzeichnung von Positionen von Zellen in einem Modul, gesehen von der dem Licht zugewandten Seite entsprechend den Koordinaten $(i, j)$ im Hochformat (a) oder gedreht ins Querformat (b), was zu kennzeichnen ist. Wenn das Modul beweglich ist, muss die voreingestellte Lage mit dem Anschlusskasten (oder ohne Anschlusskasten, der positive Steckverbinder) auf der linken Seite oder oben (üblicherweise auf der Rückseite des Moduls) sein. ....	19
Bild A.1 – Strahlendiagramm zur Veranschaulichung der Vignettierung. An einem Pixel, $\delta_i$ , ankommendes Licht ist proportional der vierten Potenz des Kosinus des Winkels zur Achse $\alpha$ , $\cos^4 \alpha$ .....	21

Bild B.1 – EL-Bild einer Solarzelle (links) und eines Siliziummoduls (rechts). Das grüne Quadrat zeigt den Bereich von Interesse für die Berechnung an. Im unteren Teil jedes Bildes ist der berechnete <i>Tenengrad</i> ( $I$ ) über zugehörigen Bildern, die mit unterschiedlichen Schärfereinstellungen erzeugt wurden, dargestellt .....	23
Bild C.1 – Einzelner Zellenbereich eines Moduls mit Anwendung von $0,1 \cdot I_{SC}$ , welcher die gekennzeichneten Rissarten aufweist.....	24
Bild C.2 – Beispiel von Histogrammen der normalisierten EL-Intensität, berechnet aus den EL-Bildern von Modulen mit verschiedenen Graden der Zellenrissbildung und resultierender Leistungsver schlechterung, angezeigt durch $P_{max}$ . Der Bereich geringer Elektrolumineszenz ( <i>LEL</i> ), welcher sich unterhalb des Schwellenwerts der Intensität ( <i>TH</i> ) befindet, ist schraffiert dargestellt. Die Daten wurden mit einem Vorwärtsstrom $I_{SC}$ ermittelt.....	25
Bild C.3 – Beispiel für die Quantifizierung von Solarzellenrissen in Photovoltaikmodulen; (a) EL-Bild aufgenommen mit einem Vorwärtsstrom $0,1 \cdot I_{SC}$ und (b) Bild von als beschädigt betrachteten Bereichen. Risse der Rissart B sind gelb (Flächenanteil $D_{M\_B} = 9,04\%$ ) und Risse der Rissart C sind rot (Flächenanteil $D_{M\_C} = 1,85\%$ ) dargestellt.....	28
<b>Tabellen</b>	
Tabelle 1 – Detektoren und ihre nutzbaren Wellenlängen .....	7
Tabelle 2 – Kameraauflösungen und höchste Auflösung bei der Aufnahme eines Sichtfeldes von 1,6 m.....	9
Tabelle 3 – Beschreibung von Beobachtbarem, Merkmalen und bekannten Ursachen zusammen mit Elektrolumineszenzbildern für kristalline Silizium-PV-Module .....	29
Tabelle 4 – Beschreibung von Beobachtbarem, Merkmalen und bekannten Ursachen zusammen mit Elektrolumineszenzbildern für Dünnschicht-PV-Modulen .....	34