

## Lösungen zu Kapitel 9:

### Aufgabe 9.1: Strahlungssensoren

- a) Secondary Standard; Genauigkeit  $\pm 2 \%$
- b) 1) Pyranometer mit Schattenball  
2) Pyranometer mit Schattenring
- c) Nein, dafür ist ein Pyranometer zu träge. Stattdessen werden Solarzellen oder Photodioden eingesetzt.

### Aufgabe 9.2: Peakleistungsmessung vor Ort

Siehe Bild 9.8

### Aufgabe 9.3: Thermographie-Messtechnik

- a) Hell-Thermographie: Detektion minderwertiger Zellen, Verschaltungsfehler  
Dunkel-Thermographie: Kontrolle von Übergangswiderständen, Detektion von inaktiven Zellen oder Zellbereichen
- b) 
$$P = \sigma \cdot \varepsilon_{\text{Wahr}} \cdot T_{\text{Wahr}}^4 = \sigma \cdot \varepsilon_{\text{Gerät}} \cdot T_{\text{Gerät}}^4 \Rightarrow \varepsilon_{\text{Wahr}} \cdot T_{\text{Wahr}}^4 = \varepsilon_{\text{Gerät}} \cdot T_{\text{Gerät}}^4$$
$$\Rightarrow T_{\text{Wahr}} = T_{\text{Gerät}}^4 \cdot \sqrt[4]{\frac{\varepsilon_{\text{Gerät}}}{\varepsilon_{\text{Wahr}}}} = 314,74 \text{ K} \Rightarrow \vartheta_{\text{Wahr}} = \underline{41,6 \text{ °C}}$$

### Aufgabe 9.4: Elektrolumineszenz-Messtechnik

- a) Silizium strahlt knapp oberhalb seiner Bandlückenwellenlänge von 1.107 nm. Da CCD-Sensoren ebenfalls aus Silizium bestehen, liegt dieses Licht gerade an der Absorptionsgrenze und ist dementsprechend nur schwach zu detektieren. Hinzu kommt, dass in vielen CCD-Kameras ein Filter gegen IR-Strahlung verbaut wird.
- b) Mikrorisse, Siebdruckfehler, lokale Kurzschlüsse
- c) Vorteile:  
Höhere Auflösung, genauere Analyse des Defekts, Aufnahme unter schrägem Winkel gut möglich  
Nachteile:  
Nicht bei vollen Tageslicht nutzbar, Module müssen bestromt werden

### Aufgabe 9.5: PID-Effekt

- a) Lokale Kurzschlüsse (PID-Shunting) des pn-Übergangs durch Eindringen von Natriumionen in bis in die Zell-Basis
- b) Anlegen einer Spannung von -1000 V an die Modulanschlusskabel gegenüber dem Rahmen mitsamt der dem Glas aufliegenden Alufolie über 7 Tage. Messen der Modulleistung zu Beginn und am Ende dieses Zeitraums
- c) Hohe EL-Helligkeit auf der positiven Seite des Strings, die zum negativen Ende hin immer geringer wird (diese Polarität gilt für p-Typ-Zellen). Die betroffenen Module haben meist ein EL-Bild mit unterschiedlich hellen Zellen.

### Aufgabe 9.6 String-Dunkelkennlinien-Technik

- a) 1. Konstante Messbedingungen,  
2. Auch kleinste Unterschiede zwischen gleich aufgebauten Strings fallen sofort auf  
3. Fehler wie PID und defekte Bypassdioden können sehr schnell erkannt werden
- b) Worauf weist ein geringer Dunkelkennlinien-Füllfaktor hin?  
Dies ist ein typischer Fall für von PID betroffenen Modulen.
- c) Bei einer konstant geringeren Spannung sind voraussichtlich Zellstrings durch defekte (leitende) Bypassdioden überbrückt. Die Zahl der überbrückten Zellen liegt bei etwa:

$$\frac{\Delta U}{0,55 \text{ V/Zelle}} = \frac{33 \text{ V}}{0,55 \text{ V/Zelle}} \approx \underline{60 \text{ Zellen}}$$

Es sind also z.B. 3 Zellstrings überbrückt (im Fall von 60 Zellen pro Modul). Diese können sich auf mehrere Module verteilen. Ggf. ist in diesem Fall aber auch einfach ein Modul im betreffenden String aus Versehen nicht angeschlossen worden, so dass dieser String 1 ein Modul weniger als String 2 hat.