

Onderzoek zonnecellen

Louis Claeys, Ruben Van der Borcht

20 maart 2022

1 Inleiding

In dit onderzoek wordt het verband tussen de stroom I die opgewekt wordt door een zonnecel en de afstand r van de zonnecel tot een LED-bron bestudeerd. Vervolgens wordt er een verband gezocht tussen de stroom I en de geproduceerde spanning V van de zonnecel. Ook de 'open circuit voltage' V_{oc} , de 'short circuit current' I_{sc} , het maximale vermogen P_{max} en de idealiteitsfactor η worden berekend.

2 Materialen en Methoden

Het meettoestel voor de proeven staat afgebeeld op Figuur 1. Links staat een LED-licht dat met een constant vermogen op de zonnecel schijnt. De zonnecel bevindt zich achter een zwarte plaat met een gat in op een afstand r van de LED-bron. De grootte-orde van de oppervlakte van het gat is 1 cm^2 . Verder is $r = d + d_1 + d_2$ zoals op de figuur te zien is. De afstand d wordt gemeten en $d_1 + d_2 = 29\text{ mm}$ met een verwaarloosbare fout.

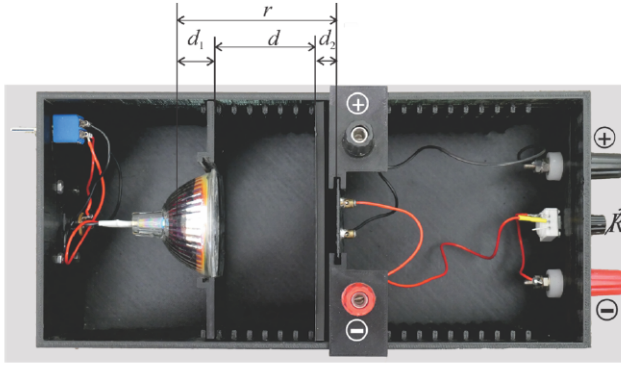
Voor de proeven werd een multimeter Vm , die fungeerde als voltmeter, parallel met de zonnecel aangesloten via de poorten naast de zonnecel. De multimeter Am , die dienst deed als ampèremeter, werd in serie met de zonnecel en een regelbare weerstand R aangesloten via de poorten naast R . Zo werd Figuur 1b verkregen.

De zonnecel en het zwarte plaatje werden in de houder op de gewenste afstand geschoven en de afstand d werd telkens gemeten. Vervolgens werd het LED-licht aangezet en werden I en V afgelezen. De systematische fout van Am op I en Vm op V was respectievelijk $\Delta_{sys} = 0.02\text{ mA}$ en $\Delta_{sys} = 2\text{ mV}$. Dit is voor beide groter dan de resolutie $\Delta = 0.01\text{ mA}$ resp. $\Delta = 0.01\text{ mV}$ omdat de waarde fluctueerde bij enkele metingen. Voor de fout op d werd $\Delta_{sys} = 3\text{ mm}$ genomen omdat het plaatje niet vast stond in de schappen van het meettoestel, maar nog licht kon bewegen.

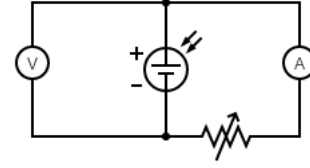
3 Resultaten

De metingen van de stroom bij variërende afstand zijn te zien in Tabel 1 en worden weergegeven in Figuur 2. Deze data werd gefit volgens het model

$$I(r) = \frac{I_a}{1 + \frac{r^2}{a^2}} \quad (1)$$



(a)



(b)

Figuur 1: De meetopstelling. [1] Figuur 1a toont het LED-licht aan de linkerkant. In het midden bevindt zich de zonnecel die zich achter het gat in de zwarte plaat bevindt. De zonnecel en de zwarte plaat worden op verschillende afstanden r van het LED-licht geplaatst en telkens worden I en V gemeten. De poorten worden parallel met de voltmeter V_m en in serie met een ampèremeter A_m en een regelbare weerstand R verbonden zoals op Figuur 1b te zien valt.

waarvan het resultaat eveneens zichtbaar is in Figuur 2. [1] Voor de fit werd de r -waarde als exact beschouwd en werd de fout op r in rekening genomen bij de fout op I . Er werd $\sigma = 0.05 \text{ mA}$ genomen. De gevonden fitwaarden zijn

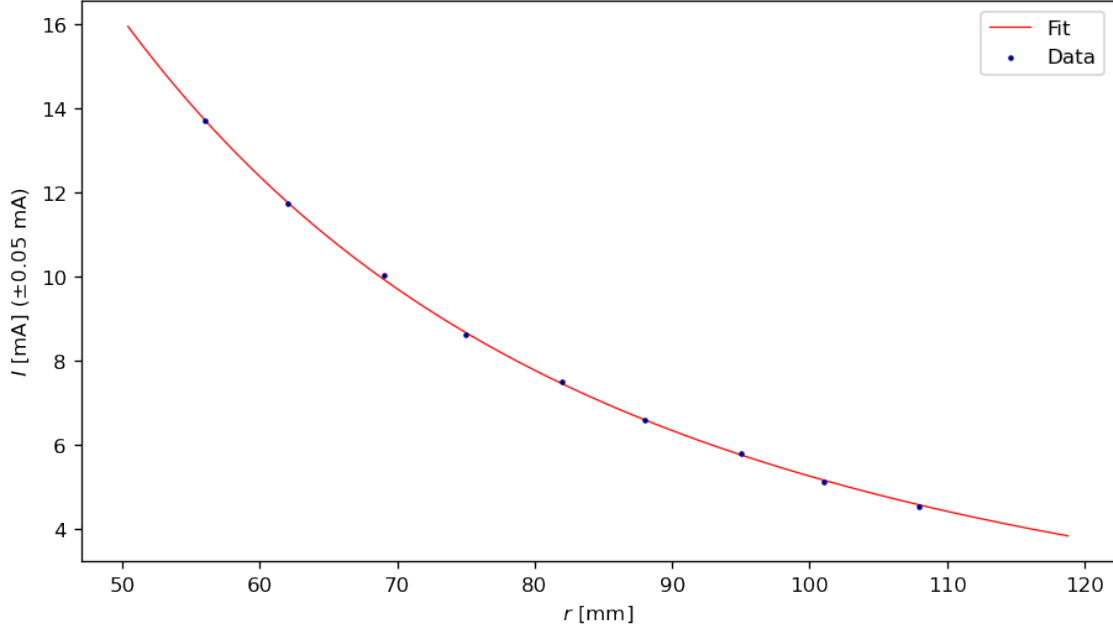
$$\begin{aligned} I_a &= 51.60 \pm 0.15 \text{ mA} \\ a &= 33.70 \pm 0.06 \text{ mm} \end{aligned} \quad (2)$$

en de kwaliteitswaarden van de fit zijn $\chi_{red}^2 = 1.054$ en $0 = 0.391$. Voor een gedetailleerde foutenanalyse verwijzen we naar de Bijlagen.

Vervolgens werd voor drie verschillende afstanden $r_2 < r_1 < r_3$ een IV -curve opgesteld door de regelbare weerstand R af te stellen. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 2. De fout bij lagere voltages en lagere stromen werd groter genomen omdat de multimeters hierbij bleven fluctueren.

Tabel 1: De stroom I bij verschillende afstanden d met systematische fout.

$d \text{ [mm]} \pm 1.5 \text{ mm}$	$I \text{ [mA]} \pm 0.01 \text{ mA}$
27,0	13.72
33,0	11.74
40,0	10.03
46,0	8.64
53,0	7.51
59,0	6.61
66,0	5.80
72,0	5.12
79,0	4.53



Figuur 2: De stroom I in functie van de afstand r van de bron tot de zonnecel, gefit volgens het model (1).

Deze data werd vervolgens gefit volgens het model

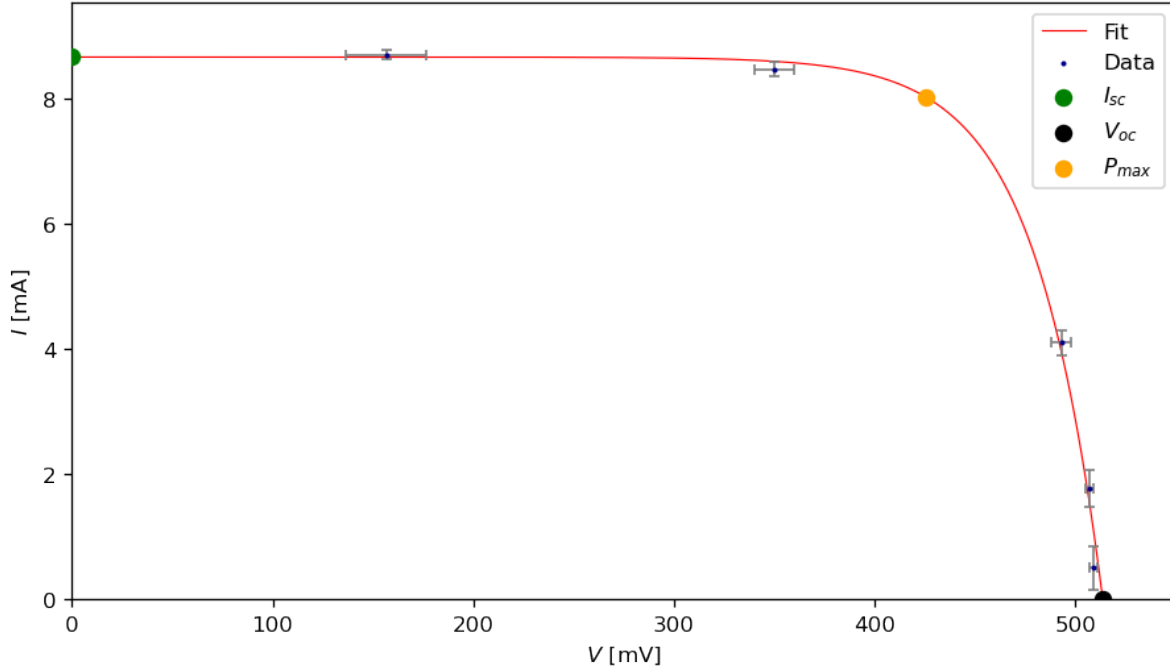
$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \frac{V}{V_0} - 1 \right]. \quad (3)$$

uit [1]. Hierbij zijn I en V resp. de stroom en spanning die door de zonnecel worden geproduceerd en zijn I_{ph} , I_0 , V_0 fitparameters. Verder is $V_0 = T\eta k_B/e$ met T de temperatuur, k_B de constante van Boltzmann, e de lading van een elektron en η de idealiteitsfactor.

Voor elke afstand wordt $V_0 = 33.8$ mV gevonden. De temperatuur T wordt geschat op 30°C . Dit is hoger dan kamertemperatuur want de lamp warmt de zonnecel op. Hieruit volgt dat het gewogen gemiddelde van de idealiteitsfactor voor de drie metingen $\eta = 1.29 \pm 0.04$ is met 1σ -fout.

Tabel 2: De stroom I en spanning V met systematische fout bij verschillende afstanden r_1 , r_2 en r_3 .

(a) r_1		(b) r_2		(c) r_3	
I [mA]	V [mV]	I [mA]	V [mV]	I [mA]	V [mV]
8.70 ± 0.07	160 ± 20	13.81 ± 0.05	110 ± 20	3.97 ± 0.03	50 ± 20
8.47 ± 0.12	350 ± 10	13.76 ± 0.07	300 ± 12	3.95 ± 0.03	197 ± 17
4.1 ± 0.2	493 ± 5	12.70 ± 0.08	437 ± 6	3.87 ± 0.05	306 ± 13
1.8 ± 0.3	507 ± 2	9.55 ± 0.15	480 ± 5	3.69 ± 0.05	368 ± 6
0.5 ± 0.4	509 ± 2	2.6 ± 0.2	515 ± 3	3.47 ± 0.06	399 ± 5
		0.5 ± 0.3	520 ± 2	2.08 ± 0.13	458 ± 2
				1.1 ± 0.2	474 ± 2



Figuur 3: IV-curve voor r_1 samen met de fit volgens (3). Tevens weergegeven zijn de openklemspanning V_{oc} , de kortsluitingsstroom I_{sc} en het punt op de curve waar het maximaal vermogen P_{max} bereikt wordt.

Met behulp van deze fits werden de openklemspanning V_{oc} en kortsluitingsstroom I_{sc} bepaald als de snijpunten van de fits met de respectievelijke assen. Daarnaast werd het maximaal vermogen P_{max} berekend als maximum van $I(V)V$, met $I(V)$ de gevonden fit. De resultaten van deze fits en bijhorende kwaliteitsparameters staan opgelijst in Tabel 3. Een grafisch overzicht voor elke afstand wordt gegeven in Figuur 3, Figuur 4 en Figuur 5. Een foutenanalyse van de gevonden fitwaarden is te vinden in de Bijlagen.

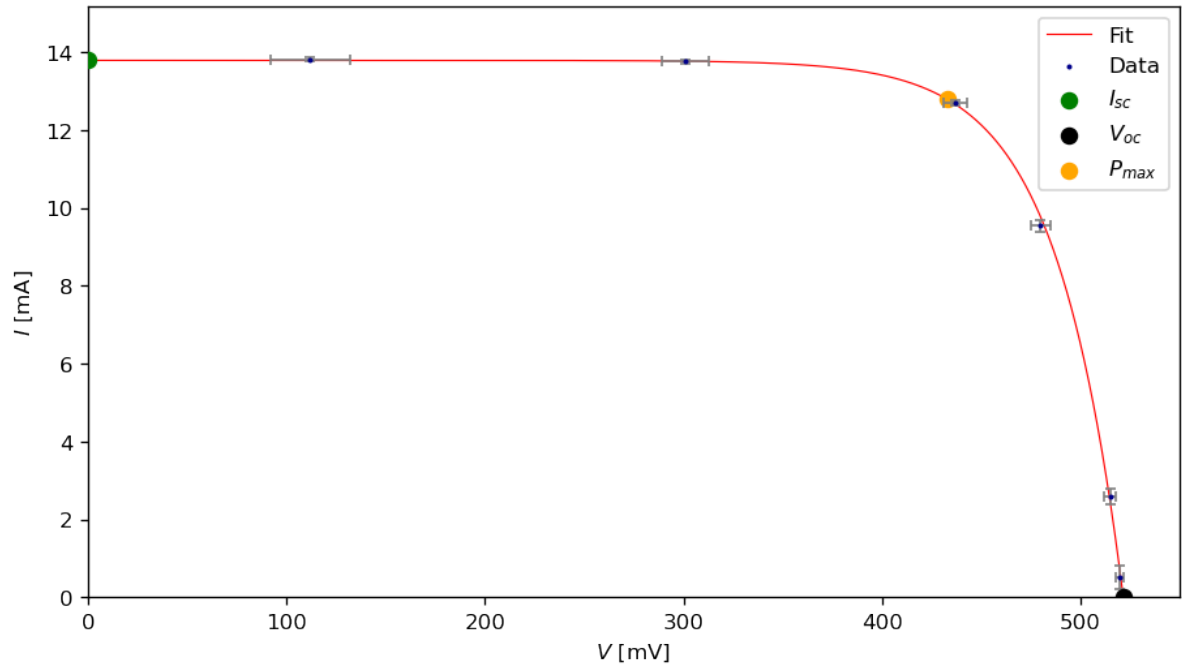
4 Discussie

Om te controleren of de fits aanvaardbaar zijn, wordt er een hypothesetest uitgevoerd op $\alpha = 5\%$. Voor de gevonden fitparameters (2) is $\chi^2_{red} = 1.054$ en $0 = 0.391$. De fit wordt dus aanvaard op het betrouwbaarheidsniveau. Omdat $\chi^2_{red} \approx 1$, is dit een goede fit. Er wordt besloten dat het model (1) geschikt is om I in functie van r te beschrijven.

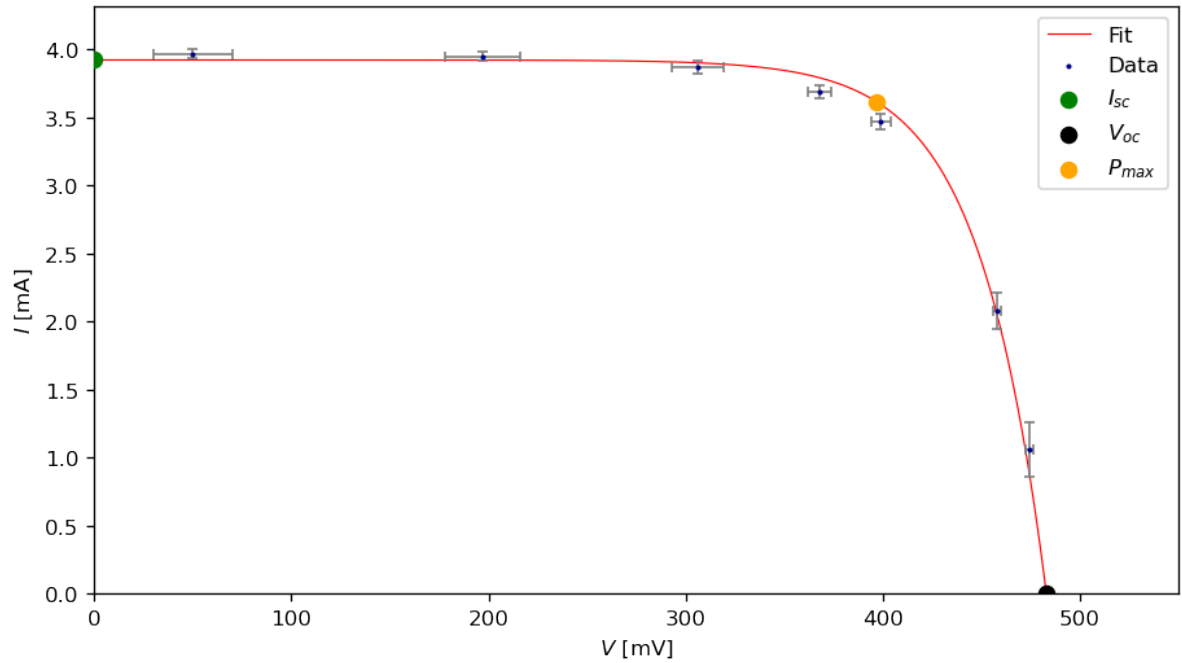
Uit Tabel 3 volgt dat de fits voor r_1 en r_2 aanvaard worden en dat die van r_3 verworpen wordt.

Tabel 3: De fitwaarden, de gereduceerde chikwadraatwaarde χ^2_{red} en de p -waarde p voor de IV-curves bij verschillende afstanden met 1σ -fout.

r	$I_0[\text{nA}]$	$V_0[\text{mV}]$	$I_{ph}[\text{mA}]$	$V_{oc}[\text{mV}]$	$I_{sc}[\text{mA}]$	$P_{max}[\text{mW}]$	χ^2_{red}	p
r_1	2.2 ± 0.1	33.8 ± 0.11	8.7 ± 0.11	510 ± 30	8.7 ± 0.5	3.4 ± 0.4	2.740	0.065
r_2	$2.74^{+0.06}_{-0.08}$	33.8 ± 0.05	13.8 ± 0.06	520 ± 20	13.8 ± 0.3	5.5 ± 0.2	1.024	0.384
r_3	2.5 ± 0.2	33.8 ± 0.2	3.92 ± 0.03	480 ± 30	3.9 ± 0.6	1.4 ± 0.3	3.220	0.0118



Figuur 4: IV-curve voor r_2 samen met de fit volgens (3). Tevens weergegeven zijn de openklemspanning V_{oc} , de kortsluitingsstroom I_{sc} en het punt op de curve waar het maximaal vermogen P_{max} bereikt wordt.



Figuur 5: IV-curve voor r_3 samen met de fit volgens (3). Tevens weergegeven zijn de openklemspanning V_{oc} , de kortsluitingsstroom I_{sc} en het punt op de curve waar het maximaal vermogen P_{max} bereikt wordt.

De gevonden waarden van V_{oc} komen overeen met de literatuurwaarden uit [2]. Voor V_0 vinden we ook een waarde van 33.8 mV voor elke afstand. De waarde $\eta = 1.29 \pm 0.04$ ligt tussen 1 en 2 zoals verwacht. [2]

De grootte-orde van het belichte deel van de zonnecel is 1 cm^2 . De verwachte waarde van I_{sc} uit de literatuur is dan 28 mA. [3] Dit is van dezelfde grootte-orde als de gevonden waarden van I_{sc} .

Er geldt dat $r_2 < r_1 < r_3$. Omdat de intensiteit daalt als $1/r^2$, is de intensiteit het laagst bij r_3 en het hoogst bij r_2 . Ook de waarden van I_{sc} en V_{oc} zijn het laagst (resp. het hoogst) bij r_3 (resp. r_2). De curves worden dus wijder volgens beide assen als de lichtintensiteit stijgt.

5 Conclusie

Er werd gevonden dat het verband tussen de stroom I en de afstand tussen tot de LED-bron gegeven wordt door

$$I(r) = \frac{I_a}{1 + \frac{r^2}{a^2}},$$

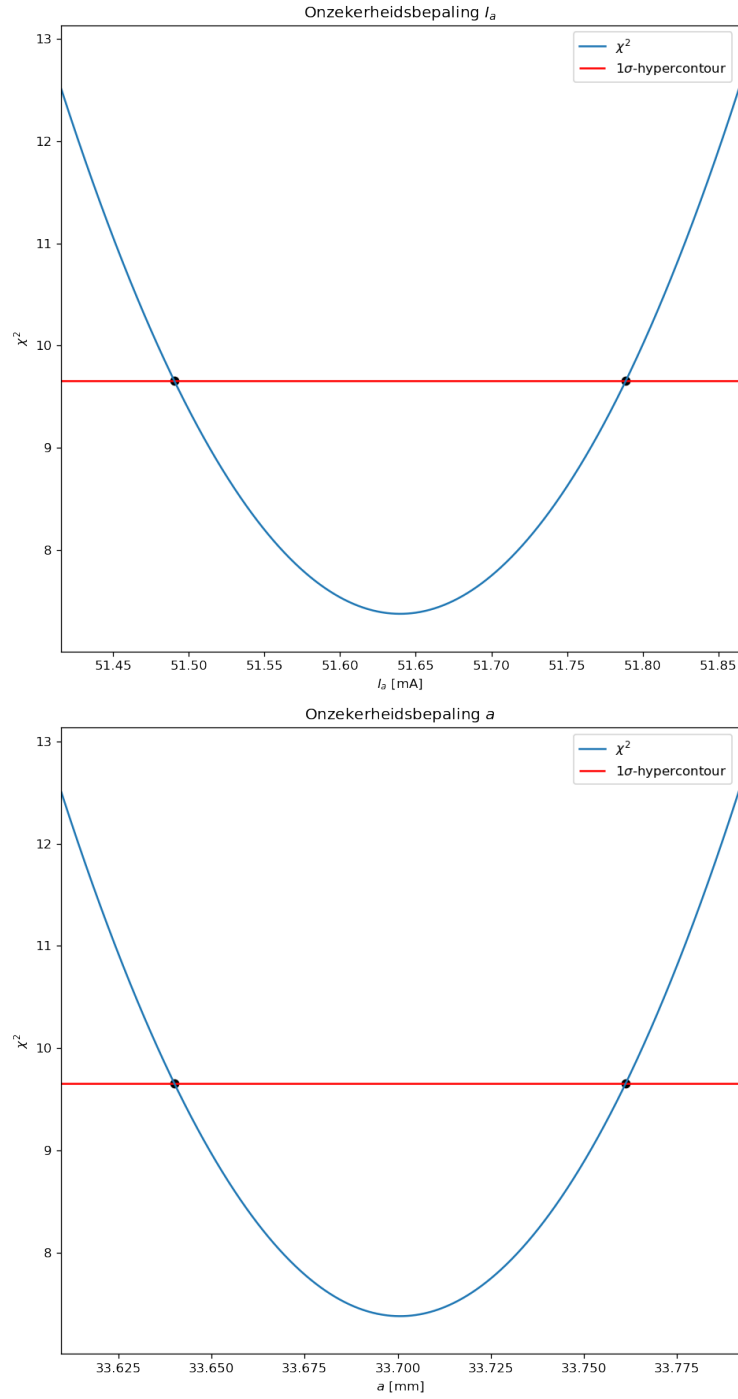
met $I_a = 51.60 \pm 0.15 \text{ mA}$ en $a = 33.70 \pm 0.06 \text{ mm}$ (1σ -fout). Verder werden de IV -curves met de paramaters uit Tabel 2 aanvaard voor r_2 en r_3 en verworpen voor r_1 op $\alpha = 5\%$. Ook de waarden van V_{oc} , I_{sc} en P_{max} kwamen overeen met de literatuurwaarden. De idealiteitsfactor van de zonnecel bedraagt $\eta = 1.29 \pm 0.04$ met 1σ -fout.

Referenties

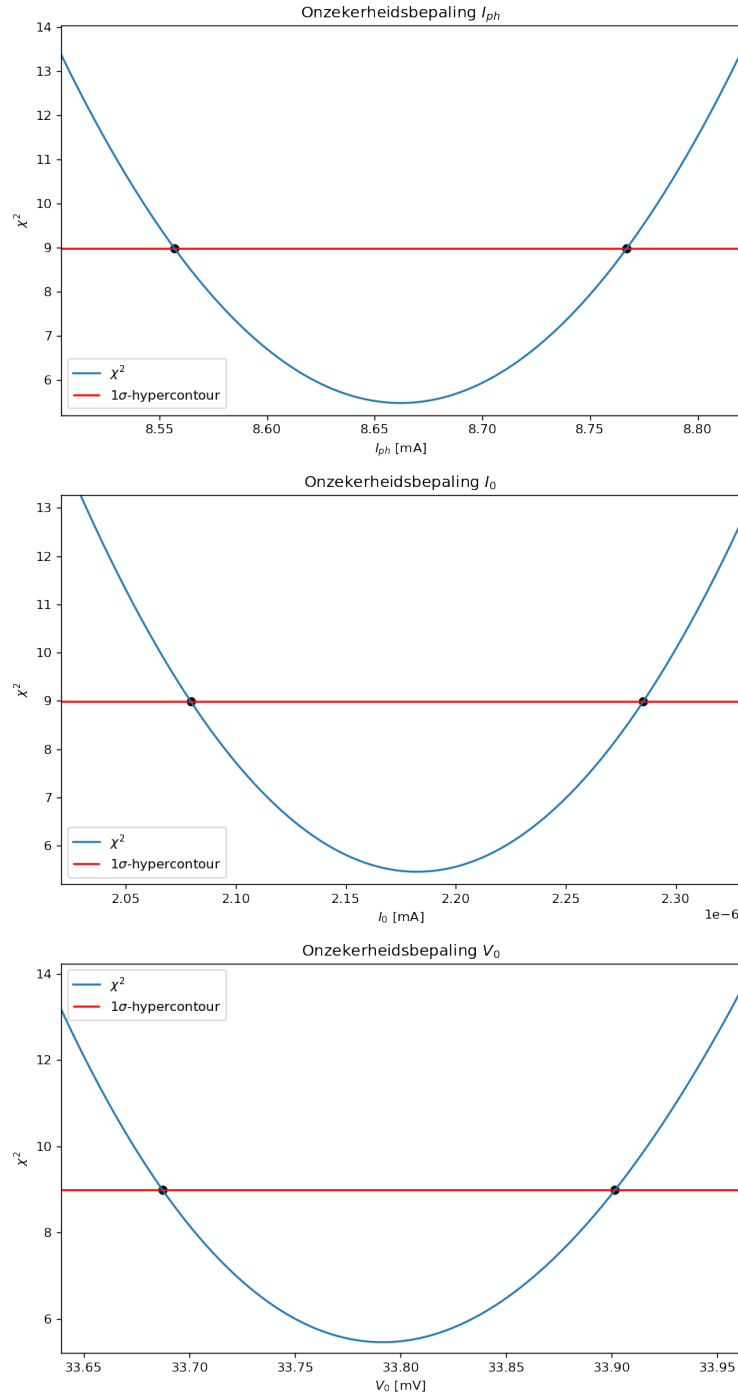
- [1] Zonnecellen. Experimentele basistechnieken in de natuurkunde G0P32A. KU Leuven; 2022.
- [2] Wikipedia. Solar Cell; 2022. Geraadpleegd op 20 maart 2022 via https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell#:~:text=The%20common%20single%20junction%20silicon,approximately%200.5%20to%200.6%20volts.
- [3] PVEducation. Shot Circuit Current; 2022. Geraadpleegd op 20 maart 2022 via <https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/short-circuit-current#:~:text=The%20short%2Dcircuit%20current%20is,showing%20the%20short%2Dcircuit%20current>.

Bijlagen

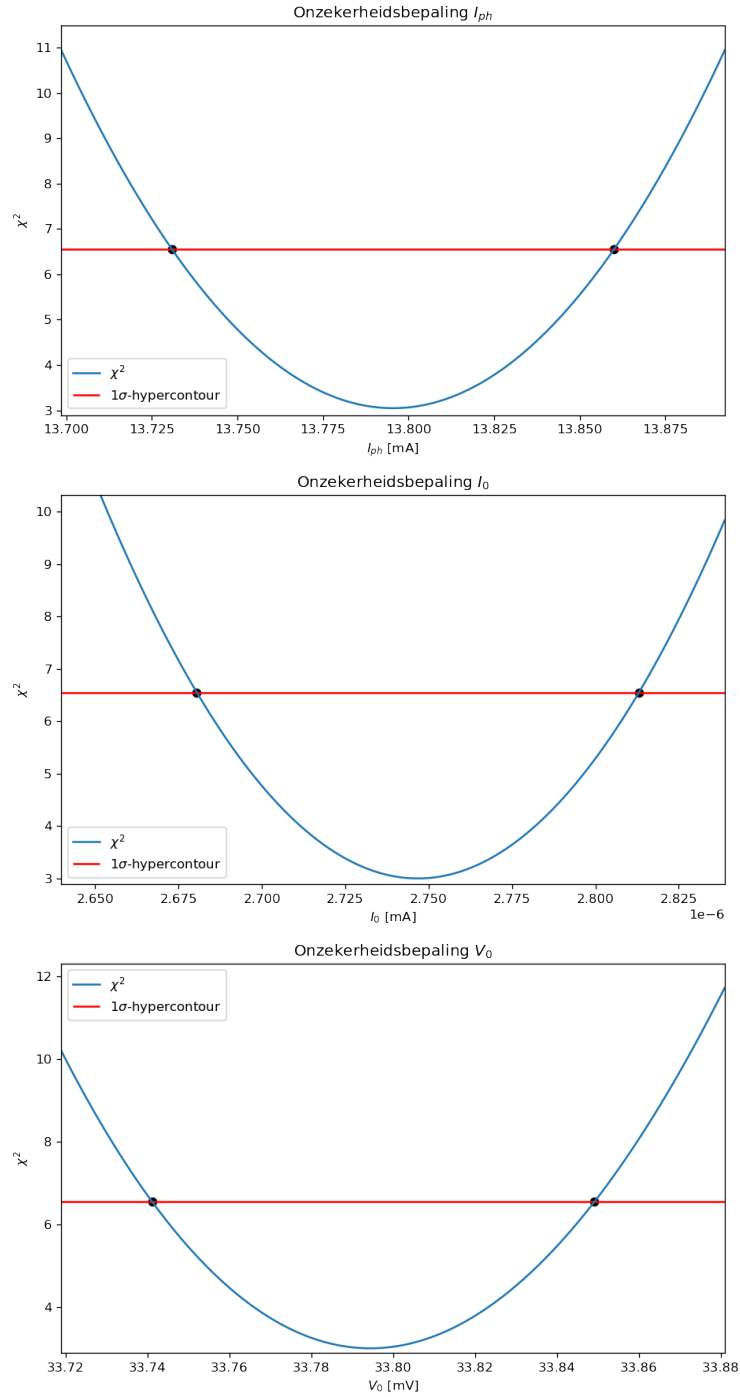
Onderstaande grafieken geven de 1σ -hypercontours weer waarmee de fouten op de fitparameters bepaald werden.



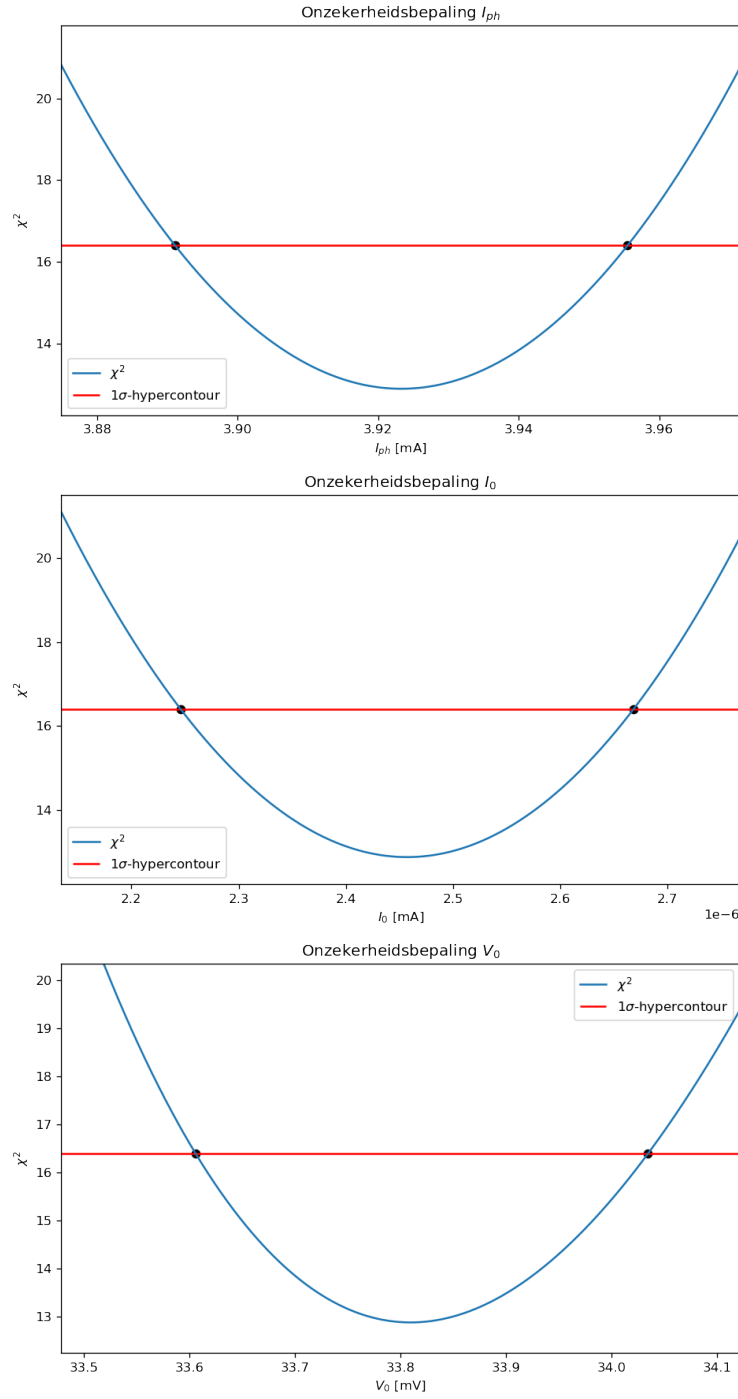
Figuur 6: Foutenanalyse van de fit van stroom i.f.v. afstand zoals weergegeven in Figuur 2.



Figuur 7: Foutenanalyse van de fit van stroom i.f.v. spanning zoals weergegeven in Figuur 3.



Figuur 8: Foutenanalyse van de fit van stroom i.f.v. spanning zoals weergegeven in Figuur 4.



Figuur 9: Foutenanalyse van de fit van stroom i.f.v. spanning zoals weergegeven in Figuur 5.