

**Universiteit Gent**  
**Faculteit Toegepaste Wetenschappen**



Vakgroep  
Elektronica en Informatiesystemen  
Voorzitter: Prof. Dr. Ir. J. Van Campenhout

Onderzoeksgroep Fysische Elektronica: Zonnecellen

# **Fotovoltaïsche centrale te Proefhoeve, Melle**

door Minnaert Ben

Promotor: Prof. Dr. Ir. lic. Alexis De Vos

Scriptie ingediend tot het behalen van de academische graad van  
burgerlijk natuurkundig ingenieur

Academiejaar 2002-2003

# Fotovoltaïsche centrale te Proefhoeve, Melle

door Minnaert Ben

Scriptie ingediend tot het behalen van de academische graad van  
burgerlijk natuurkundig ingenieur

Academiejaar 2002-2003

Promotor: Prof. Dr. Ir. lic. Alexis De Vos

Faculteit Toegepaste Wetenschappen  
Universiteit Gent

Vakgroep Elektronica en Informatiesystemen

Voorzitter: Prof. Dr. Ir. J. Van Campenhout

Onderzoeksgroep Fysische Elektronica: Zonnecellen

## Samenvatting

Op de Proefhoeve te Melle werd, in het kader van het nationaal project “Fotovoltaïsche zonnecelsystemen voor onderwijsinstellingen”, een fotovoltaïsche zonnecentrale geïnstalleerd. In de inleiding wordt dit project toegelicht. In hoofdstuk 2 wordt onderzocht hoeveel uren zonneshijne de fotovoltaïsche panelen ontvangen, en onder welke hoek de stralen op het paneel invallen. Hoofdstuk 3 beschrijft de opbouw van de installatie op de proefhoeve, alsook de software en de problemen die optraden bij de datacollectie. De eigenlijke verwerking van de meetgegevens van de periode 7 maart 2002 - 6 maart 2003 wordt besproken worden in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 wordt, door middel van simulaties met een klimaatprogramma, de optimale configuratie en de AC-jaarproductie berekend. Hoofdstuk 6 geeft de resultaten van de tweede onderzoekopdracht, nl. in hoeverre de zonnecentrale een deel van de lokale consumptie van twee melkkoeltanken in de koestal voor zijn rekening kan nemen. Het programma dat in het kader van deze scriptie gecreëerd werd om de meetgegevens grafisch voor te stellen aan bezoekers van de proefhoeve, wordt uitgebreid besproken in hoofdstuk 7. Een vergelijking van de fotovoltaïsche zonnecentrale op de proefhoeve met andere zonnecentrales wordt gegeven in hoofdstuk 8. Conclusies tenslotte zijn terug te vinden in hoofdstuk 9.

Trefwoorden: fotovoltaïsche zonne-energie, zonnecentrale, Proefhoeve

## ***Dankwoord***

In de allereerste plaats gaat mijn dank uit naar mijn promotor, Prof. Dr. Ir. A. De Vos, die mij de kans gaf deze scriptie te maken. Prof. De Vos beperkte zich echter niet tot het passief over mijn schouder meekijken, maar speelde een actieve rol in het totstandkomen van deze scriptie. Ik wens hem daarvoor dan ook oprecht te bedanken.

Ik dank Prof. Dr. Ir. M. Burgelman en Ir. P. Nollet die altijd bereid waren om mij in raad en daad bij te staan.

Verder gaat mijn dank ook uit naar Prof. Dr. Ir. J. Christiaens, directeur van de Proefhoeve, voor de geslaagde samenwerking.

## ***Toelating tot bruikleen***

De auteur geeft toelating deze scriptie voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van de scriptie te kopiëren voor persoonlijk gebruik.

Elk ander gebruik valt onder de beperkingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit deze scriptie.

12 mei 2003

Ben Minnaert

# **Inhoudstafel**

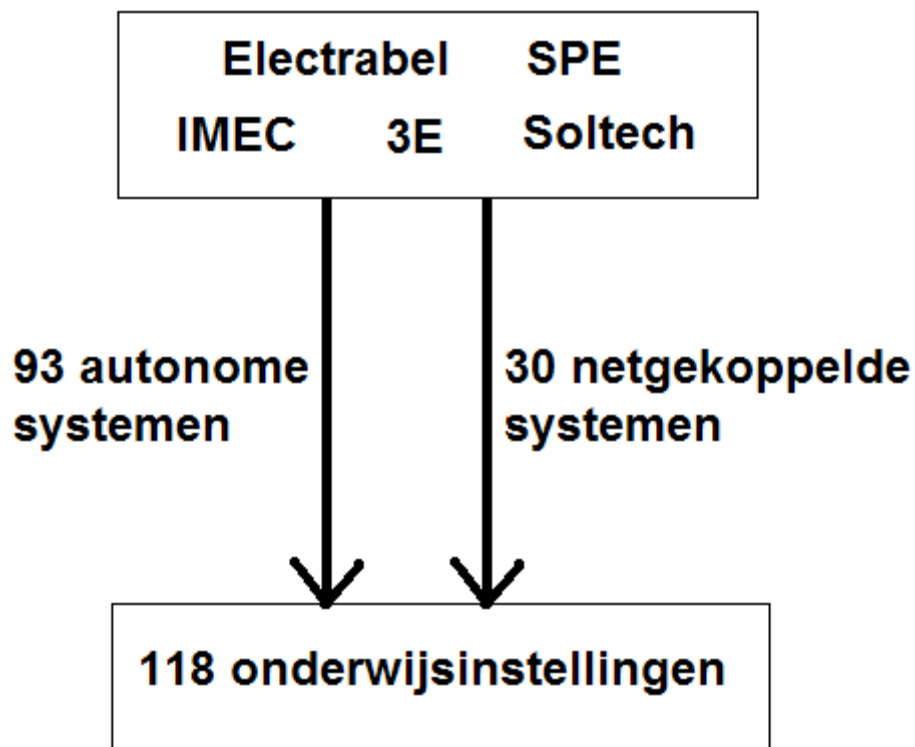
<b><i>Hdst. 1: Inleiding</i></b>	<b>1</b>
1.1 Fotovoltaïsche zonnecelsystemen voor onderwijsinstellingen	1
1.2 Fotovoltaïsche centrale te Proefhoeve, Melle	2
1.3 Voorgeschiedenis van de metingen van de zonnecentrale te Proefhoeve, Melle	4
1.4 Overzicht	4
<b><i>Hdst. 2: Zonnestraling op de zonnepanelen te Proefhoeve, Melle</i></b>	<b>5</b>
2.1 Ligging en opstelling van de fotovoltaïsche zonnecellen te Proefhoeve, Melle	5
2.2 Rechtstreekse zonne-instraling op de panelen	5
2.3 De invalshoek op de zonnepanelen	8
2.4 Het invallend vermogen op de zonnepanelen	11
<b><i>Hdst. 3: Het fotovoltaïsch demonstratieproject te Proefhoeve, Melle</i></b>	<b>12</b>
3.1 Opbouw van het fotovoltaïsch systeem	12
3.2 De software	17
3.3 Problemen op de Proefhoeve, Melle	20
3.4 Nationale datacollectie	24
<b><i>Hdst. 4: Verwerking van de meetresultaten van de fotovoltaïsche zonnecentrale</i></b>	<b>26</b>
4.1 Beschikbare data	26
4.2 De interne dataloggertijd	28
4.3 Het invallende vermogen $G_i$ van de zonnestraling	30
4.4 De gelijkstroom $I_{DC}$ en de gelijkspanning $V_{DC}$	35
4.5 Het uitgaand wisselstroomvermogen $P_{ac}$	38
4.6 De AC-energieproductie	43
4.7 Rendementen	46

4.8 De performantie-indices	56
4.9 Problemen met de metingen	61
<b><i>Hdst. 5: Simulaties met het klimaatprogramma, optimale oriëntatie en AC-jaarproductie</i></b>	<b>64</b>
5.1 Inleiding	64
5.2 Het klimaatprogramma	65
5.3 Parameters	66
5.4 Optimale oriëntatie	68
5.5 Correctie	70
<b><i>Hdst. 6: De energieconsumptie van de koeltanken</i></b>	<b>73</b>
6.1 Situering	73
6.2 De resultaten	74
<b><i>Hdst. 7: Het programma “Zonnecentrale”</i></b>	<b>77</b>
7.1 Doel	77
7.2 Mogelijkheden van het programma “Zonnecentrale”	77
7.3 Input van de meetgegevens in het programma “Zonnecentrale”	85
7.4 De website	87
<b><i>Hdst. 8: Vergelijking van de meetresultaten met andere zonnecentrales</i></b>	<b>88</b>
8.1 Vergelijking met andere netgekoppelde systemen	88
8.2 Vergelijking met de zonnecentrale van de Hogeschool West-Vlaanderen	95
<b><i>Hdst. 9: Conclusies</i></b>	<b>101</b>
<b><i>Bijlage A: Broncode “Zonnecentrale”</i></b>	<b>102</b>
<b><i>Referenties</i></b>	<b>120</b>

## Hdst. 1: Inleiding

### **1.1 Fotovoltaïsche zonnecelssystemen voor onderwijsinstellingen**

In 1996 werd door de elektriciteitsproducenten Electrabel en SPE een project opgestart om het gebruik van fotovoltaïsche zonne-energie in onderwijsinstellingen te steunen. Overige partners in het project zijn IMEC (Interuniversitair Micro-Elektronica Centrum), Soltech (fabrikant van fotovoltaïsche modules en systeeminstallateur) en 3E (ingenieursbureau gespecialiseerd in hernieuwbare energie). [2]



*Figuur 1.1: Het project “Fotovoltaïsche zonnecelssystemen voor onderwijsinstellingen”*

In het kader van dit project werden 118 onderwijsinstellingen, verspreid over heel België, voorzien van een fotovoltaïsch systeem. De meerderheid van de systemen bestaan uit autonome systemen, maar er werden 30 systemen aan het elektriciteitsnet gekoppeld. Via dit project werd in totaal 63 kWp piekvermogen geïnstalleerd waarvan 35,5 kWp netgekoppeld (het piekvermogen of het geïnstalleerd vermogen is het nominaal vermogen

dat een fofovoltaïsche cel, module of moduleveld levert onder internationaal gespecifieerde testcondities: 1000 W/m<sup>2</sup> instalend zonlicht (spectrum van A.M.1.5) en een celtemperatuur van 25 °C).

Het project richt zich zowel tot algemeen secundaire en technische scholen als tot hogescholen en universiteiten. Aan hen werd de kans geboden een onafhankelijk of netgekoppeld fofovoltaïsch systeem aan te schaffen met ruime financiële steun (tot 90%) van de elektriciteitsproducenten. Ook het Vlaams Gewest -Administratie Natuurlijke Rijkdommen en Energie- droeg financieel zijn steentje bij.

Het doel van het project is enerzijds de studenten kennis te laten maken met de technologie door handboeken en laboratoriumopstellingen ter beschikking te stellen. Anderzijds wil het project ook een zinvolle demonstratie brengen door verspreid over het hele land netgekoppelde systemen te plaatsen die door de instituten opgevolgd worden. De resultaten van deze opvolging zijn een waardevolle bron van informatie over de werking van verspreide fofovoltaïsche systemen.

Er werd een specifiek systeem ontwikkeld om tegen een lage kostprijs de netgekoppelde installaties op te volgen. Zoninstraling, gelijkspanning, gelijkstroom en wisselstroom-energie worden ogenblikkelijk opgemeten en opgeslagen in het geheugen van een datalogger die door een verantwoordelijke van de onderwijsinstelling op regelmatige tijdstippen wordt uitgelezen met behulp van een PC. In ruil voor de toegestane subsidie worden de onderwijsinstellingen gevraagd deze informatie gedurende minimum 3 jaar nauwgezet bij te houden en door te sturen naar de projectverantwoordelijke.

## **1.2. Fofovoltaïsche centrale te Proefhoeve, Melle**

De proefhoeve van de Universiteit Gent, uitgebaat door de centrale dienst *Biocentrum Agrivet*, bevindt zich te Proefhoevestraat 18, 9090 Melle. Directeur is prof. J. Christiaens (faculteit landbouwkundige en toegepaste biologische wetenschappen, vakgroep landbouw-techniek).

Op 23 oktober 2001 werd op de proefhoeve een nieuwe melkveestal (met melkrobot) voor 55 koeien ingehuldigd. De stal (50 m x 23 m) is NW-ZO georiënteerd teneinde de ZW-winden te benutten voor een natuurlijke windventilatie voor de koeien. Het zadeldak bestaat uit vezelversterkte golfplaten en de helling bedraagt (slechts) 17°.

In het kader van het project “Fotovoltaïsche zonnecelsystemen voor onderwijsinstellingen” werden twee zonnepanelen op de koestal geïnstalleerd: één naar het ZW en één naar het NO gericht. De hoogste opbrengt zal uiteraard door het ZW-gerichte paneel geproduceerd worden vermits dit paneel meer naar het zuiden gericht is. Er werd echter ook een paneel naar het NO gericht zodat de invloed van de paneeloriëntatie op de elektriciteitsproductie kan onderzocht worden. Het NO-gericht paneel kent ook een grotere zichtbaarheid, bvb. vanaf de autosnelweg E40 Gent-Brussel. Het fotovoltaïsch systeem is aan het elektriciteitsnet gekoppeld. In ruil voor de toegestane subsidie is de Universiteit Gent verplicht de data bij te houden en door te sturen naar de projectverantwoordelijke. Verder verbond de universiteit zich eraan twee onderzoeksoopdrachten uit te voeren.

Het eerste onderzoek bestudeert de invloed van de paneeloriëntatie op de fotovoltaïsche elektriciteitsproductie en toetst het verschil aan de theoretische klimaatmodellen.

Het tweede onderzoek bestudeert of de zonnecentrale een deel van de lokale consumptie van twee melkkoeltanken in de koestal voor zijn rekening kan nemen. Er werd voor koeltanken gekozen omdat de elektriciteitsconsumptie van deze tanken uiteraard hoog ligt wanneer de omgevingstemperatuur hoog is (dus in de zomer en 's namiddags). Dit betekent dat het verbruik ‘in fase’ zal zijn met de elektriciteitsproductie van de fotovoltaïsche panelen.

Het is in het kader van deze contractueel verplichte onderzoeken dat deze scriptie zich situeert.

Deze studie betekent een bijdrage tot een langetermijnvisie voor de proefhoeve: demonstratie van duurzame landbouw (*sustainable farming*). Naast zonnepanelen zijn ook andere projecten op de proefhoeve gerealiseerd (zoals waterzuivering door een rietveld) die een bijdrage leveren tot duurzame landbouw. Ook zullen er op korte termijn op de proefhoeve drie windturbines opgericht worden die ongeveer 20% van het elektriciteitsverbruik van de Universiteit Gent zouden leveren. [7]



### **1.3 Voorgeschiedenis van de metingen van de zonnecentrale te Proefhoeve, Melle**

De metingen van de fotonvoltaïsche zonnecentrale werden gestart op 6 maart 2002. De meetgegevens van 7 maart 2002 tot en met 7 mei 2002 werden verwerkt door Socratesstudent Maciej Rzewuski. [6] Twee maanden meetgegevens werden dus reeds verwerkt. Deze scriptie zal o.a. de gegevens van 1 volledig jaar data-acquisitie van de zonnecentrale op de proefhoeve verwerken (van 7 maart 2002 tot en met 6 maart 2003), dus inclusief de meetgegevens die reeds door Rzewuski verwerkt werden.

### **1.4. Overzicht**

In hoofdstuk 2 zullen we onderzoeken hoeveel uren zonneshij de fotonvoltaïsche panelen ontvangen, en onder welke hoek de stralen op het paneel invallen.

Hoofdstuk 3 zal de opbouw van de installatie op de proefhoeve beschrijven, alsook de software en de problemen die optraden bij de datacollectie.

De eigenlijke verwerking van de meetgegevens van de periode 7 maart 2002 - 6 maart 2003 zal beschreven worden in hoofdstuk 4.

In hoofdstuk 5 zullen we, door middel van simulaties met een klimaatprogramma, de optimale configuratie berekenen en trachten de verloren meetgegevens van het NO-paneel (zie §3.3) voor een deel te vervangen om zo betere uitspraken te kunnen doen over het gehele jaar dat er gemeten werd.

In hoofdstuk 6 zullen we de resultaten van de tweede onderzoeksopdracht bespreken, nl. in hoeverre de zonnecentrale een deel van de lokale consumptie van twee melkkoeltanken in de koestal voor zijn rekening kan nemen.

Hoofdstuk 7 zal een bespreking geven van het programma dat in het kader van deze scriptie gecreëerd werd om de meetgegevens grafisch voor te stellen aan bezoekers van de proefhoeve.

Een vergelijking van de fotonvoltaïsche zonnecentrale op de proefhoeve met andere zonnecentrales zal gegeven worden in hoofdstuk 8.

Conclusies zullen tenslotte beschreven worden in hoofdstuk 9.

## **Hdst. 2: Zonnestraling op de zonnepanelen te Proefhoeve, Melle**

### ***2.1 Ligging en opstelling van de fotovoltaïsche zonnecellen te Proefhoeve, Melle***

Zoals reeds eerder vermeld, werd er op beide zijden van het dak van de koestal twee identieke zonnemodules geïnstalleerd. De ZW-module heeft een azimut van  $42^\circ$ , de NO-module een azimut van  $222^\circ$  (azimut  $0^\circ$  correspondeert met het zuiden, gemeten volgens  $Z \rightarrow W \rightarrow N \rightarrow O$ ). Beide modules staan ongeveer 17 m boven de grond, die zich 24 m boven de zeespiegel bevindt. Melle bevindt zich op een geografische breedte  $\varphi$  van  $50^\circ 54'$ . De helling van het dak, en dus van de modules bedraagt slechts  $17^\circ$ . Door de grote hoogte waarop de zonnemodules staan, ondervinden ze geen last van schaduwen.

We zullen nu onderzoeken hoelang de twee zonnemodules rechtstreekse zonnestraling ontvangen (op een wolkenloze dag) op de solstitia (21 juni en 22 december) en de equinoxen (21 maart en 23 september). Daarna zullen we de invalshoek van de zonnestraling op de zonnepanelen voor die data berekenen.

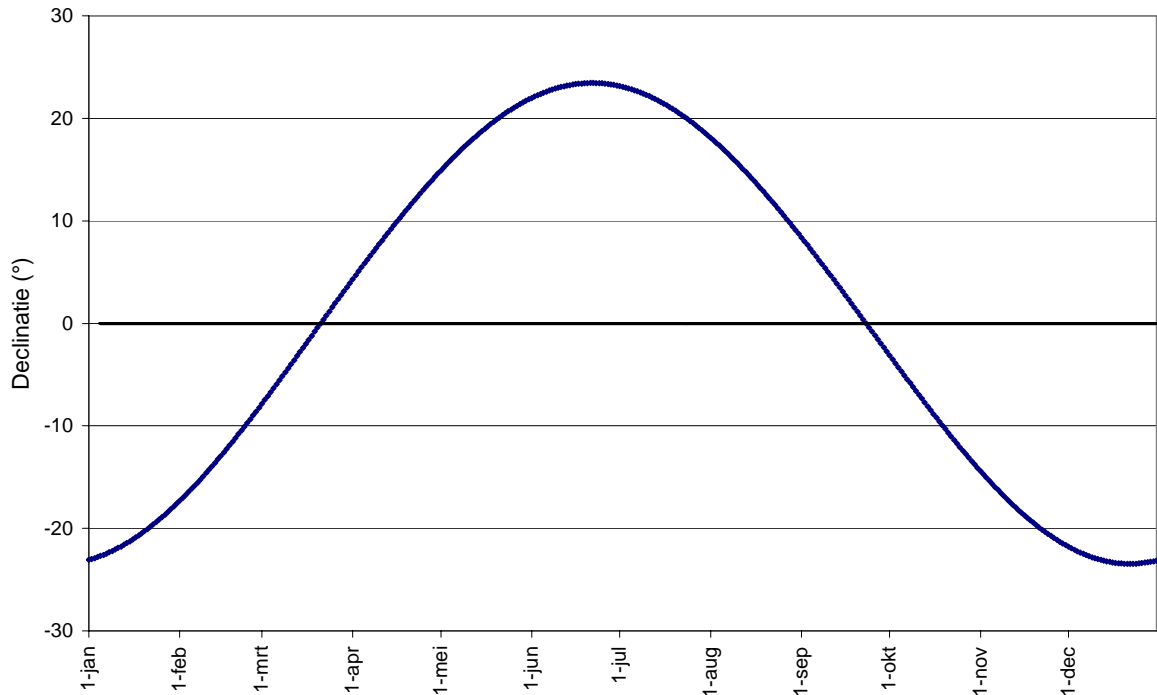
### ***2.2 Rechtstreekse zonne-instraling op de panelen***

We maken gebruik van de standaard formules uit de sferische astronomie om de positie van de zon relatief ten opzichte van het paneel te beschrijven.

Met  $\omega = 2\pi/365$  wordt de declinatie van de zon (in graden) wordt gegeven door: [1]

$$\begin{aligned} \delta = & 0,33281 - 22,984 \cos \omega t - 0,34990 \cos 2\omega t - 0,13980 \cos 3\omega t \\ & + 0,7872 \sin \omega t + 0,03025 \sin 2\omega t + 0,07187 \cos 3\omega t \end{aligned} \quad (\text{II.1})$$

Hierbij is  $t$  de dag van het jaar ( $t$  is een geheel getal;  $t=1$  op 1 januari). Uitzetten van de declinatie  $\delta$  in functie van de dag van het jaar  $t$ , levert *figuur 2.1* op.



Figuur 2.1: De declinatie van de zon in graden in functie van de dag van het jaar.

Op deze figuur is duidelijk te zien dat voor de equinoxen de declinatie uiteraard  $0^\circ$  is. Voor de solstitia is de declinatie de helling  $\varepsilon$  van de ecliptica, nl.  $23^\circ 27'$  voor 21 juni, en  $-23^\circ 27'$  voor 22 december.

In onderstaande formules verwijst het subscript p naar het paneel, het subscript  $\odot$  naar de zon. De oriëntatie van het paneel wordt bepaald door zijn zenitafstand  $z_p$  ( $z_p = 0^\circ$  voor een horizontaal paneel) en door zijn azimut  $A_p$  ( $A_p = 0^\circ$  correspondeert met het noorden, gemeten volgens  $N \rightarrow W \rightarrow Z \rightarrow O$ ).

Wanneer  $\tau$  de zonnetijd voorstelt ( $\tau = 0$  op de middag), dan wordt de positie van de zon ( $z_\odot, A_\odot$ ) berekend via: [1]

$$\cos z_\odot = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \tau \quad (\text{II.2})$$

$$\sin z_\odot \cos A_\odot = -\cos \varphi \sin \delta + \sin \varphi \cos \delta \cos \tau \quad (\text{II.3})$$

$$\sin z_\odot \sin A_\odot = \cos \delta \sin \tau \quad (\text{II.4})$$

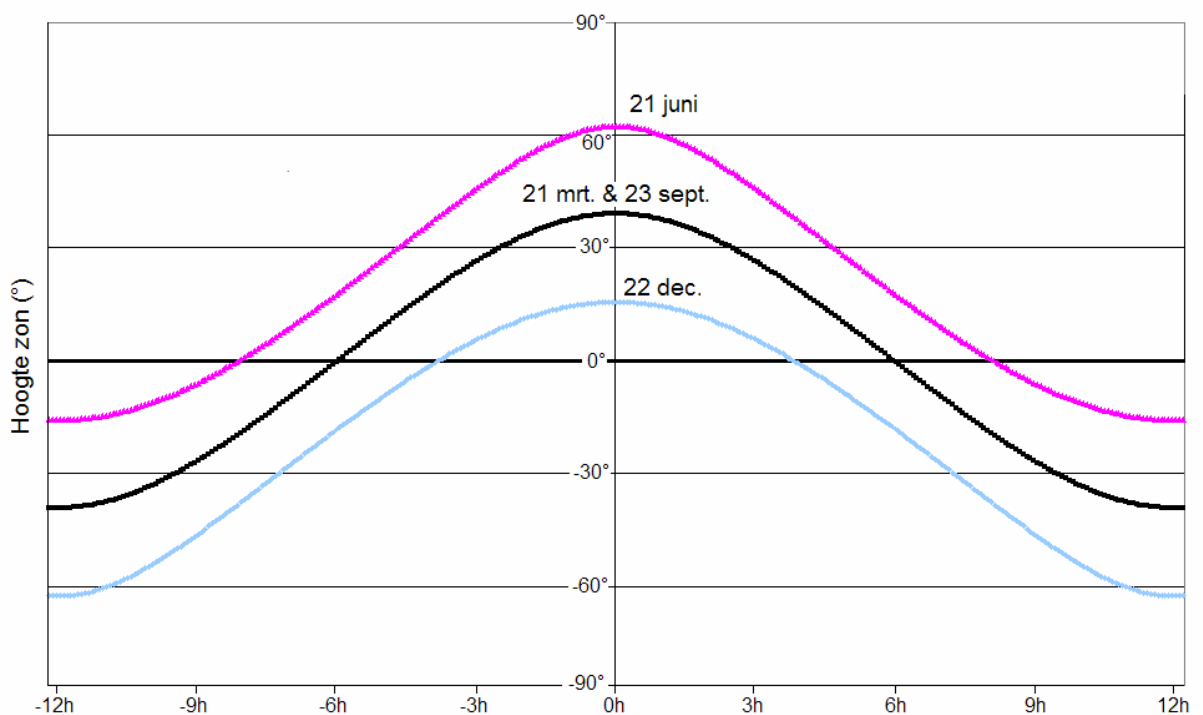
Kwadrateren van (II.3) en (II.4) en optellen levert  $z_\odot$  in functie van de zonnetijd  $\tau$ . Hieruit halen we de hoogte van de zon ( $= 90^\circ - z_\odot$ ) in functie van de tijd voor de solstitia en de equinoxen (zie *figuur 2.2*). Op de figuur is duidelijk te zien dat de zon 's middags op 21

juni haar maximale hoogte bereikt, nl.  $62^{\circ}33'$  (d.i.  $90^{\circ}-\varphi+\varepsilon$ ). Op 22 december bedraagt de maximale hoogte van de zon slechts  $15^{\circ}65'$ .

Datum	Lengte dag	Fractie dag per etmaal
21 juli	16h 32 min.	68,9%
21 maart & 23 september	12h 00 min.	50,0%
22 december	7h 56 min.	33,1%

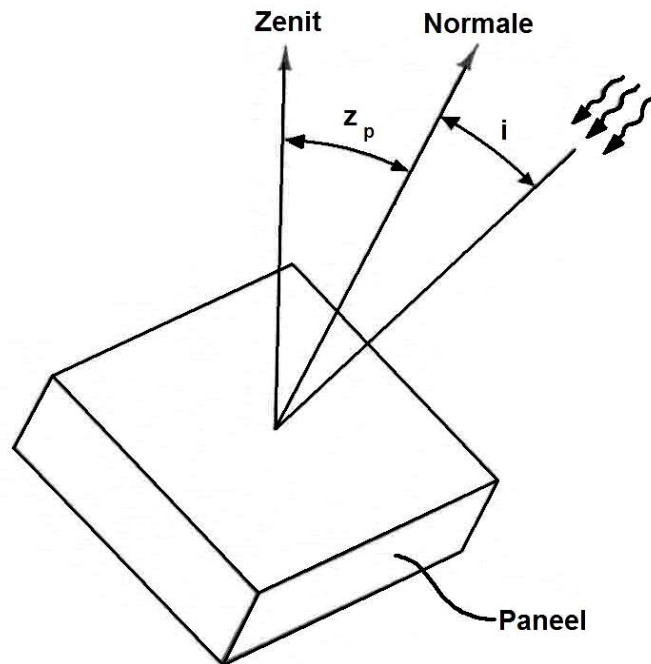
*Tabel 2.1: Tijd dat de zon zich boven de horizon bevindt te Proefhoeve, Melle, op de solstitia en de equinoxen.*

Op de figuur is ook te zien wanneer zonsopgang en zonsondergang plaatsvinden. Op de equinoxen (21 maart en 23 september) duurt de dag even lang als de nacht. Op 21 juni bevindt de zon zich 16 uur en 32 minuten boven de horizon. Op 22 december zal er maar gedurende 7 uur en 56 minuten zonlicht zijn.



*Figuur 2.2: De hoogte van de zon in graden in functie van de (zonne)tijd voor de solstitia en de equinoxen. Hierbij is 0h het tijdstip waarop de zon het hoogst staat.*

Dit betekent echter niet (zie volgende paragraaf) dat beide zonnepanelen de ganse tijd dat de zon boven de horizon is, rechtstreekse zonnestraling ontvangen (de diffusiestraling zullen de zonnepanelen uiteraard blijven ontvangen zolang de zon zich boven de horizon bevindt).



*Figuur 2.3: De zenitafstand  $z_p$  van het paneel en de invalshoek  $i$  van de invallende zonnestraling op het paneel. [3]*

### **2.3 De invalshoek op de zonnepanelen**

De invalshoek van het zonlicht,  $i$ , wordt gemeten ten opzichte van de normale op het zonnepaneel (zie *figuur 2.3*). De invalshoek kan berekend worden via: [3]

$$\cos i = \cos z_{\odot} \cos z_p + \sin z_{\odot} \sin z_p \cos (A_{\odot} - A_p) \quad (\text{II.5})$$

Gecombineerd met (II.2) tot (II.4) levert dit de invalshoek  $i$  in functie van de zonnetijd  $\tau$ :

$$\begin{aligned} \cos i = & (\cos \varphi \cos \delta \cos z_p + \sin \varphi \cos \delta \sin z_p \cos A_p) \cos \tau \\ & + (\cos \tau \sin z_p \sin A_p) \sin \tau \\ & + (\sin \varphi \sin \delta \cos z_p - \cos \varphi \sin \delta \sin z_p \cos A_p) \end{aligned} \quad (\text{II.6})$$

Voor de zonnepanelen op het dak van de koestal te Melle is de zenitafstand  $z_p = 17^\circ$  (zie *figuur 2.3*). Met deze waarde voor de zenitafstand krijgen we *figuur 2.3*.

Bekijken we nu bvb. het NO-paneel op 21 juli. Op *figuur 2.2* is duidelijk te merken dat op  $\tau = -6\text{h}$  (6 uur voordat de zon culmineert, d.w.z. haar maximum hoogte bereikt) de zon zich nog onder de horizon bevindt. Uiteraard kan er dan nog geen sprake zijn van een invalshoek, daarom werden de periodes dat de zon zich nog onder de horizon bevindt op de *figuren 2.4* en *2.5* aangeduid in stippellijn. We merken op dat ook de situatie bestaat dat de zon zich boven de horizon bevindt, maar dat toch het paneel geen rechtstreekse zonnestraling ontvangt (want het dak zit in zijn eigen schaduw). Dit is bvb. te zien op equinoxen 21 maart en 23 september. De zonsondergang vindt dan op  $\tau = 6\text{h}$  plaats (zie *figuur 2.2*), terwijl op *figuur 2.4* duidelijk te zien is dat het NO-paneel dan al ruim anderhalf uur geen rechtstreekse zonnestraling meer ontvangen heeft vermits de zon zich dan achter de nok van het dak bevindt.

Op de *figuren 2.4* en *2.5* is te zien hoelang de zonnepanelen rechtstreekse zonnestraling ontvangen. Deze tijden werden samengevat in *tabel 2.2*. Uit *tabel 2.1* en *tabel 2.2* is duidelijk te zien dat de zonnepanelen niet de hele tijd dat de zon zich boven de horizon bevindt, rechtstreekse zonnestraling ontvangt.

*Figuren 2.4* en *2.5* illustreren dat de  $\cos(i)$ -factoren voor het NO-paneel voldoen aan:

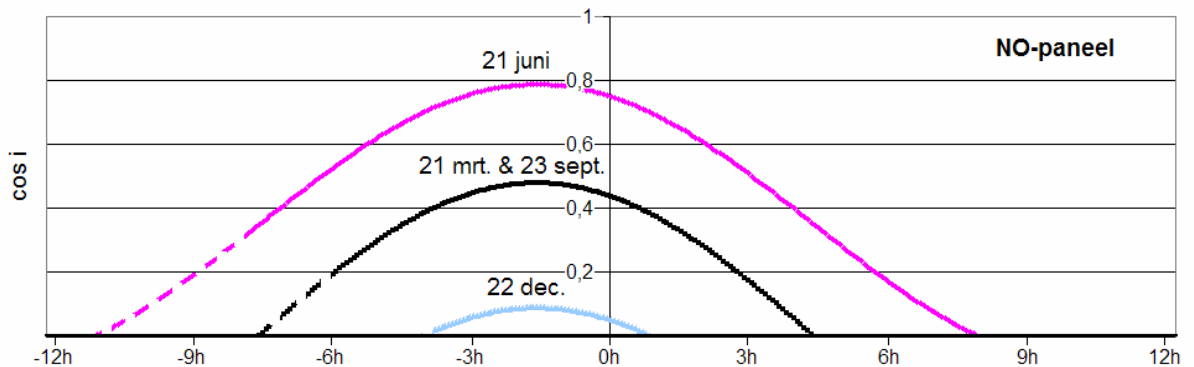
$$0 \leq \cos i \leq 0,79 \quad (\text{II.7})$$

en voor het ZW-paneel aan:

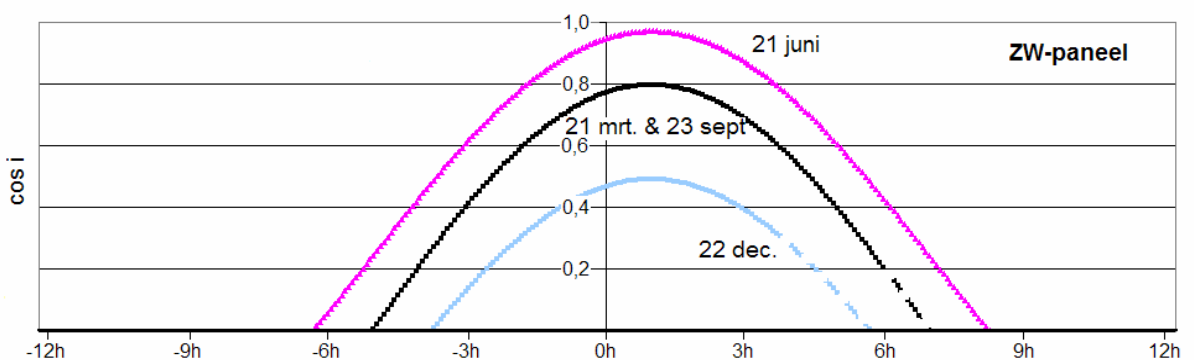
$$0 \leq \cos i \leq 0,97 \quad (\text{II.8})$$

Datum	Tijd dat het NO-paneel rechtstreekse zonnestraling ontvangt	Fractie t.o.v. een etmaal	Tijd dat het ZW-paneel rechtstreekse zonnestraling ontvangt	Fractie t.o.v. een etmaal
21 juli	15h 59 min.	66,6%	14h 31 min.	60,5%
21 maart & 23 september	10h 26 min.	43,5%	11h 2 min.	45,9%
22 december	4h 34 min.	19,0%	7h 37 min.	31,8%

Tabel 2.2: De tijd dat het NO- en het ZW-paneel rechtstreekse zonnestraling ontvangt op de solstitia en de equinoxen.



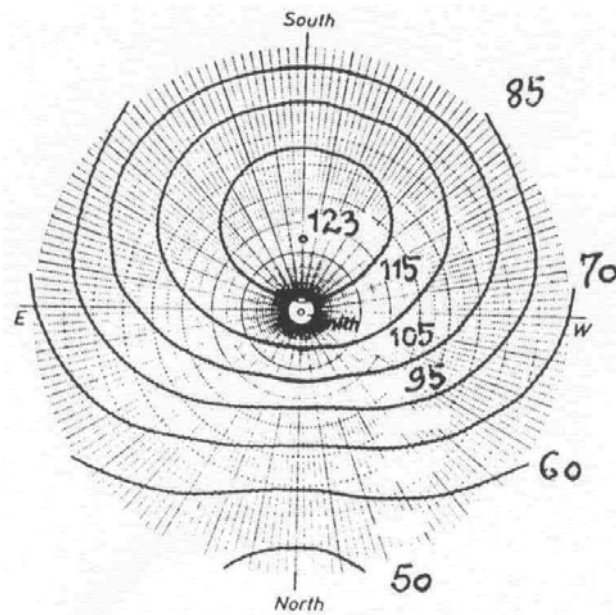
Figuur 2.4: de cosinus van de invalshoek  $i$  voor het NO-paneel in functie van de (zonne)tijd voor de solstitia en de equinoxen. Hierbij is 0h het tijdstip waarop de zon het hoogst staat.



Figuur 2.5: de cosinus van de invalshoek  $i$  voor het ZW-paneel in functie van de (zonne)tijd voor de solstitia en de equinoxen. Hierbij is 0h het tijdstip waarop de zon het hoogst staat.

## 2.4 Het invallend vermogen op de zonnepanelen

*Figuur 2.6* toont de invallende zonne-energie in  $\text{W/m}^2$  als functie van de oriëntatie van het zonnepaneel voor de omgeving van Gent (dus ook voor de proefhoeve te Melle), uitgemiddeld voor dag en nacht, zomer en winter. [3] Rekening houdend met de helling van  $17^\circ$  van de zonnepanelen en de oriëntatie van het paneel, verwachten we voor het NO-paneel een invallend vermogen van  $105 \text{ W/m}^2$ . Voor het ZW-paneel verwachten we ongeveer  $117 \text{ W/m}^2$ .



*Figuur 2.6: Gecapteerde zonne-energie (in  $\text{W/m}^2$ ), als functie van de oriëntatie van het zonnepaneel.[3]*

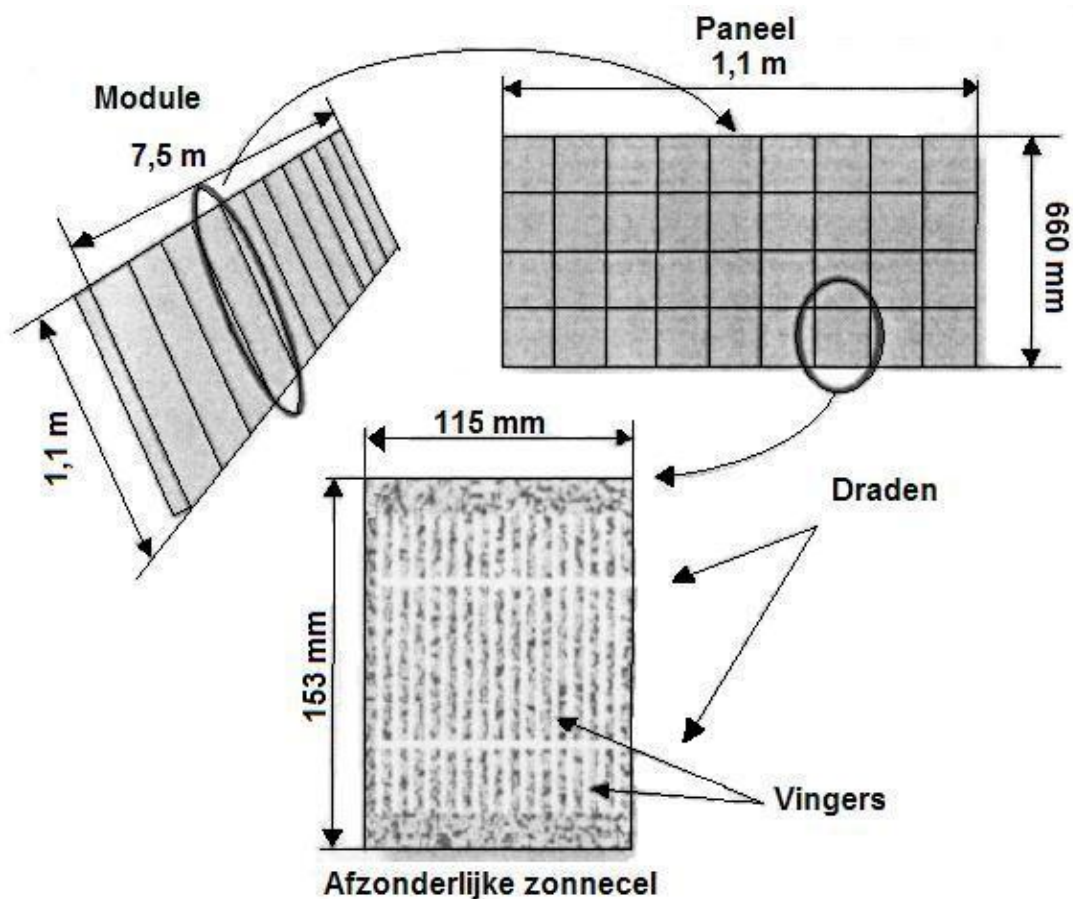


## Hdst. 3: Het fotovoltaïsch demonstratieproject te Proefhoeve, Melle

### **3.1 Opbouw van het fotovoltaïsch systeem**

Zoals reeds eerder vermeld, werden er op beide zijden van het dak van de koestal te Melle twee identieke zonnemodules geïnstalleerd. De ZW-module heeft een azimut van  $42^\circ$ , de NO-module een azimut van  $222^\circ$  (azimut  $0^\circ$  correspondeert met het noorden, gemeten volgens N→W→Z→O).

De opbouw van elke zonnemodule is weergegeven in *figuur 3.1*



*Figuur 3.1.: Constructie van een zonnemodule*

De modules werden aangekocht en geïnstalleerd door Soltech. Elke module is opgebouwd uit 11 identieke panelen en heeft als afmetingen 7,4 m x 1,1 m, wat een oppervlakte oplevert van ongeveer 8 m<sup>2</sup>. De 2 modules samen hebben dus een oppervlakte van 16 m<sup>2</sup>. Een paneel heeft ongeveer 86% actief gebied dat zonlicht omzet naar elektriciteit. De rest gaat verloren aan ruimte tussen de afzonderlijke zonnecellen, aan elektrische contacten en aan het aluminium frame rond het paneel.

Karakteristieken van de zonnemodules:

- Afzonderlijke zonnecellen: 115 mm x 153 mm polykristallijn silicium
- Paneel: 660 mm x 1113 mm, bestaande uit 4 x 9 = 36 zonnecellen, gefabriceerd door Solarex
- Module: 7,4 m x 1,1 m
- Totale oppervlakte = 16 m<sup>2</sup> = 2 modules = 22 panelen = 792 zonnecellen
- De 11 panelen in een module zijn in serie met elkaar verbonden
- De zonnecellen in een paneel zijn in serie met elkaar verbonden
- Maximum spanning: 600 V
- Bij een bestraling van 800 W/m<sup>2</sup>, A.M. 1,5, T=49°C
  - Maximum vermogen: 60,1 W
  - Maximum vermogenpuntstroom: 4,03 A
- Bij een bestraling van 1000 W/m<sup>2</sup>, A.M. 1,5, T=25°C
  - Maximum vermogen: 82,8 W
  - Openklemspanning: 21,3 V
  - Kortsluitstroom: 5,48 A

*Figuur 3.2* toont het schema van de zonnecentrale.

Het datacollectiesysteem 'Heliograph', ontwikkeld door IMEC, bestaat uit een referentiezonnecel, een datalogger, een interne microcontroller die de data verzamelt en verwerkt en het softwareprogramma 'Zonnelezer'.

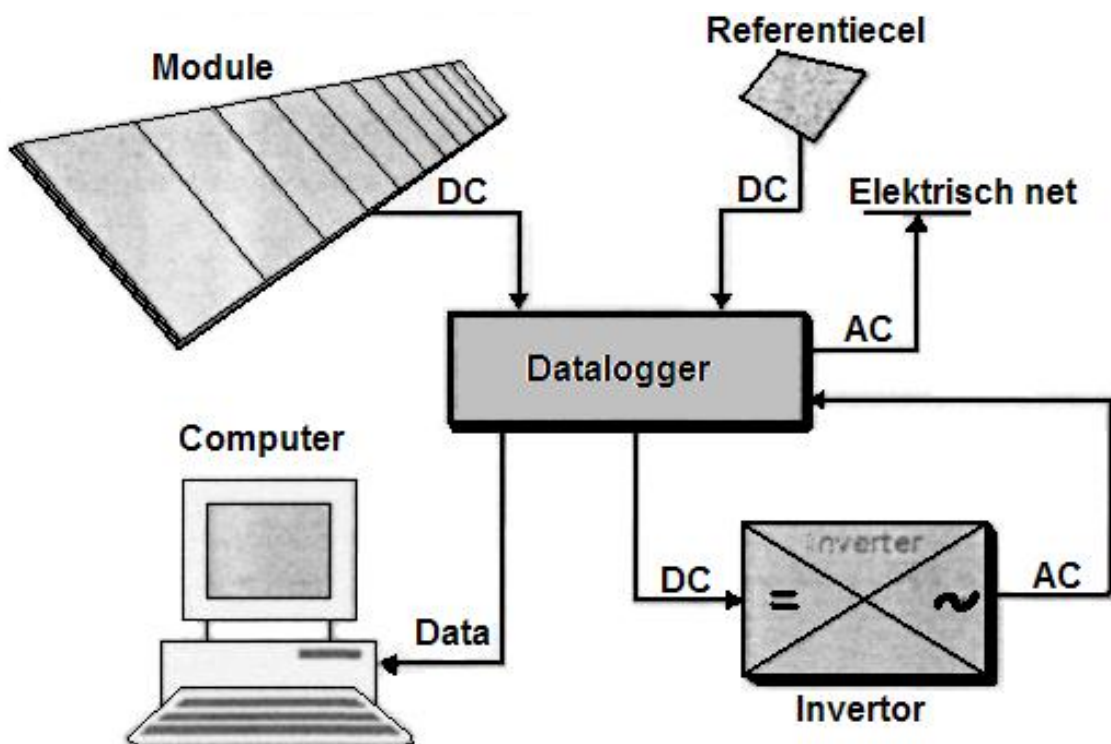
In Melle zijn de twee zonnemodules verbonden met twee afzonderlijke dataloggers (datalogger 47 voor het NO-paneel en datalogger 50 voor het ZW-paneel). Twee invertors (type Sunny Boy SWR 700 van SMA Regelwerke) zetten de 176 V gelijkspanning afkomstig van de zonnepanelen om naar éénfasig 230 V wisselspanning. De wisselstroom

wordt op het elektriciteitsnet gestoken. De dataloggers zijn verbonden met een computer Intel Pentium I (200 MHz processor) waar de data kunnen uitgelezen worden.

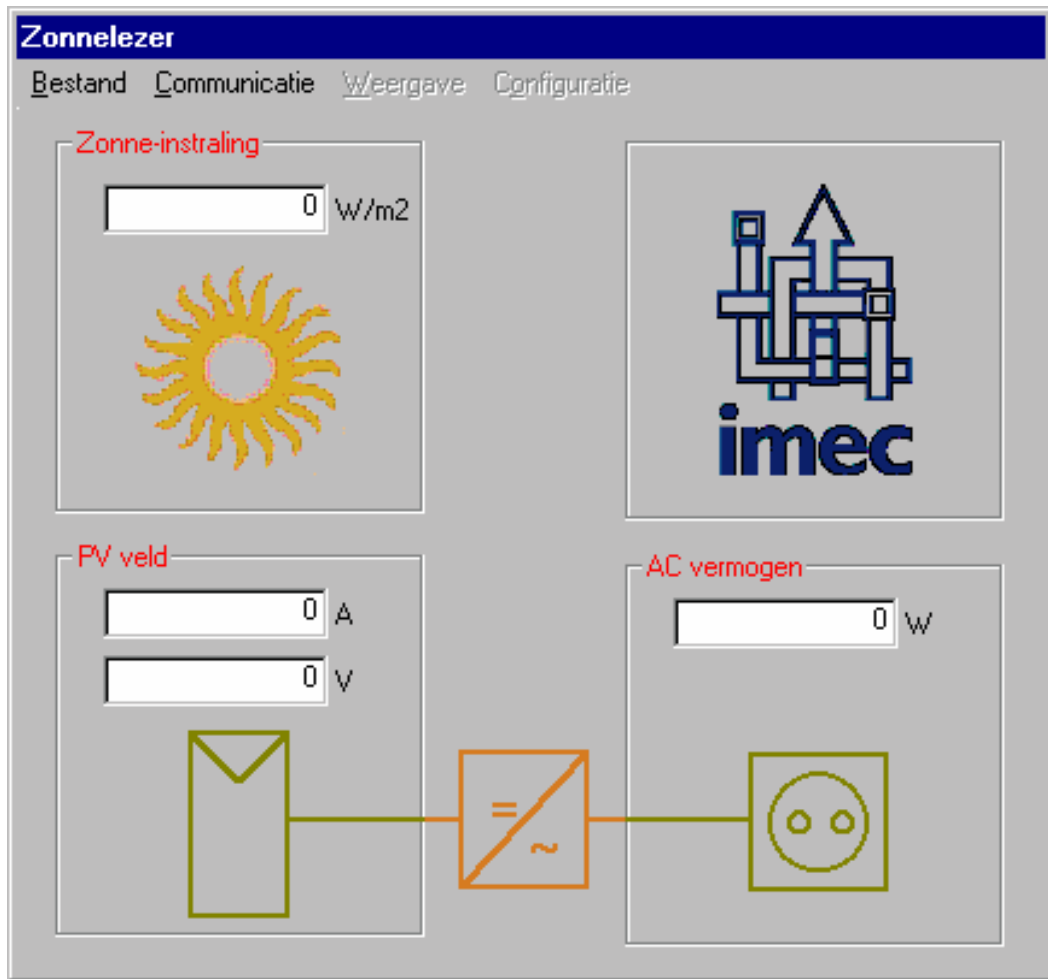
De dataloggers registreren voor elke module 4 parameters:

- Het vermogen  $G_i$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] van de invallende zonnestraling per oppervlakte-eenheid.  $G_i$  wordt gemeten door middel van een referentiezonnecel op het dak.
- De gelijkstroom  $I_{\text{DC}}$  [A] afkomstig van de zonnemodule.
- De gelijkspanning  $V_{\text{DC}}$  [V] afkomstig van de zonnemodule.
- Het uitgaande wisselstroomvermogen  $P_{\text{ac}}$  [W] geleverd aan het elektriciteitsnet.

De gemeten data worden opgeslagen in het interne NVRAM geheugen van de datalogger die met behulp van het softwareprogramma “Zonnelezer” (zie *figuur 3.3*) kunnen uitgelezen worden.



*Figuur 3.2: Schema van het fotovoltaïsch systeem te Melle*



*Figuur 3.3: Het beginscherm van het programma “Zonnelezer”*

Het systeem meet de waarden van de vier hierboven beschreven parameters om de 4 seconden. Na een door de gebruiker gekozen meetinterval, middelt het systeem de metingen uit over het gekozen meetinterval, en schrijft dan die waarden weg in het geheugen van de datalogger. De meetintervallen die met behulp van het programma Zonnelezer kunnen gekozen worden zijn: 2, 5, 10, 20 of 60 minuten.

Het systeem kan 24h per dag meten, maar dit zou een verspilling zijn van het vrij beperkte geheugen van de datalogger (32 kB) vermits er 's nachts alleen nulwaarden worden geregistreerd. Daarom kan de gebruiker met het softwareprogramma de dagcyclus aanpassen. Uiteraard is het te verkiezen 's winters de dagcyclus korter in te stellen dan 's zomers, vermits de dagen dan veel korter zijn.

Wanneer het geheugen van de datalogger vol is, stoppen de metingen. Pas wanneer de data door de computer werden uitgelezen en gewist, kan de data-acquisitie verder gezet worden. Het maximum aantal dagen dat de data-acquisitie kan gebeuren wordt gegeven door: [5]

$$N = \frac{32750}{8 + K.U. \cdot \frac{60}{M}} \quad (\text{III.1})$$

met:

N : het aantal dagen.

K : het aantal meetkanalen dat in gebruik is (standaard 4).

U : het aantal uren per dag dat de "Heliograph" meetwaarden registreert.

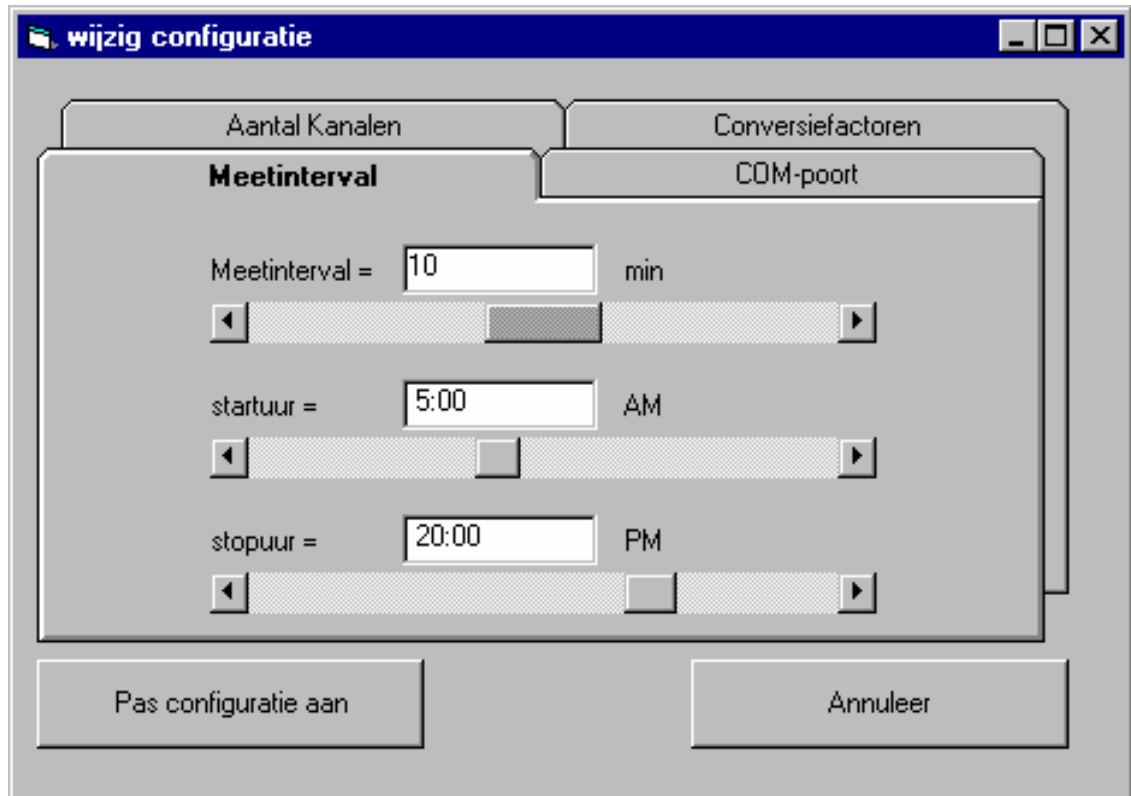
M : het ingestelde meetinterval uitgedrukt in minuten.

In de praktijk wil dit dus zeggen dat, met een meetinterval van 2 minuten en een dagcyclus van 6h tot 19h, het geheugen om de 20 dagen moet uitgelezen worden (zie *figuur 3.4*).



*Figuur 3.4: het uitlezen van de meetgegevens*

De communicatie tussen de dataloggers en de computer gebeurt via een seriële poort. De data-acquisitie van 1 datalogger neemt in de praktijk ongeveer een tiental minuten in beslag als het geheugen bijna vol is.



*Figuur 3.5: het aanpassen van het meetinterval en de dagcyclus*

### 3.2 De software

Het programma “Zonnelezer”, geschreven in Microsoft Visual Basic, omvat verscheidene functies:

- het uitlezen van de gegevens uit de dataloggers
- het meetinterval en de dagcyclus wijzigen
- het aantal kanalen en de namen van de kanalen wijzigen
- de calibratiefactoren instellen (bij de installatie van “Heliograph” dienen de data gecalibreerd te worden. Dit gebeurt door IMEC.)
- het instellen van de COM-poort
- het geheugen wissen van de dataloggers

- de data opslaan in een tekstbestand
- de data visueel voorstellen.

Het programma geeft op het hoofdscherm (zie *figuur 3.3*) de 4 laatst gemeten waarden: het vermogen  $G_i$  [W/m<sup>2</sup>] van de invallende zonnestraling per oppervlakte-eenheid, de gelijkstroom  $I_{DC}$  [A] en de gelijkspanning  $V_{DC}$  [V] afkomstig van de zonnemodule en het uitgaande wisselstroomvermogen  $P_{ac}$  [W] geleverd aan het elektriciteitsnet.

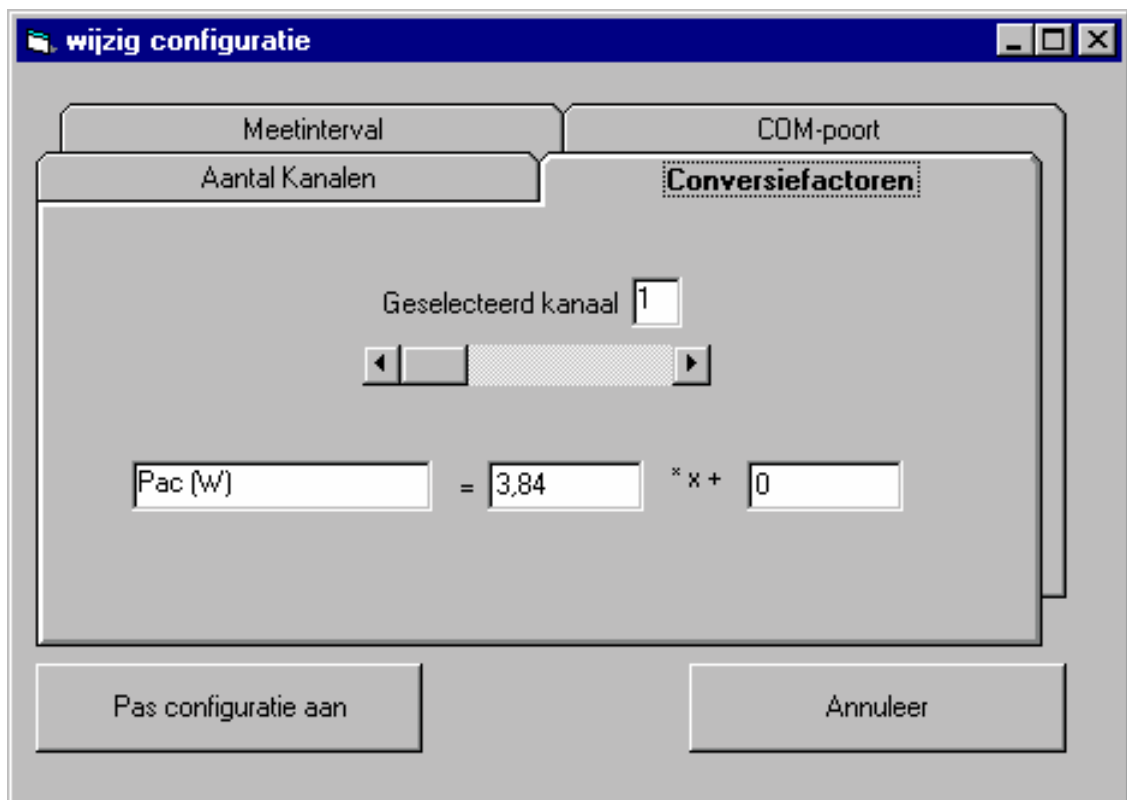
Zoals reeds vermeld kan het programma de verschillende configuratieparameters wijzigen (meetinterval, dagcyclus, instellingen kanalen, COM-poort en de calibratiefactoren) (zie *figuur 3.5* en *3.6*). Deze parameters worden opgeslaan in een configuratiebestand: "heliconf.cnf". Dit bestand kan in een gewone tekstbewerker (zoals Windows Kladblok) gelezen en eventueel gewijzigd worden.

ID-nummer/numéro ID	DL0047
COM-poort/porte COM	2
aantal kanalen/nombre de canaux	4
duur meting/temps de mesure	2
startuur/l'heure de démarrage	6
stopuur/l'heure d'arrêt	20
Pac (W), 3.84, 0	
Udc (V), 1, 0	
Idc (A), .0308, 0	
Gi (W/m2), 5.88,-300.08	

*Figuur 3.6 : het configuratiebestand "heliconf.cnf" van dataloggers 47 (NO)*

Zoals reeds vermeld moeten, bij de installatie van het systeem “Heliograph”, door IMEC de calibratiefactoren met gecalibreerde meettoestellen gezocht en ingesteld worden (zie *figuur 3.7*). De calibratiefactoren van de 4 te meten grootheden zijn te lezen op de laatste 4 regels van het configuratiebestand. Het eerste getal is de lineaire calibratiefactor, het tweede de constante calibratieterm. Dus als  $x$  de meetwaarde voorstelt die de datalogger registreert, dan zal, gelet op bovenstaand configuratiebestand, het invallende vermogen gegeven worden door:

$$G_i = 5,88 x - 300,08 \quad (\text{III.2})$$



*Figuur 3.7: het instellen van de calibratiefactoren*

Het tekstbestand waarin de gegevens opgeslagen worden ziet eruit als op *figuur 3.8*. De opeenvolgende cijfers staan voor: het jaartal (2003), de maand (februari), de dag (7 feb.), het uur ( 15:08h), Pac (31W), Udc (160V), Idc (0,30 A) en  $G_i$  (53 W/m<sup>2</sup>)



```

ID-nummer/numéro ID; DL0050
jaar/année; maand/mois; dag/jour; uur/heure;Pac (W);Udc (V);Idc (A);Gi (W/m2)
' 3; 2; 7; 15: 08;31; 160; 0,30; 53;
' 3; 2; 7; 15: 10;26; 161; 0,27; 47;
' 3; 2; 7; 15: 12;26; 160; 0,27; 47;
' 3; 2; 7; 15: 14;18; 183; 0,18; 47;
' 3; 2; 7; 15: 16;26; 163; 0,24; 47;
' 3; 2; 7; 15: 18;26; 166; 0,27; 47;
' 3; 2; 7; 15: 20;31; 159; 0,30; 53;
.....

```

*Figuur 3.8: Het tekstbestand waarin de data worden geschreven (bvb. op 7 februari 2003, tussen 15h en 16h)*

### **3.3 Problemen op de Proefhoeve, Melle**

Het programma “Zonnelezer” is jammer genoeg niet erg gebruiksvriendelijk en bevat enkele fouten.

Zoals reeds vermeld zou het programma op het beginscherm (zie *figuur 3.3*) de laatst gemeten waarden van de 4 parameters moeten tonen. Het programma weigert dit echter te doen, en geeft verkeerde waarden (hetzij nulwaarden, hetzij onrealistische waarden)

Soms treedt er ook een probleem op met de communicatie tussen het geheugen van de datalogger en de computer. In de meetgegevens verschijnt er dan een te hoge waarde. Dit komt echter niet zo vaak voor.

Het grote probleem is echter dat het programma gemaakt werd voor het uitlezen van één datalogger, terwijl het programma op de Proefhoeve in Melle gebruikt wordt voor het uitlezen van twee dataloggers (datalogger 47 voor het NO-paneel en datalogger 50 voor het ZW-paneel). Als het programma opstart, leest het de nodige configuratie-instellingen uit het configuratiebestand “heliconf.cnf”. Maar daar staan uiteraard alleen de instellingen van één datalogger, bvb. datalogger 47 (NO-paneel). Op dat moment kunnen dus alleen maar de meetgegevens van het NO-paneel correct uitgelezen worden. Om de gegevens van de tweede datalogger (datalogger 50 voor het ZW-paneel) te kunnen uitlezen, moet het programma terug afgesloten worden. Dan dient manueel de naam van het bestand

“heliconf.cnf” veranderd te worden in een andere naam, bvb “heliconf47.cnf” en dient men de naam van het configuratiebestand van de tweede datalogger (datalogger 50), dat bvb. “heliconf50.cnf” noemt, manueel te wijzigen in “heliconf.cnf”. Als men dan het programma opnieuw opstart, zal het programma nu opnieuw de instellingen uit “heliconf.cnf” lezen, die nu echter de instellingen van datalogger 50 bevat. Daarna kan men pas de meetgegevens van de tweede datalogger (het ZW-paneel) uitlezen. Dit manueel wijzigen van de namen van de configuratiebestanden dient men elke keer opnieuw te doen als men de gegevens van de twee panelen wenst uit te lezen.

ID-nummer/numéro ID	ID-nummer/numéro ID
DL0047	DL0050
COM-poort/porte COM	COM-poort/porte COM
2	4
aantal kanalen/nombre de canaux	aantal kanalen/nombre de canaux
4	4
duur meting/temps de mesure	duur meting/temps de mesure
10	10
startuur/l'heure de démarrage	startuur/l'heure de démarrage
4	4
stopuur/l'heure d'arrêt	stopuur/l'heure d'arrêt
21	21
Pac (W), 3.84, 0	Pac (W), 4.38, 0
Udc (V), 1, 0	Udc (V), 1.04, 0
Idc (A), .0308, 0	Idc (A), .0297, 0
Gi (W/m <sup>2</sup> ), 5.88,-300.08	Gi (W/m <sup>2</sup> ), 5.88,-300.08

*Figuur 3.9: de configuratiebestanden van dataloggers 47 (NO) en 50 (ZW) bij de herinstallatie in oktober 2002*

De computer in Melle is aangesloten op het UGent-netwerk, en dus op het internet. Dit maakt dat het niet noodzakelijk is om om de zoveel dagen (wanneer het geheugen van de dataloggers verzadigd geraakt) naar de Proefhoeve te Melle te gaan om de data uit te lezen. Met het programma Win VNC (Virtual Network Computing, versie 3.3.3, AT&T Research Labs Cambridge 1998/1999) is het mogelijk via het internet de volledige controle over de

computer in de Proefhoeve over te nemen, en dus de data uit te lezen. In de praktijk echter bleek het toch noodzakelijk ongeveer 1 keer per maand naar de Proefhoeve te gaan vermits de computer te Melle geregeld crasht.

In de zomer van 2002 crashte de harde schijf van de computer te Melle. Daarom werden er begin oktober 2002 twee nieuwe harde schijven geïnstalleerd. Het programma “Zonnelezer” werd opnieuw geïnstalleerd, waarbij ervoor gezorgd werd dat het programma identiek dezelfde configuratiebestanden gebruikte (zie *figuur 3.9*).

De gegevens die uitgelezen werden vanaf oktober 2002 tot en met maart 2003 voor het NO-paneel waren in werkelijkheid de metingen van het ZW-paneel, maar met de NO-calibratiefactoren aangepast. Daardoor ontstond zo de situatie dat de gegevens van het ZW-paneel en de vermeende gegevens van het NO-paneel gelijk waren op een constante verhouding na. Gelet op de calibratiefactoren vinden we:

$$P_{ac}(\text{NO}) = \frac{3,84}{4,38} \cdot P_{ac}(\text{ZW}) = 0,877 \cdot P_{ac}(\text{ZW}) \quad (\text{III.3})$$

$$U_{DC}(\text{NO}) = \frac{1}{1,04} \cdot U_{DC}(\text{ZW}) = 0,961 \cdot U_{DC}(\text{ZW}) \quad (\text{III.4})$$

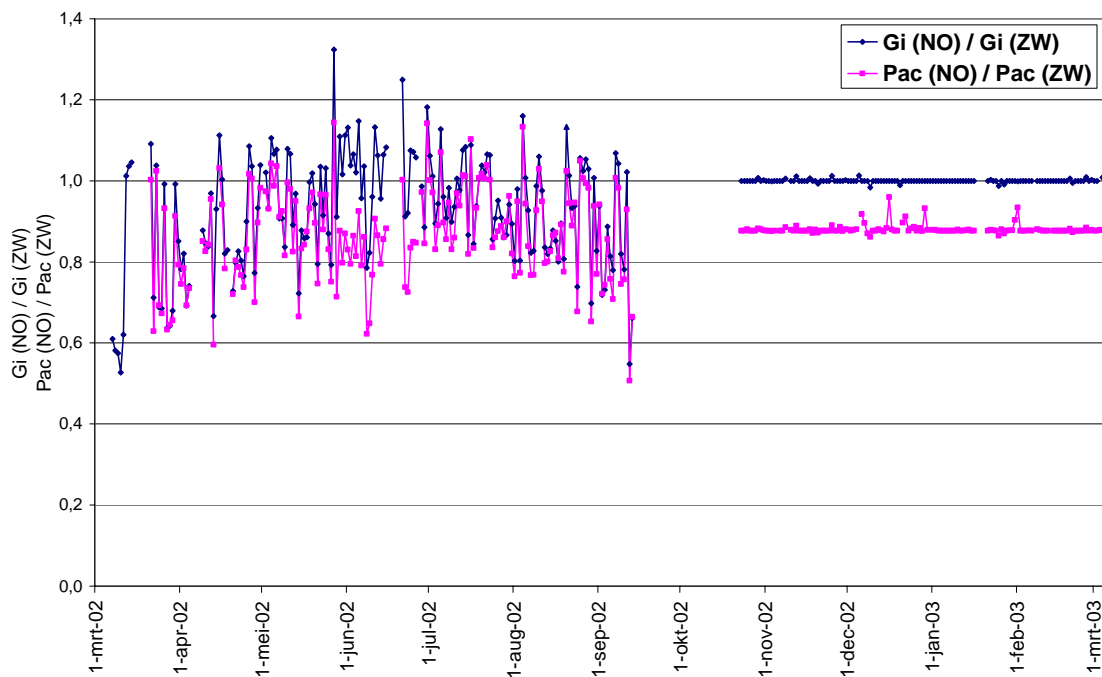
$$I_{DC}(\text{NO}) = \frac{0,0308}{0,0297} \cdot I_{DC}(\text{ZW}) = 1,037 \cdot I_{DC}(\text{ZW}) \quad (\text{III.5})$$

$$G_i(\text{NO}) = 1,000 \cdot G_i(\text{ZW}) \quad (\text{III.6})$$

De configuratiefout kwam pas in maart 2003 aan het licht bij de verwerking van de gegevens van oktober 2002 tot 6 maart 2003 door het uitzetten van de verhoudingen van de grootheden van beide panelen (zie *figuur 3.10*).

Het euvel werd op 4 april 2003 verholpen door in het configuratiebestand van het NO-paneel de COM-poort aan te passen van COM-poort 4 naar COM-poort 2. Daarbij kwam echter nog een nadeel van het programma naar voor: bij het opstarten van het programma controleert het programma of de instellingen in het configuratiebestand exact overeenstemmen met de inwendige instellingen in de datalogger (m.a.w. het startuur, het stopuur, het meetinterval...). Zodra er ook maar het kleinste verschil is, weigert het

programma te functioneren, en meldt het een configuratiefout. Het is echter onmogelijk om via het programma “Zonnelezer” de juiste instellingen van de datalogger te achterhalen. Alleen via een gebruiksonvriendelijke manier konden de exacte parameters van de datalogger achterhaald worden. Door via een communicatieprogramma (bvb. Microsoft Hyper Terminal) een juist commando (commando “B”) met de juiste instellingen (overdrachtssnelheid van 19 200 bps voor 8 databits zonder pariteit, met 1 stopbit en een NONE-overdrachtscontrole) naar de datalogger te zenden, zond de datalogger zijn basisinstellingen terug (onder hexadecimale vorm). [5] Door het configuratiebestand manueel in een tekstbewerker te wijzigen zodat de instellingen exact overeenkwamen met de inwendige instellingen van de datalogger, werd het euvel verholpen. De data die nog in de datalogger opgeslagen waren (8 oktober tot en met 23 oktober 2002), konden nog gerecupereerd worden. Vanaf 5 april 2003 verloopt de data-acquisitie van beide panelen weer zoals het hoort.



*Figuur 3.10: Verhouding van het invallende vermogen  $G_i$  en het uitgaand vermogen  $P_{ac}$  op het NO-paneel tot het ZW-paneel*

Het feit dat het onmogelijk is om de inwendige instellingen van de datalogger te veranderen als die niet reeds overeenkomen met de instellingen in het configuratiebestand, is onlogisch. Ook dat het programma weigert te werken onder die omstandigheden en dat het onmogelijk is om de juiste instellingen van de datalogger te achterhalen met “Zonnelezer” is een nadeel.

Het programma geeft ook weinig feedback aan de gebruiker. Zo geeft bvb. bij het uitlezen van de meetgegevens uit de dataloggers (dat bij een vol geheugen ruim 10 minuten in beslag neemt) het programma geen melding of het uitlezen al dan niet geslaagd is.

Een ander nadeel van het programma “Zonnelezer” is dat bij het uitlezen van de gegevens en het wissen van het geheugen de metingen moeten stopgezet worden. Daardoor zitten er regelmatig ‘gaten’ in de metingen van een kwartier tot een half uur, en dit 1 à 2 keer per maand. Dit kan enkel vermeden worden door de dataloggers uit te lezen voor zonsopgang of na zonsondergang.

### **3.4 Nationale datacollectie**

Zoals reeds vermeld, is de Universiteit Gent contractueel verplicht de gemeten data naar de nationale centrale database van het project “Fotovoltaïsche zonnecelsystemen voor onderwijsinstellingen” te zenden. Dit moet gebeuren tussen de 1<sup>ste</sup> en de 15<sup>de</sup> van de maanden januari, april, juli en oktober.

De data van beide panelen van 26 juni 2002 tot en met september werden op 9 oktober 2002 via pvdata@imec.be naar de nationale databank gezonden. De data van het ZW-paneel vanaf oktober 2002 tot en met 17 januari 2003 werden op 29 januari naar datzelfde e-mailadres verzonden. Op 14 april 2003 werden de data vanaf 18 januari 2003 tot en met 26 maart 2003 van het ZW-paneel naar de databank doorgestuurd. De gerecupereerde data van het NO-paneel voor de maand oktober (7 tot 23 oktober), werden ook op die datum doorgestuurd.

De data van 6 tot 31 maart 2002 en van 1 april tot 27 juni 2002 werden door Maciej Rzewuski [6] naar de nationale databank gezonden op respectievelijk 10 april en 28 juni 2002.

Meetgegevens vanaf	tot en met	Meetgegevens verzonden op
6 maart 2002	31 maart 2002	10 april 2002
1 april 2002	27 juni 2002	28 juni 2002
26 juni 2002	30 september 2002	9 oktober 2002
1 oktober 2002 (ZW)	17 januari 2003 (ZW)	29 januari 2003
7 oktober 2002 (NO)	23 oktober 2002 (NO)	14 april 2003
18 januari 2003	26 maart 2003	14 april 2003

*Tabel 3.1: Overzicht van het verzenden van de data naar de nationale databank.*

## **Hdst. 4: Verwerking van de meetresultaten van de fotovoltaïsche zonnecentrale te Proefhoeve, Melle**

### **4.1 Beschikbare data**

De metingen aan het fotovoltaïsche systeem te Melle startten op 7 maart 2002. Gedurende één jaar werden de 4 grootheden gemeten (het invallende vermogen  $G_i$  [ $W/m^2$ ], de gelijkstroom  $I_{DC}$  [A], de gelijkspanning  $V_{DC}$  [V] en het uitgaande wisselstroomvermogen  $P_{ac}$  [W]).

De resultaten die in dit hoofdstuk besproken worden, hebben betrekking op de periode 7 maart 2002 – 6 maart 2003. Door fouten en het niet tijdig uitlezen van het geheugen ontbreken enkele data. De meetgegevens van de tweede helft van september en begin oktober ontbreken door de verlofperiode. Door het configuratieprobleem besproken in §3.3 ontbreken de gegevens van het NO-paneel vanaf 24 oktober 2002 tot en met 6 maart 2003. Een overzicht van de beschikbare meetgegevens wordt gegeven in *tabel 4.1*. Alleen de dagen waarvan er metingen beschikbaar zijn van zonsopgang tot zonsondergang, zijn vermeld in de tabel. Als er voor een dag maar gedeeltelijke gegevens beschikbaar waren, werd de dag niet in beschouwing genomen. Het aantal dagen dat er geen gegevens beschikbaar zijn voor de ganse dag, zijn gegeven in *tabel 4.2*. De grafieken en resultaten hebben altijd betrekking op de beschikbare data vermeld in de tabel, tenzij er expliciet anders vermeld is.

Vanaf 7 maart 2002 tot en met 26 juni 2002 werd om de twee minuten de waarde gemeten van de 4 grootheden. Vanaf dan tot en met september 2002 werd om de tien minuten data weggeschreven naar de datalogger. Vanaf oktober 2002 tot het einde van de periode die we bestuderen (tot 6 maart 2003) bedroeg het meetinterval opnieuw 2 minuten. Gedurende 79 dagen was het meetinterval ingesteld op 10 minuten, zowel voor het NO- als voor het ZW-paneel.

We beschikken dus voor het ZW-paneel over  $365 - 42 = 323$  dagen met volledige meetgegevens. Op één jaar is dit 88,5%. Door het eerder besproken configuratieprobleem beschikken we voor het NO-paneel over maar 198 dagen met volledige meetgegevens. Op één jaar is dit 54,2%. Vooral de wintermaanden ontbreken voor het NO-paneel.

Beschouwen we beide panelen samen, dan beschikken we over 71,4% van het jaar over volledige meetgegevens.

De meetfractie ('*monitoring fraction*') MF wordt gedefinieerd als de fractie van de meetperiode waarvoor data beschikbaar zijn. De MF is weergegeven in *tabel 4.3*.

Dit betekent dat gedurende meer dan 3026 uur het NO-paneel geobserveerd werd. Het ZW-paneel werd gedurende 4647 uur geobserveerd. Als we alleen die data uit *tabel 4.1* beschouwen, dan beschikken we voor het NO-paneel over 58 562 tijdstippen waarop data vergaard werd en 107 204 voor wat betreft het ZW-paneel. Vermits er 4 grootheden geregistreerd worden, beschikken we in totaal over 663 064 metingen. Het zijn die 663 064 getalwaarden die verwerkt werden en waarvan u de resultaten in dit hoofdstuk kan lezen.

	<b>NO-paneel</b>	<b>ZW-paneel</b>
Maart 2002	7 maart → 31 maart	7 maart → 14 maart 21 maart → 31 maart
April	1 april → 4 april 9 april → 30 april	1 april → 30 april
Mei	1 mei → 31 mei	1 mei → 31 mei
Juni	1 juni → 15 juni 21 juni → 30 juni	1 juni → 15 juni 21 juni → 30 juni
Juli	1 juli → 31 juli	1 juli → 31 juli
Augustus	1 augustus → 31 augustus	1 augustus → 31 augustus
September	1 september → 13 september	1 september → 13 september
Oktober	8 oktober → 23 oktober	11 oktober → 31 oktober
November		1 november → 30 november
December		1 december → 31 december
Januari 2003		1 januari → 16 januari 21 januari → 31 januari
Februari		1 februari → 28 februari
Maart		1 maart → 6 maart

*Tabel 4.1: Beschikbare meetgegevens voor het fotovoltaïsche systeem te Proefhoeve, Melle voor de periode 7 maart 2002 – 6 maart 2003*



	<b>NO-paneel</b>	<b>ZW-paneel</b>
Maart 2002	0	6
April	4	0
Mei	0	0
Juni	5	5
Juli	0	0
Augustus	0	0
September	17	17
Oktober	15	10
November	30	0
December	31	0
Januari 2003	31	4
Februari	28	0
Maart	6	0
<b>Totaal</b>	<b>167</b>	<b>42</b>

*Tabel 4.2: Aantal dagen per maand in de periode 7 maart 2002- 6 maart 2003 dat er geen volledige meetgegevens beschikbaar zijn.*

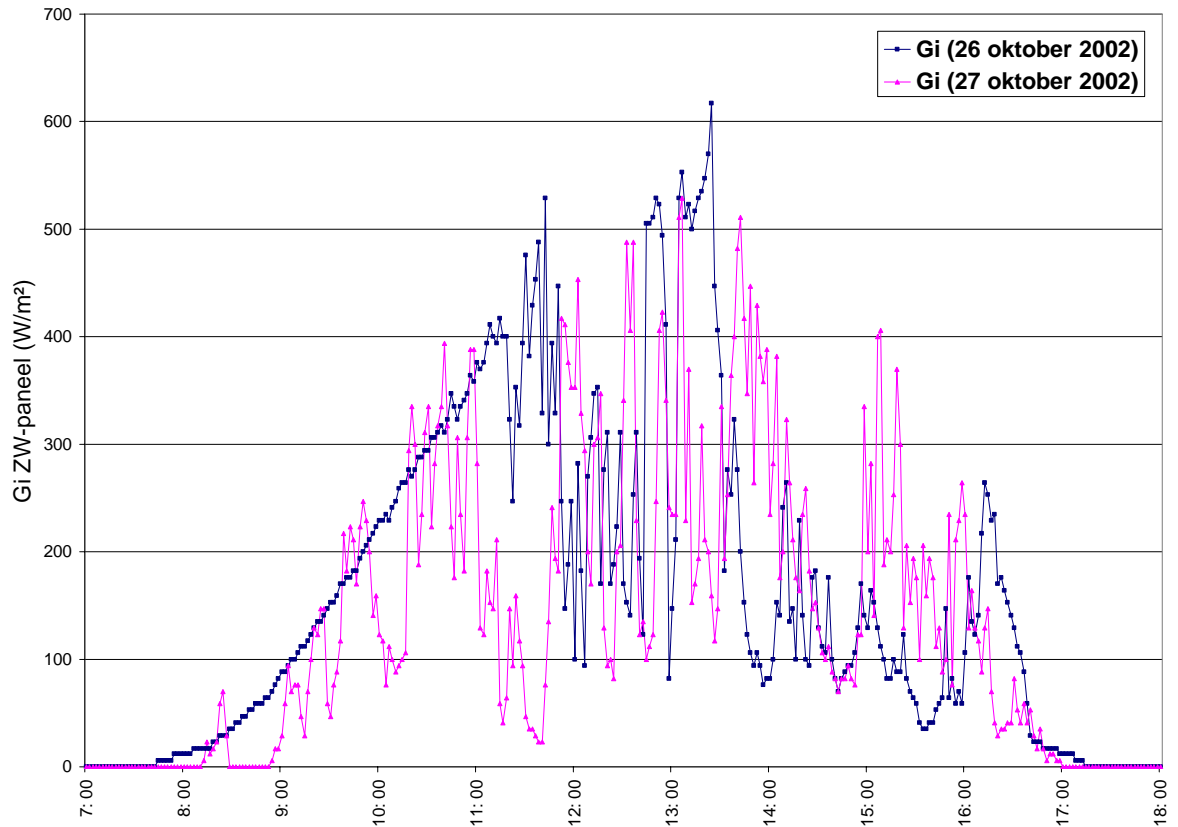
	<b>NO-paneel</b>	<b>ZW-paneel</b>	<b>Totaal systeem</b>
MF	54,2 %	88,5 %	71,4 %

*Tabel 4.3: de meetfractie voor de afzonderlijke panelen en voor het totale systeem*

## **4.2 De interne dataloggertijd**

De dataloggers zijn uitgerust met een interne klok waarop ze zich baseren voor de metingen. Die interne klok houdt geen rekening met de omschakeling van winter- naar zomertijd en omgekeerd. Dit is duidelijk te zien in *figuur 4.1.*: aan de hand van de invallende vermogens van de zonnestraling merken we dat de zon op 26 oktober 2002 ongeveer even vroeg opging en onderging als op 27 oktober 2002, alhoewel op 27 oktober de zomertijd overging op de wintertijd (3 uur werd 2 uur). De interne klok is gebaseerd op

de wintertijd. Als in deze scriptie over de tijd gesproken wordt in gegevens of grafieken, dan wordt daar altijd de wintertijd mee bedoeld, ook al zouden de gegevens op een zomerdag slaan. Concreet betekent dit dat voor de gegevens tussen 31 maart 2002 en 26 oktober 2002 (grenzen inclusief) een uur bij de tijd moet bijgeteld worden (zomertijd).



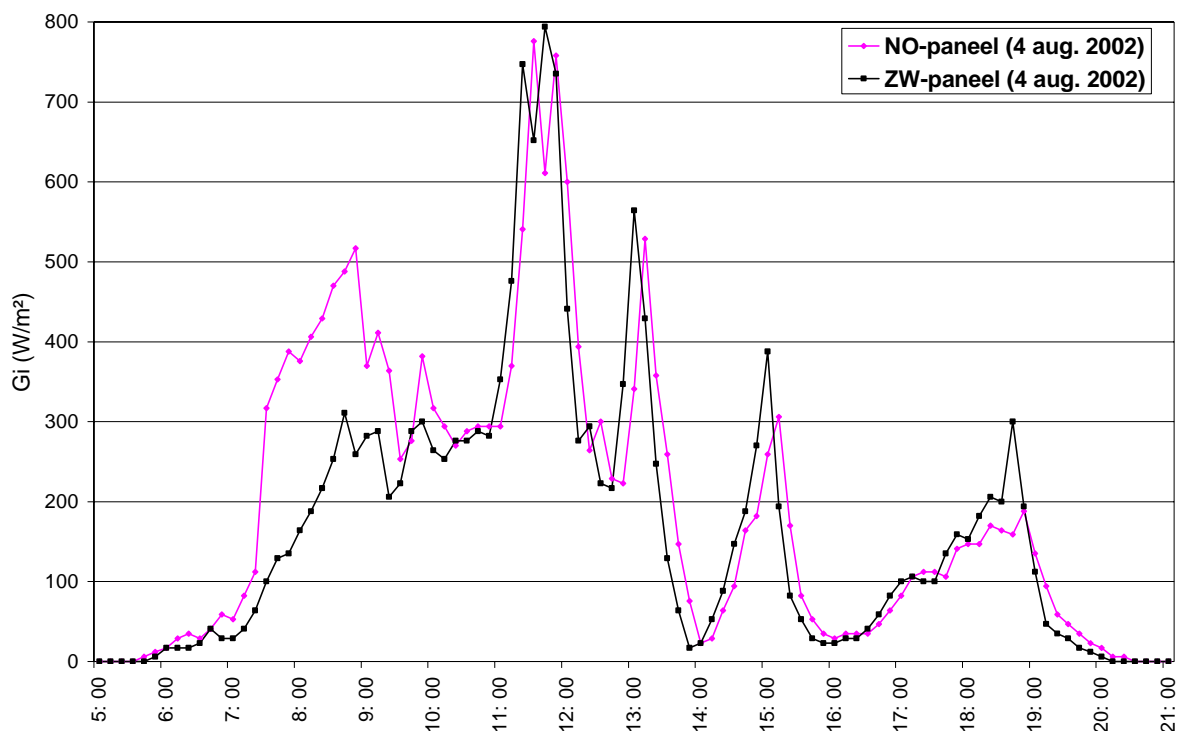
*Figuur 4.1: Het invallende vermogen van de zonnestraling in  $W/m^2$  voor het ZW-paneel op 26 en 27 oktober 2002*

De interne klokken van beide dataloggers lopen jammer genoeg niet gelijk. Er is een klein verschil van 6 minuten tussen beiden. Op *figuur 4.2* is duidelijk te zien dat de interne klok van de datalogger 50 (het ZW-paneel) voor loopt op de klok van datalogger 47 (het NO-paneel).

Dit verklaart ook waarom na 15 oktober 2002 de verhouding van  $P_{ac}(\text{NO})/P_{ac}(\text{ZW})$  op sommige dagen afwijkt van 0,877 (zie rechterdeel van *figuur 3.10* en *formule III.3*).

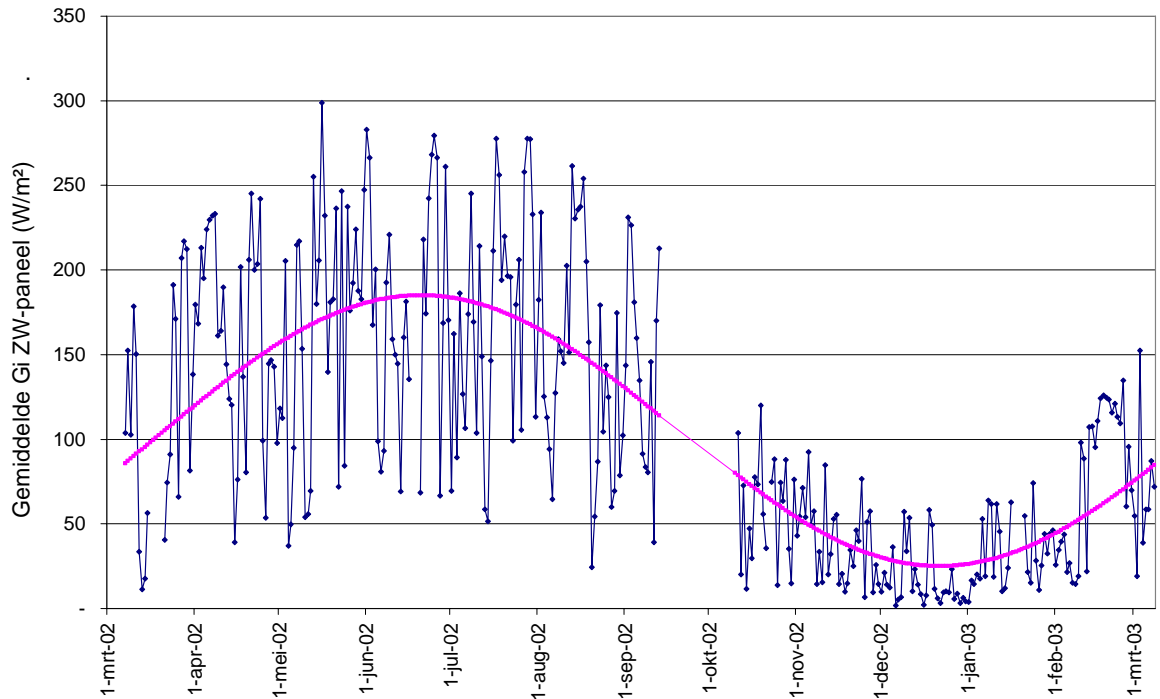
### 4.3 Het invallende vermogen $G_i$ van de zonnestraling

De figuren 4.3 tot 4.5 tonen het gemiddelde invallende vermogen  $G_i$  van de zonnestraling in  $W/m^2$  in functie van de dag van het jaar, zowel voor het ZW-paneel als voor het NO-paneel. De gemiddelden werden berekend door de sommatie van de waarden van het invallende vermogen gedeeld door het aantal waarden per 24 uur (d.w.z. gedeeld door 144, hetzij 720, afhankelijk of er om de 10 of om de 2 minuten gemeten werd). Dit is dus niet het rekenkundige gemiddelde over het meetinterval, maar geeft wel een representatiever beeld vermits de zon in de winter minder uren schijnt dan in de zomer.

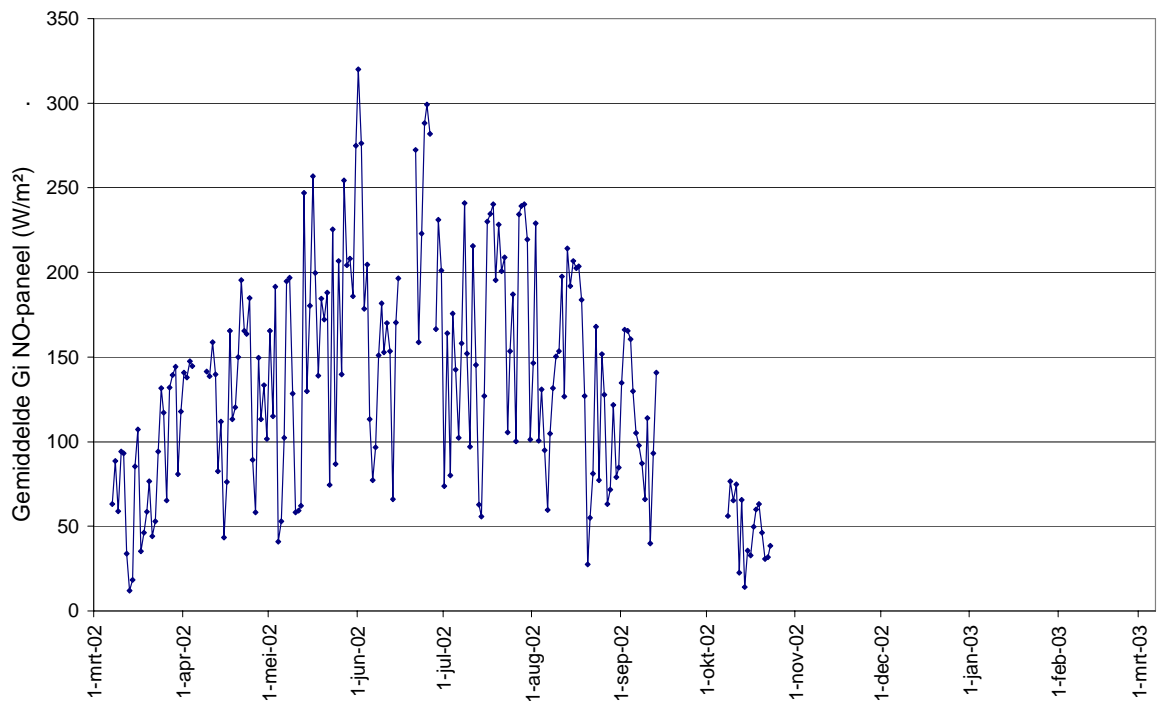


*Figuur 4.2: Het invallende vermogen van de zonnestraling in  $W/m^2$  van het NO- en het ZW-paneel op 4 augustus 2002*

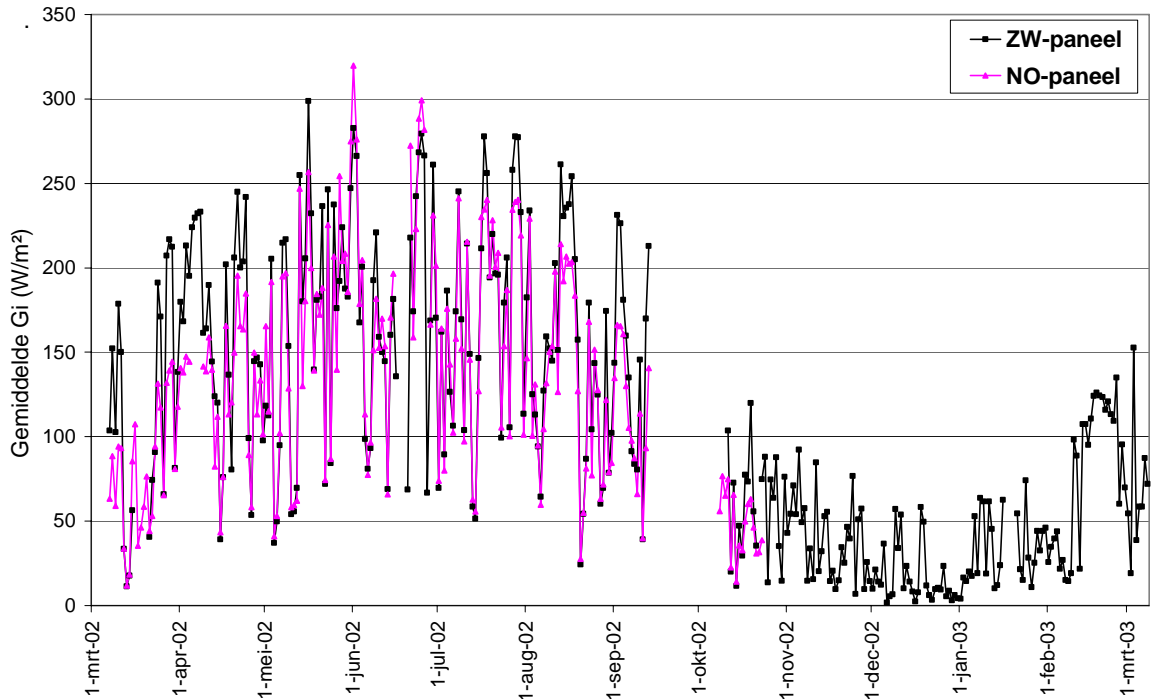
De waarde van het invallende vermogen gemeten door het systeem is erg afhankelijk van de temperatuur van de referentiezonnecel. Vermits de referentiezonnecel zo dicht mogelijk bij de zonnepanelen geïnstalleerd is, zal in de praktijk het temperatuursverschil tussen de referentiecels en de zonnecellen niet zo groot zijn.



*Figuur 4.3: Het gemiddelde invallende vermogen  $G_i$  van de zonnestraling van het ZW-paneel in  $W/m^2$  in functie van de dag van het jaar. De best passende sinus is ook op de grafiek getekend.*



*Figuur 4.4: Het gemiddelde invallende vermogen  $G_i$  van de zonnestraling van het NO-paneel in  $W/m^2$  in functie van de dag van het jaar*



*Figuur 4.5: Het gemiddelde invallende vermogen  $G_i$  van de zonnestraling van het ZW- en het NO-paneel in  $W/m^2$  in functie van de dag van het jaar*

We zoeken nu de best passende sinusfunctie met periode 1 jaar voor het gemiddelde invallende vermogen van het ZW-paneel. In onderstaande formule is  $n$  het nummer van de dag van het jaar (waarbij  $n$  is 1 voor 1 januari) en  $n_0$  het nummer van 21 maart (een equinox), zijnde  $n_0=80$ .

$$G_i = a \sin\left(2\pi \frac{n - n_0 + \varphi}{365}\right) + b \quad (\text{IV.1})$$

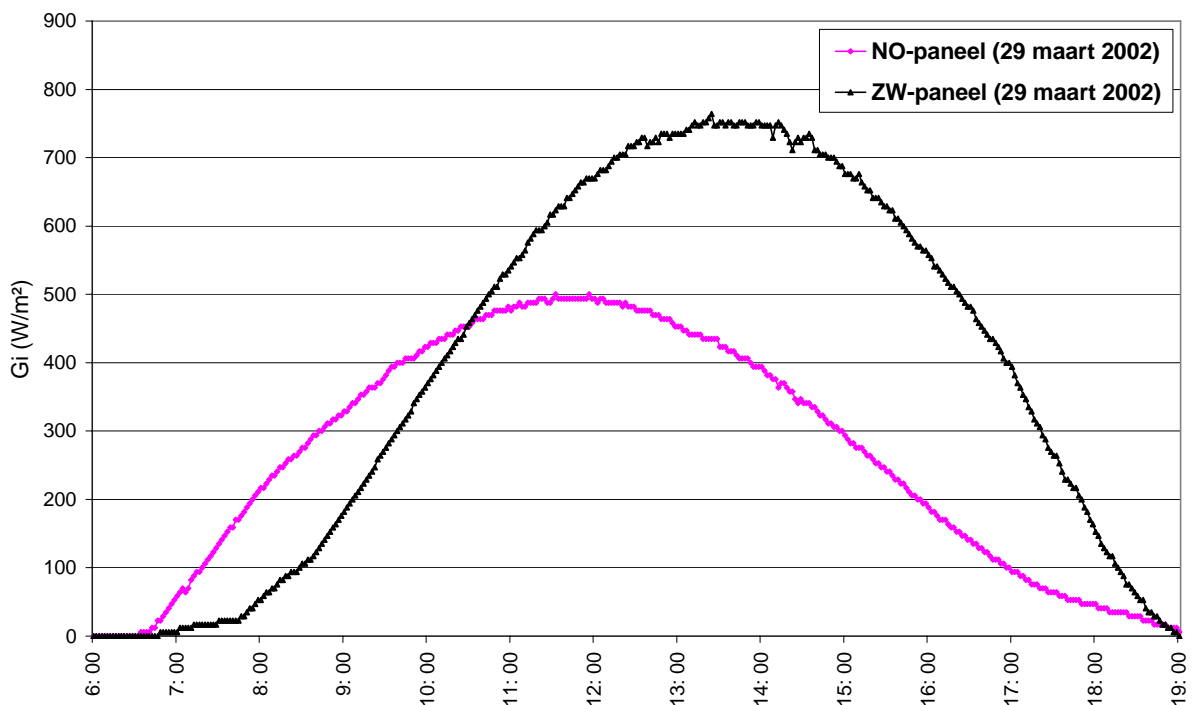
We vinden (met behulp van Microsoft Excel) voor de parameters (zie *figuur 4.3*):

- $a = 80 \text{ W/m}^2$
- $b = 105 \text{ W/m}^2$
- $\varphi = 2$

Hieruit volgt dat het gemiddeld jaarlijks invallende vermogen op het ZW-paneel ongeveer  $105 \text{ W/m}^2$  is. Dit komt overeen met de metingen die een gemiddeld jaarlijks invallend

vermogen van  $108 \text{ W/m}^2$  opleveren. De amplitude bedraagt  $80 \text{ W/m}^2$  en het faseverschil met de equinox 21 maart bedraagt slechts 2 dagen.

Vermits de zon opkomt in het oosten, en via het zuiden ondergaat in het westen, wordt het NO-gericht paneel 's morgens meer bestraald dan het ZW-paneel. Na de middag ontvangt het ZW-paneel meer invallend vermogen van de zonnestralen. Dit is duidelijk te zien in *figuur 4.6* waarop, voor een vrijwel wolkenloze dag, het invallende vermogen voor beide panelen is weergegeven in functie van de tijd. Vermits het ZW-paneel meer naar het zuiden gericht is, is ook het totale invallende vermogen op een dag en het maximale vermogen hoger dan voor het NO-paneel. Op 29 maart 2002 (de dag op *figuur 4.6*) valt er in totaal  $5,10 \text{ kWh per m}^2$  op het ZW-paneel, en  $3,47 \text{ kWh per m}^2$  op het NO-paneel.

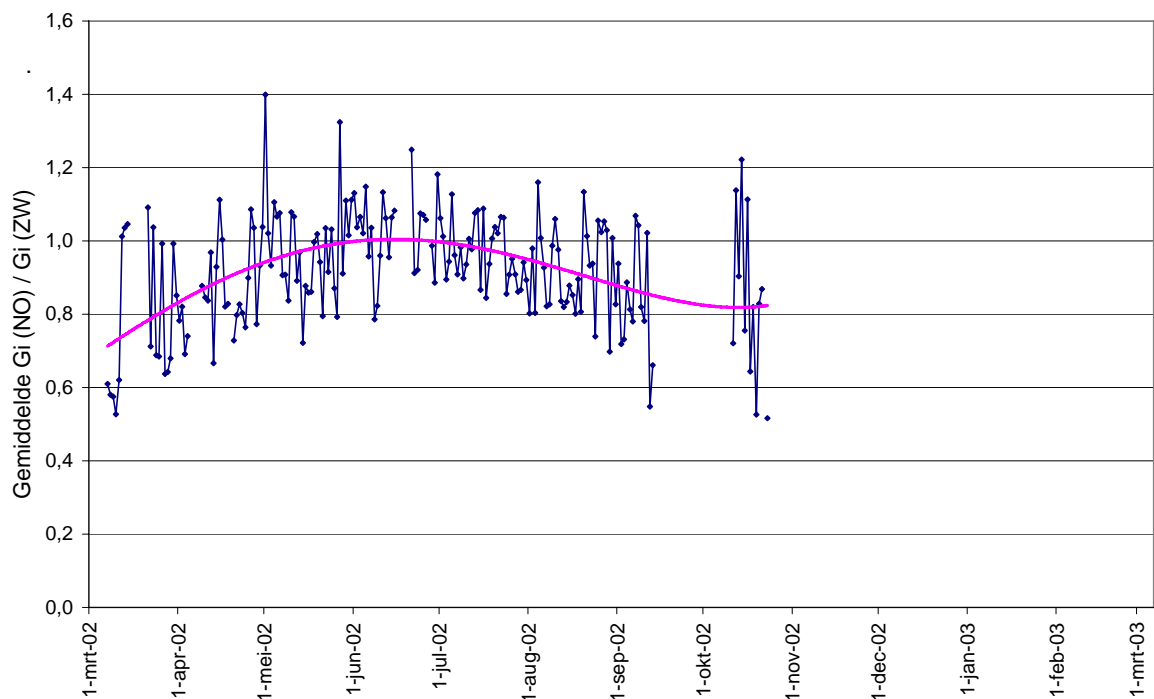


*Figuur 4.6: Het invallende vermogen van de zonnestraling in  $\text{W/m}^2$  van het NO- en het ZW-paneel op 29 maart 2002*

In *figuur 4.7* werd de verhouding van het gemiddelde invallende vermogen  $G_i$  van het NO-paneel tot het ZW-paneel in functie van de dag van het jaar uitgezet. Deze verhouding is meestal kleiner dan 1, vermits het ZW-paneel meer naar het zuiden gericht is en dus meer vermogen van de zon ontvangt. Als we door de verhoudingen de best passende

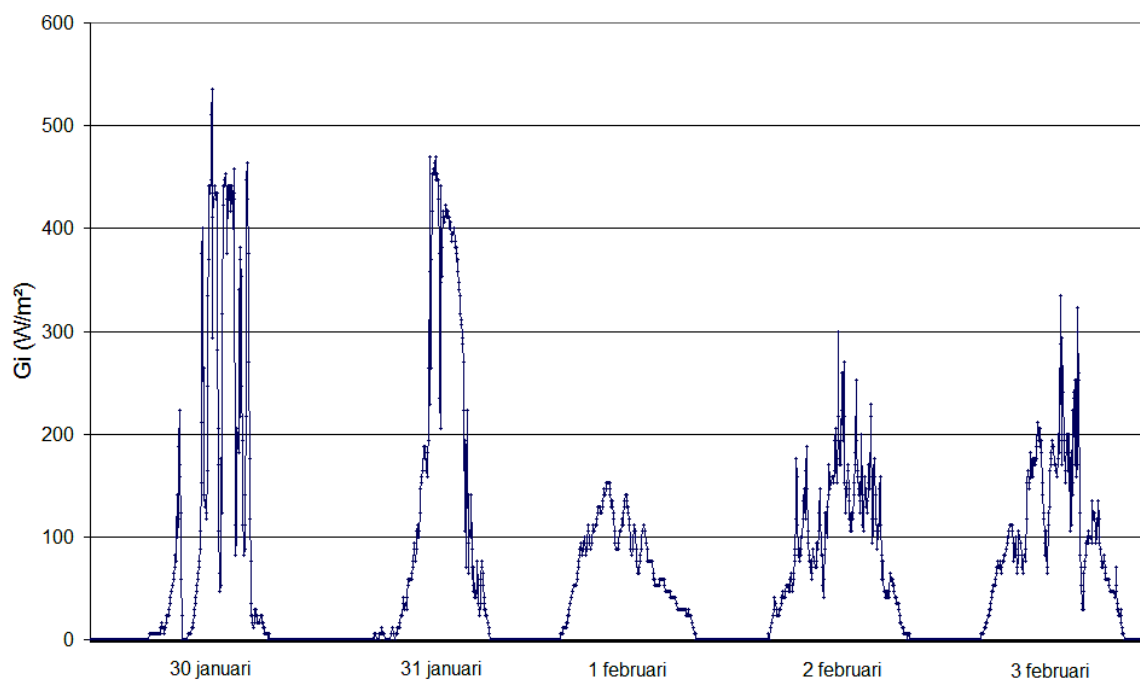
vierdegraadspolynoom tekenen, dan merken we dat het maximum van de verhoudingen in de buurt van het solstitium 21 juni ligt. Dit is logisch: op dat moment staat de zon namelijk hoog aan de hemel zodat ook het licht gehelde ( $17^\circ$ ) NO-paneel maximaal van de zon kan profiteren en bijna evenveel straling ontvangt als het ZW-paneel.

Het maximaal invallende vermogen dat geregistreerd werd bedraagt  $1111 \text{ W/m}^2$  (uitgemiddeld over een meetinterval van 2 minuten). Deze hoge waarde kwam een aantal keer voor, zowel voor het NO- als voor het ZW-paneel, telkens in de periode eind mei – midden juni 2002.



*Figuur 4.7: De verhouding van het gemiddelde invallende vermogen  $G_i$  van het NO-paneel tot het ZW-paneel in functie van de dag van het jaar.*

Zoals reeds vermeld valt er geen schaduw op de panelen (behalve eigenschaduw). Toch kan het zonlicht tegengehouden worden, nl. door een sneeuwlaag. Dit heeft uiteraard invloed op de zonnestraling die de panelen capteren en dus op de elektriciteitsproductie. In België is dit echter maar enkele dagen per jaar het geval.



*Figuur 4.8: Het invallende vermogen van 30 januari 2003 tot en met 3 februari 2003. In de nacht van 31 januari op 1 februari sneeuwde het, wat een daling van het invallende vermogen veroorzaakte*

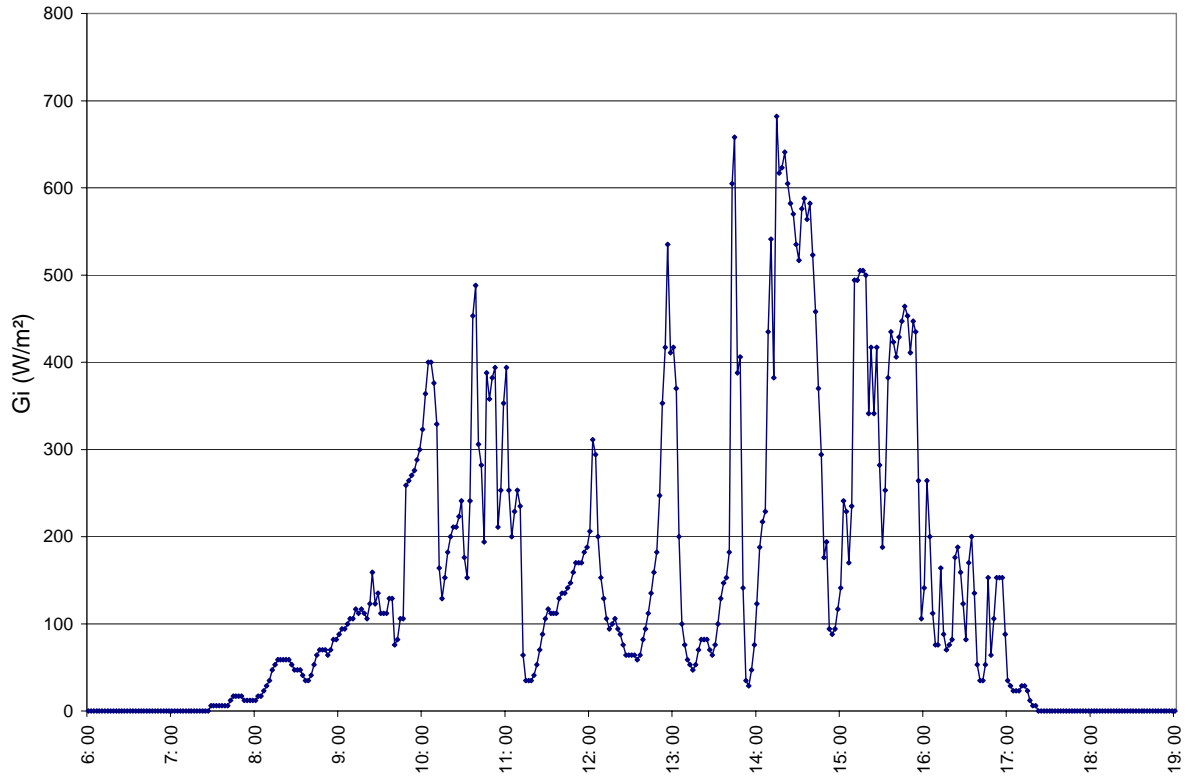
Deze situatie is duidelijk te zien op *figuur 4.8*. Daarin is het gemeten invallende vermogen  $G_i$  uitgezet voor 5 dagen: van 30 januari 2003 tot en met 3 februari 2003. Op 30 en 31 januari lag er nog geen sneeuw. In de nacht van 31 januari op 1 februari sneeuwde het hevig, wat duidelijk te merken is in de daling van de invallende zonnestraling de dagen erna.

#### **4.4 De gelijkstroom $I_{DC}$ en de gelijkspanning $V_{DC}$ .**

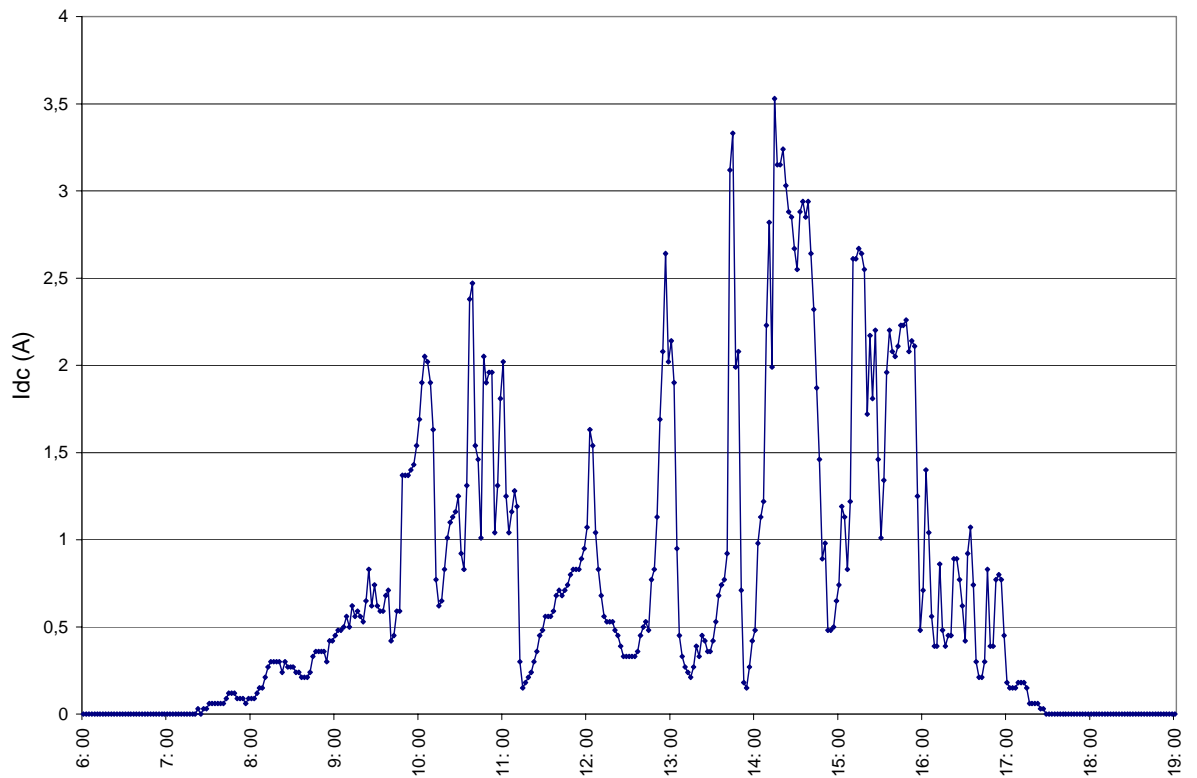
De gelijkstroom en de gelijkspanning van de zonnecellen worden door de datalogger gemeten met behulp van een shuntweerstand die in serie verbonden is met de zonnemodule.

De *figuren 4.9 tot 4.11* tonen het invallende vermogen  $G_i$ , de gelijkstroom  $I_{DC}$  en de gelijkspanning  $V_{DC}$  van het ZW-paneel voor 17 oktober 2002. Op de figuren is duidelijk de evenredigheid te zien tussen het invallende vermogen  $G_i$  van de zonnestrallen en de gelijkstroom  $I_{DC}$  van de zonnemodule. De gelijkspanning  $V_{DC}$  blijft gedurende de volledige dag vrijwel constant.

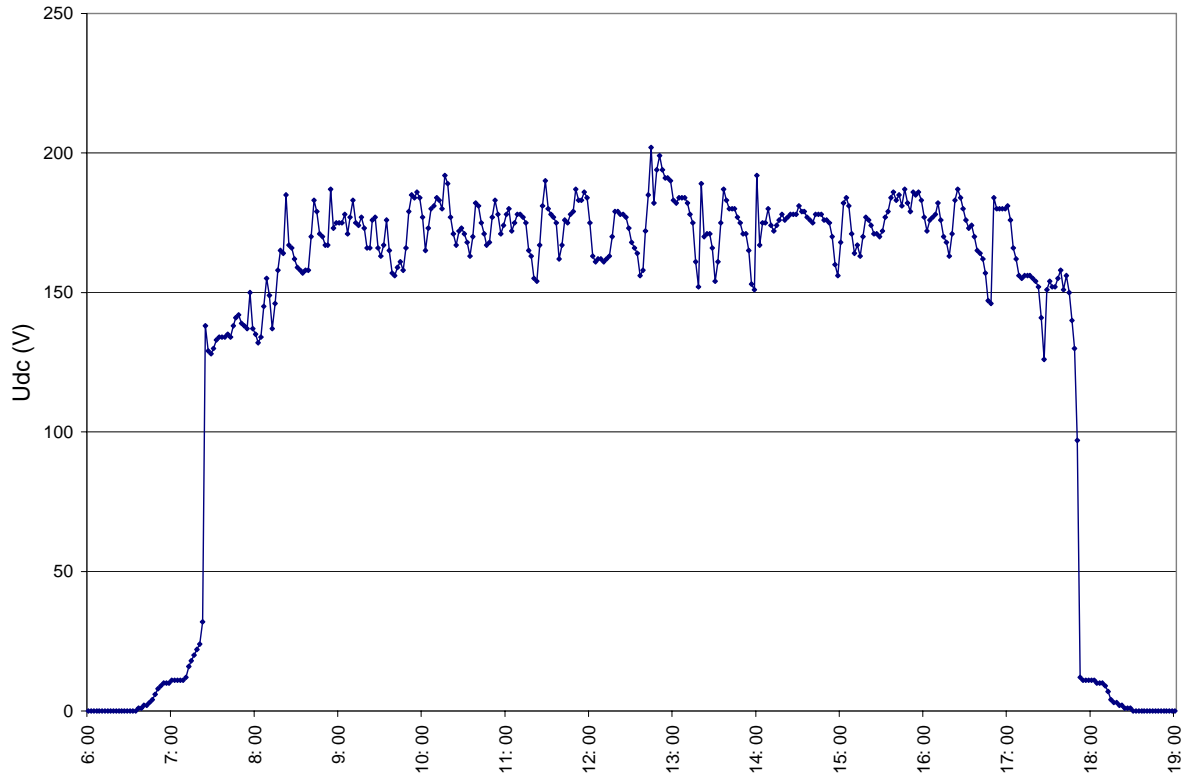




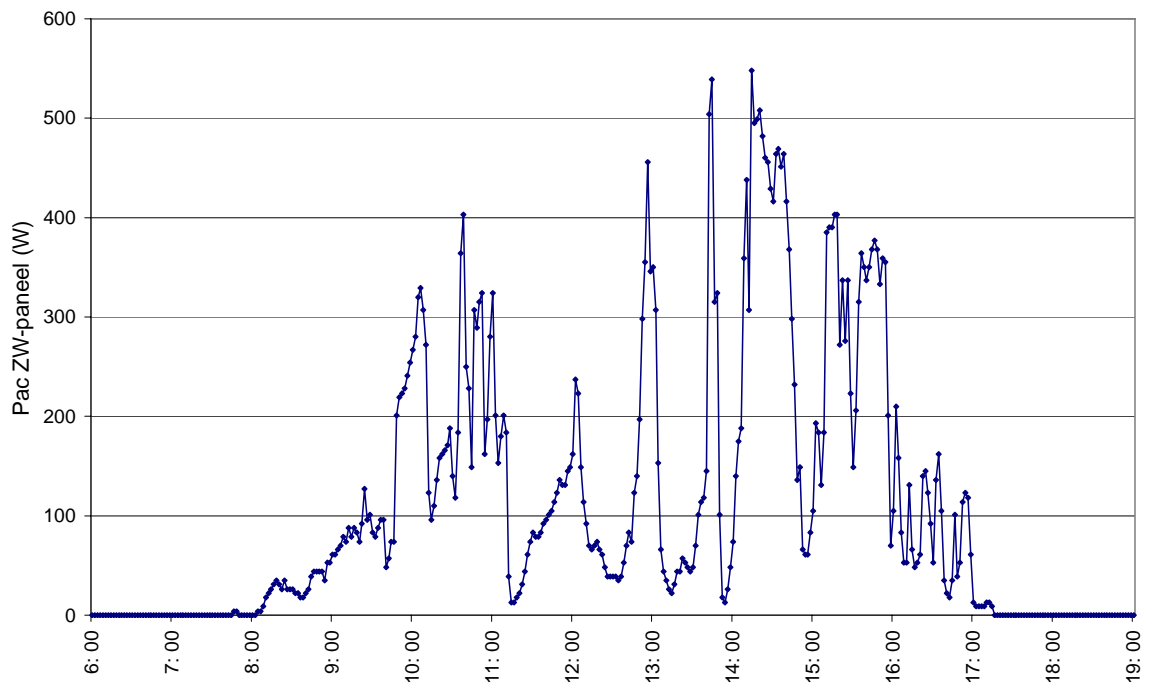
*Figuur 4.9: Het invallende vermogen van de zonnestraling in  $W/m^2$  van het ZW-paneel op 17 oktober 2002.*



*Figuur 4.10: De gelijkstroom in A opgewekt door het ZW-paneel op 17 oktober 2002.*



*Figuur 4.11: De gelijkspanning in V opgewekt door het ZW-paneel op 17 oktober 2002.*



*Figuur 4.12: Het uitgaande vermogen  $P_{ac}$  in W in functie van de tijd van het ZW-paneel op 17 oktober 2002.*

#### 4.5 Het uitgaande wisselstroomvermogen $P_{ac}$

Het uitgaande vermogen, geleverd na conversie van de gelijkstroom door de inverter, wordt rechtstreeks gemeten door de datalogger en wordt op het elektriciteitsnet gestoken. *Figuur 4.12* geeft, opnieuw voor 17 oktober 2002, het uitgaande vermogen van het ZW-paneel. Merk de gelijkenis met het invallende vermogen en de gelijkstroom op (zie *figuren 4.9* en *4.10*)

De *figuren 4.13 tot 4.15* tonen het gemiddelde uitgaande vermogen  $P_{ac}$  in W in functie van de dag van het jaar, zowel voor het ZW-paneel als voor het NO-paneel. De gemiddelden werden berekend door de sommatie van de waarden van het uitgaande vermogen gedeeld door het aantal waarden per 24 uur. Dit is dus niet het rekenkundige gemiddelde, maar geeft wel, net zoals bij het gemiddelde invallende vermogen, een representatiever beeld. De AC-energie op 1 dag op het elektrische net gestoken is dus deze gemiddelde  $P_{ac}$  vermenigvuldigd met 24h.

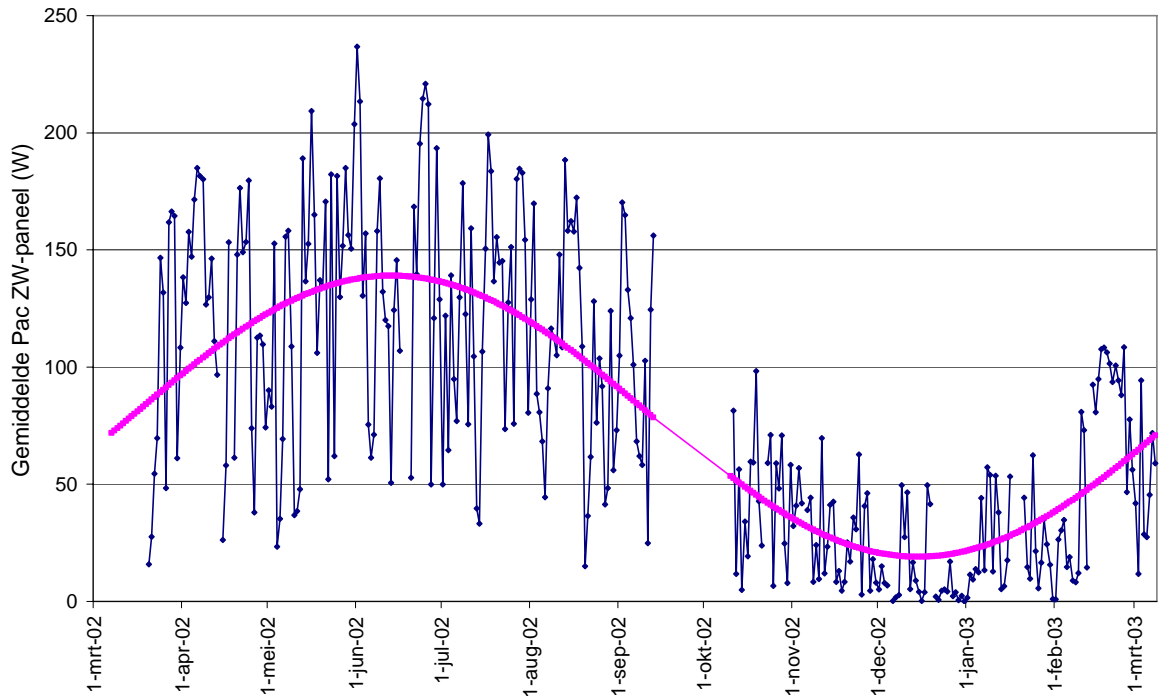
We zoeken nu de best passende sinusfunctie met periode 1 jaar voor het gemiddelde uitgaande vermogen van het ZW-paneel. In onderstaande formule is  $n$  het nummer van de dag van het jaar (waarbij  $n$  is 1 voor 1 januari) en  $n_0$  het nummer van 21 maart (een equinox), zijnde  $n_0=80$ .

$$P_{ac} = a \sin \left( 2\pi \frac{n - n_0 + \varphi}{365} \right) + b \quad (\text{IV.2})$$

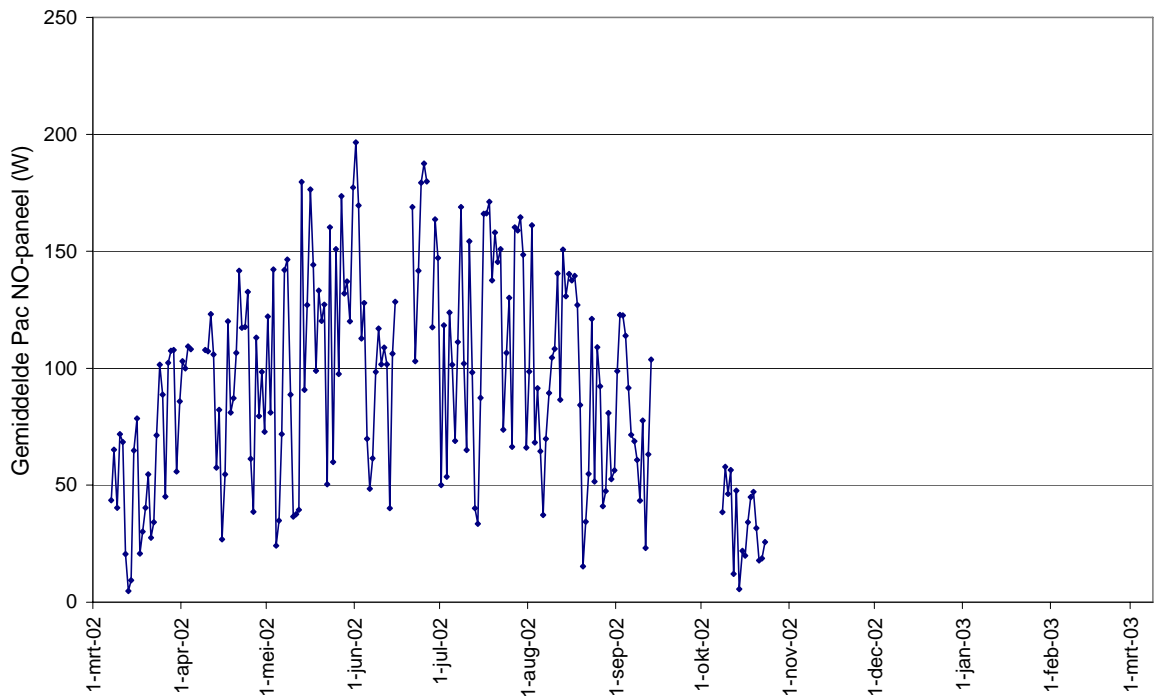
We vinden (met behulp van Microsoft Excel) voor de parameters (zie *figuur 4.13*):

- $a = 60 \text{ W}$
- $b = 79 \text{ W}$
- $\varphi = 7$

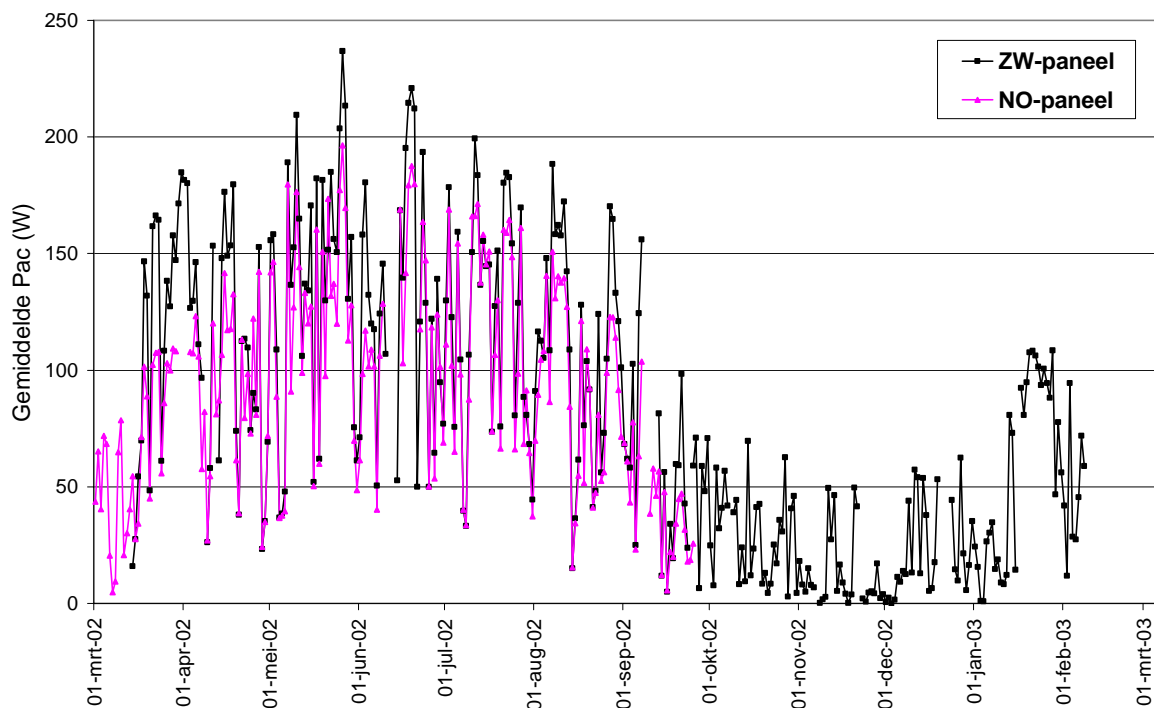
Hieruit volgt dat het gemiddeld jaarlijks uitgaande wisselstroomvermogen op het ZW-paneel ongeveer 79 W is. (Daarmee correspondeert een AC-energieproductie van 79 W. 24h = 1,9 kWh per dag.) Dit komt overeen met de metingen die een gemiddeld jaarlijks invallend vermogen van 81 W geven (zie *tabel 4.4*). De amplitude bedraagt 60 W en het faseverschil met de equinox 21 maart bedraagt slechts 1 week.



*Figuur 4.13: Het gemiddelde uitgaande vermogen  $P_{ac}$  van het ZW-paneel in W in functie van de dag van het jaar. De best passende sinus werd ook op de grafiek getekend.*



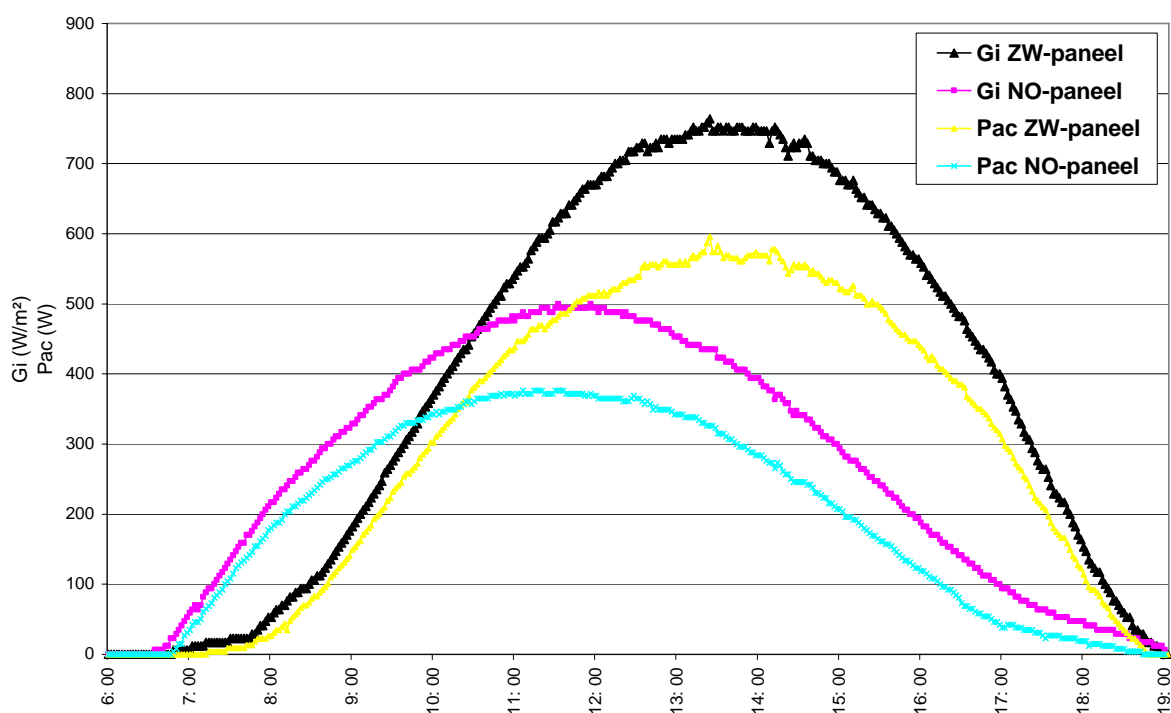
*Figuur 4.14: Het gemiddelde uitgaande vermogen  $P_{ac}$  van het NO-paneel in W in functie van de dag van het jaar.*



*Figuur 4.15: Het gemiddelde uitgaande vermogen  $P_{ac}$  van het ZW- en het NO-paneel in W in functie van de dag van het jaar.*

Het wisselstroomvermogen gegenereerd door het ZW-paneel is groter dan dat gegenereerd door het NO-paneel. Dit is uiteraard logisch, vermits het gemiddelde invallende vermogen op het ZW-paneel groter is dan dat op het NO-paneel. Dit is duidelijk te zien in *figuur 4.16* waarop, voor een vrijwel wolkenloze dag, het invallende vermogen en het uitgaande vermogen voor beide panelen zijn weergegeven in functie van de tijd. Op 29 maart 2002 (de dag op *figuur 4.16*) produceerde het ZW-paneel 3,95 kWh, terwijl het NO-paneel 2,59 kWh elektriciteit produceerde.

Het maximaal uitgaande wisselstroomvermogen dat geregistreerd werd (zie *tabel 4.4*), werd gegenereerd door het ZW-paneel op 11 juni 2002 om 12h10 (wintertijd) en bedraagt 797 W (uitgemiddeld over een meetinterval van 2 minuten). Het maximum uitgaande vermogen van het ganze systeem werd echter geleverd op het moment dat het NO-paneel het maximum vermogen genereerde, nl. 1422 W op 14 mei 2002 om 13h14. In de praktijk is dit maximum geen erg zinvolle parameter, vermits ze correspondeert met de meest gunstige situatie van een hoog invallend vermogen van de zon en een lage temperatuur van de zonnecel (hoe hoger de temperatuur van een zonnecel, hoe lager het rendement).

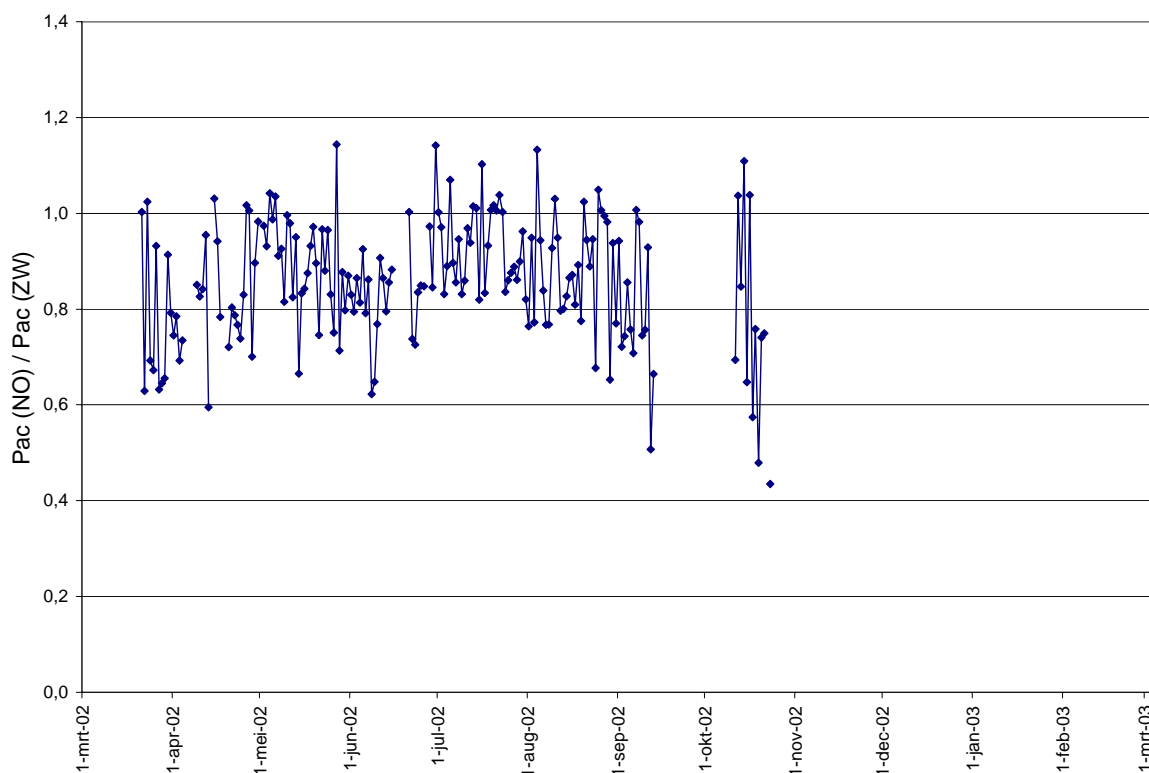


Figuur 4.16: Het invallende en uitgaande vermogen voor het ZW- en het NO-paneel op 29 maart 2002.

Het gemiddelde wisselstroomvermogen (over 24h) is hoger voor het NO-paneel dan voor het ZW-paneel vermits de data voor de winterperiode van het NO-paneel ontbreken. Mocht de winterperiode in rekening worden gebracht (zie §5.5), dan zou het ZW-paneel meer genereren vermits dat paneel meer naar het zuiden is gericht. Bij de berekening van het gemiddelde  $P_{ac}$ , werden de dagen dat er geen uitgaand vermogen geregistreerd werd (zie §4.9) buiten beschouwing gelaten.

	NO-paneel	ZW-paneel	Totale systeem
Maximum $P_{ac}$	695 W (14 mei 2002, 13h14)	797 W (11 juni 2002, 12h10)	1422 W (14 mei 2002, 13h14)
Gemiddelde $P_{ac}$ (over 24h)	92,5 W (gemiddelde over 197 dagen)	81,5 W (gemiddelde over 313 dagen)	85,7 W (gemiddelde over 313 dagen)

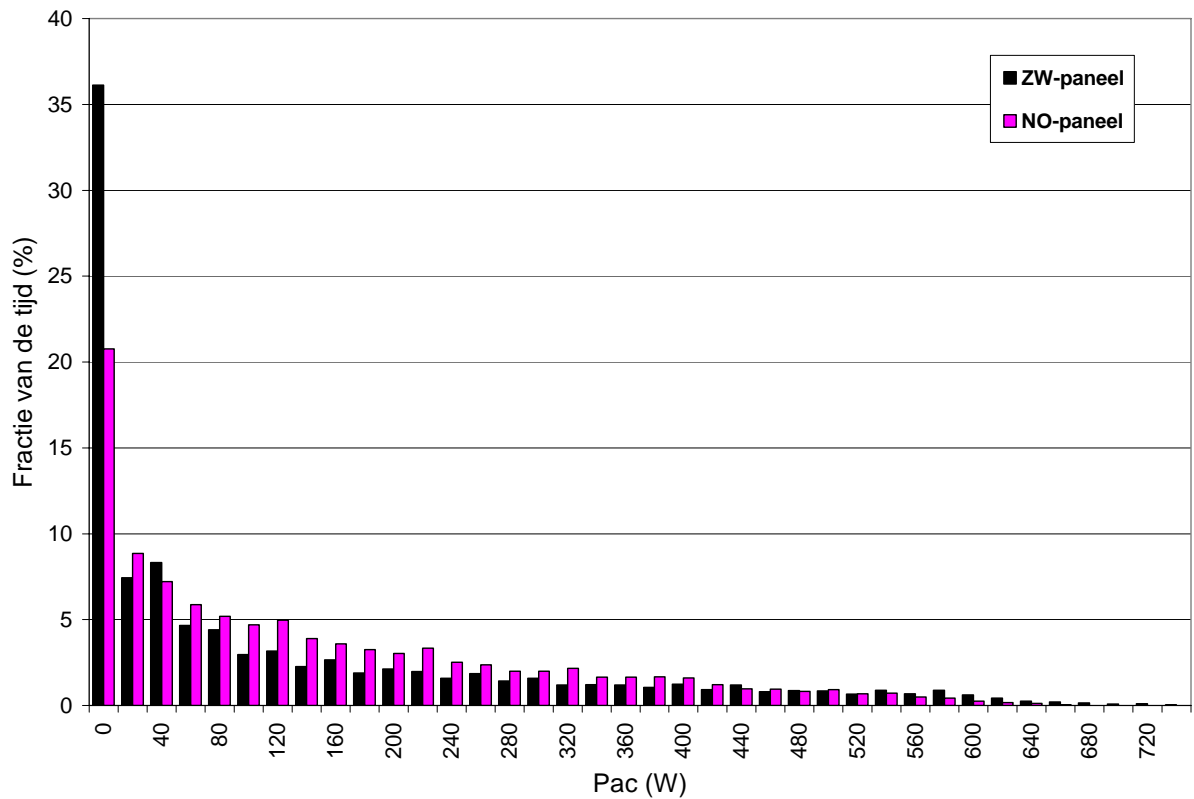
Tabel 4.4: Statistische gegevens over het uitgaande vermogen  $P_{ac}$ .



*Figuur 4.17: De verhouding van het uitgaande vermogen  $P_{ac}$  van het NO-paneel tot het ZW-paneel in  $W/m^2$  in functie van de dag van het jaar.*

In *figuur 4.17* werd de verhouding van het gemiddelde uitgaande vermogen  $P_{ac}$  van het NO-paneel tot het ZW-paneel in functie van de dag van het jaar uitgezet. Net als voor  $G_i$  is uiteraard ook deze verhouding meestal kleiner dan 1. Uitzonderlijk is ze groter dan 1, nl. indien de voormiddag zonnig is en de namiddag bewolkt.

In *figuur 4.18* is het histogram getekend van  $P_{ac}$  voor beide panelen in functie van de fractie van de tijd. We merken dat het ZW-paneel gedurende meer dan 35 % van de totale meetperiode geen stroom produceerde. De dagen dat de datalogger geen vermogen registreerde (zie §4.9), werden ook in rekening gebracht. Voor het NO-paneel bedraagt dit maar iets meer 20 %, wat aanzienlijk lager is dan de 35% van het ZW-paneel. Dit komt omdat de meetgegevens van de wintermaanden voor het NO-paneel ontbreken. We merken ook dat het ZW-paneel hogere waarden voor het uitgaande vermogen produceert dan het NO-paneel.



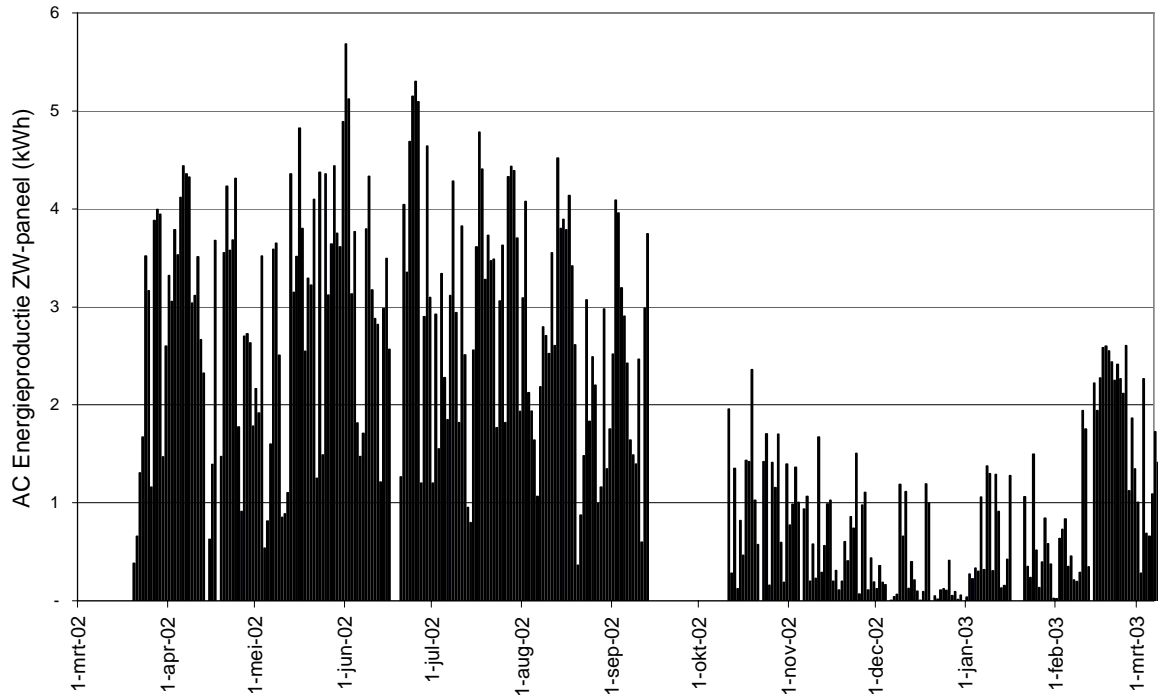
*Figuur 4.18: Het uitgaande vermogen  $P_{ac}$  voor het ZW- en NO-paneel in functie van de fractie van de tijd.*

## 4.6 De AC-energieproductie

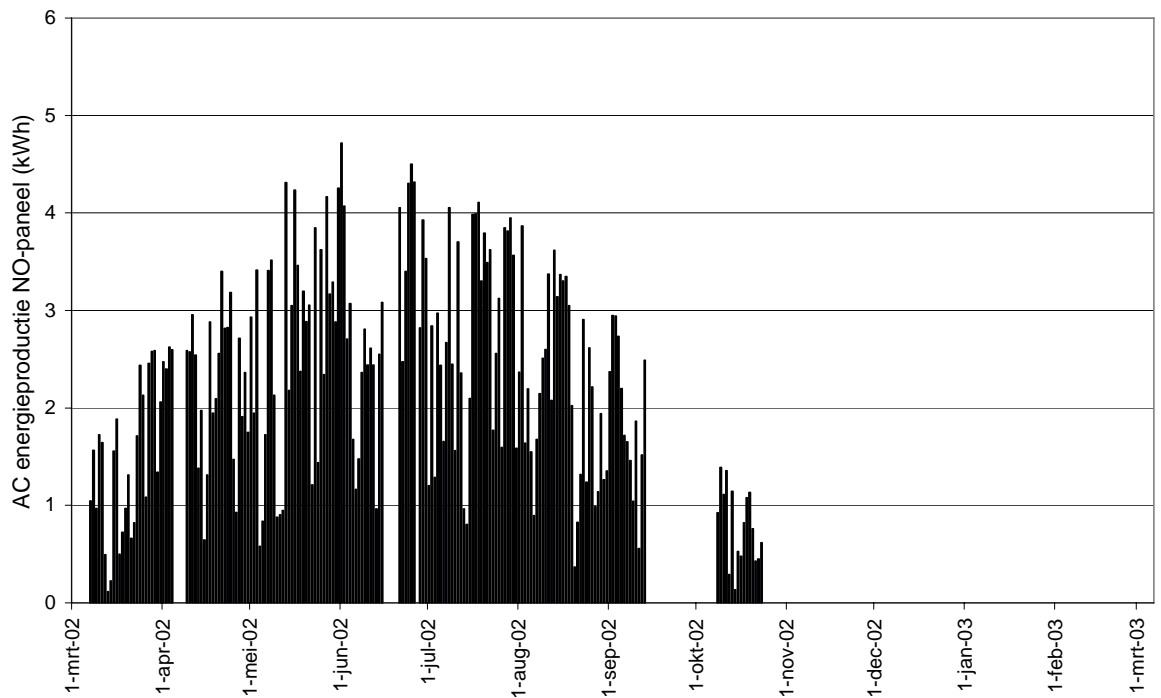
De dagelijkse AC-energieproductie van de panelen op het dak van de koestal te Melle werden berekend op basis van de meetgegevens van het uitgaande wisselstroomvermogen  $P_{ac}$ . *Figuur 4.19 en 4.20* tonen respectievelijk de dagelijkse AC-energieproductie in kWh die door het ZW-paneel en door het NO-paneel op het elektriciteitsnet gestoken werd. *Figuur 4.21* toont de som voor beide panelen van de AC-energieproductie. Uiteraard is de energieproductie in de zomer hoger dan in de winter.

In *tabel 4.5* vindt u enkele statistische gegevens over de energieproductie.

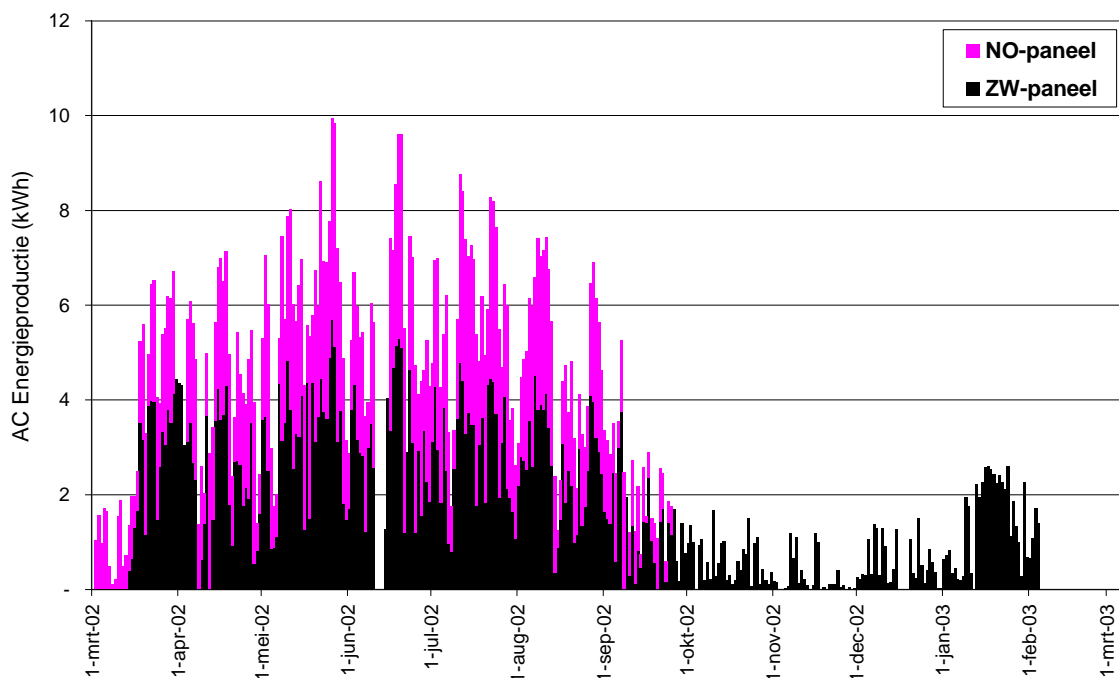




*Figuur 4.19: De AC-energieproductie van het ZW-paneel in kWh in functie van de dag van het jaar.*



*Figuur 4.20: De AC-energieproductie van het NO-paneel in kWh in functie van de dag van het jaar.*



*Figuur 4.21: De AC-energieproductie van het ZW- en het NO-paneel samen in kWh in functie van de dag van het jaar.*

De maximale energieproductie op 1 dag werd bereikt op 1 juni 2002, zowel voor het NO- als voor het ZW-paneel. Op deze meest productieve ('zonnigste') dag bedroeg de totale energieproductie 10,25 kWh (waarvan 4,72 kWh geproduceerd werd door het NO-paneel en 5,68 kWh door het ZW-paneel).

De gemiddelde AC-energieproductie (over 24h) is groter voor het NO-paneel (2,22 kWh) dan voor het ZW-paneel (1,97 kWh) vermits de data voor de winterperiode van het NO-paneel ontbreken. Mocht de winterperiode in rekening worden gebracht (zie §5.5), dan zou het ZW-paneel meer genereren vermits dat paneel meer naar het zuiden is gericht.

Ook de totale energieproductie die gemeten werd door de dataloggers is weergegeven in *tabel 4.5*. Bij de berekening van de fractie van de totale AC-energieproductie voor het NO- en ZW-paneel werd er rekening gehouden met het aantal dagen dat er gemeten werd.

	<b>NO-paneel</b>	<b>ZW-paneel</b>	<b>Totaal systeem</b>
Maximum AC-energieproductie	4,72 kWh (1 juni 2002)	5,68 kWh (1 juni 2002)	10,25 kWh (1 juni 2002)
Dagelijks gemiddelde AC-energieproductie	2,22 kWh (gemiddelde over 197 dagen)	1,97 kWh (gemiddelde over 315 dagen)	2,07 kWh (gemiddelde over 315 dagen)
Totale AC-energieproductie	437,3 kWh (197 dagen)	610,3 kWh (315 dagen)	1047,6 kWh
Fractie van de totale AC-energieproductie	46,6 %	53,4 %	100,0 %

*Tabel 4.5: Statistische gegevens over de AC-energieproductie*

## 4.7 Rendementen

Eén van de belangrijkste parameters die de zonnecentrale beschrijft, is het rendement. We kunnen voor elke omzetting een rendement definiëren:

- $\eta_{DC}$ : het rendement van de zonnecellen. Deze factor geeft aan met welk rendement het invallende vermogen van de zonnestraling wordt omgezet naar gelijkstroom.
- $\eta_{inv}$ : het rendement van de inverter. Deze factor geeft aan met welk rendement de gelijkstroom in de inverter wordt omgezet naar wisselstroom.
- $\eta_{sys}$ : het rendement van het totale systeem of de systeemefficiëntie. Deze factor geeft aan met welk rendement het invallende vermogen van de zonnestraling wordt omgezet naar wisselstroom die op het elektrisch net gestoken wordt.

Het rendement van de zonnecellen  $\eta_{DC}$  wordt gegeven door:

$$\eta_{DC} = \frac{P_{DC}}{P_{in}} = \frac{I_{DC} \cdot V_{DC}}{G_{in} \cdot S} \quad (IV.3)$$

waarin:

- $P_{DC}$  : het gelijkstroomvermogen in W  
 $P_{in}$  : het invallende vermogen van de zonnestraling in W  
 $I_{DC}$  : de gelijkstroom in A geleverd door de zonnemodule  
 $V_{DC}$  : de gelijkspanning in V van de zonnemodule  
 $G_{in}$  : het invallende vermogen van de zonnestraling in W/m<sup>2</sup>  
 $S$  : de oppervlakte in m<sup>2</sup> van één zonnemodule, zijnde 8,05 m<sup>2</sup>

Volgens de producent bedraagt het rendement van de zonnecellen 11 % onder normale omstandigheden. Voor de lenteperiode werd door Rzewuski [6] een rendement van 10,4 % voor het NO-paneel en 10,8 % voor het ZW-paneel gemeten. Voor onze jaarperiode echter bedraagt het rendement  $\eta_{DC}$  slechts 10,0 %, zowel voor de NO-module als voor de ZW-module (zie *tabel 4.6*). Uiteraard zijn deze waarden gemiddelden van alle beschikbare metingen. Het rendement  $\eta_{DC}$  voor beide modules samen bedraagt dan uiteraard ook 10 %.

Het rendement van de inverter  $\eta_{inv}$  geeft aan met welk rendement de gelijkstroom in de inverter wordt omgezet naar wisselstroom en is dus karakteristiek voor de inverter, en niet voor de zonnecellen. Dit rendement wordt gegeven door:

$$\eta_{inv} = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} = \frac{P_{AC}}{I_{DC} \cdot V_{DC}} \quad (\text{IV.4})$$

waarin:

- $P_{AC}$  : het wisselstroomvermogen in W, geleverd aan het elektrisch net  
 $P_{DC}$  : het gelijkstroomvermogen in W, geleverd door de zonnemodule  
 $I_{DC}$  : de gelijkstroom in A geleverd door de zonnemodule  
 $V_{DC}$  : de gelijkspanning in V van de zonnemodule

De gemiddelde waarde voor het inverterrendement  $\eta_{inv}$  bedraagt 85,9 % voor de inverter die de gelijkstroom van het NO-paneel omzet, en 88,9 % voor de inverter van het ZW-paneel (zie *tabel 4.6*). De reden waarom beide invertoren, die van hetzelfde type zijn, een verschillend inverterrendement hebben, is o.a. te wijten aan het feit dat het rendement sterk afhankelijk is van het gelijkstroomvermogen  $P_{DC}$ . Hoe hoger dat vermogen, hoe beter het rendement. Vermits de ZW-module meer naar het zuiden gericht is dan de NO-module zal

het gelijkstroomvermogen  $P_{DC}$  hoger zijn dan voor de NO-module, zodat ook het inverterrendement  $\eta_{inv}$  van het ZW-paneel hoger zal liggen. Het inverterrendement  $\eta_{inv}$  voor beide panelen samen bedraagt 87,6 %. Om dezelfde reden verwondert het ons niet dat beide cijfers lager zijn dan die van Rzewuski [6]: 90,3 % en 89,4 %.

	<b>NO-paneel</b>	<b>ZW-paneel</b>	<b>Totaal systeem</b>
$\eta_{DC}$	10,0 %	10,0 %	10,0 %
$\eta_{inv}$	85,9 %	88,9 %	87,6 %
$\eta_{sys}$	8,6 %	8,9 %	8,8 %

*Tabel 4.6: Overzicht van de verschillende rendementen voor het NO- en het ZW-paneel, en voor beide panelen samen.*

Uiteindelijk is er ook nog het rendement  $\eta_{sys}$  van het totale systeem of de systeemefficiëntie. Deze factor geeft aan met welk rendement het invallende vermogen van de zonnestraling wordt omgezet naar wisselstroom die op het elektrisch net gestoken wordt. Het is m.a.w. de verhouding van de nuttig geleverde energie van het fotovoltaïsch systeem ten opzichte van de invallende zonne-energie op het celoppervlak van de module. Dit rendement wordt gegeven door het product van het rendement van de zonnepanelen  $\eta_{DC}$  en het inverterrendement  $\eta_{inv}$  :

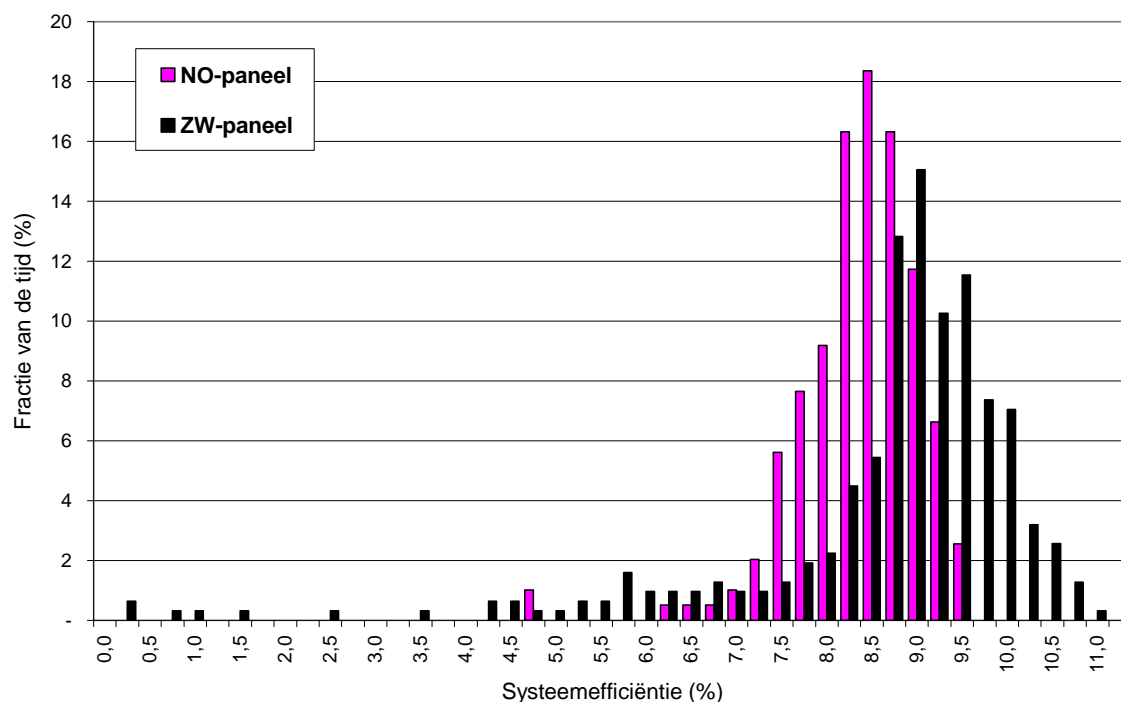
$$\eta_{sys} = \eta_{DC} \cdot \eta_{inv} = \frac{P_{AC}}{P_{in}} = \frac{P_{AC}}{G_{in} \cdot S} \quad (IV.5)$$

Het rendement  $\eta_{sys}$  van het totale systeem bedraagt 8,6 % voor de NO-module, en 8,9 % voor het ZW-paneel (zie *tabel 4.6*). Het rendement  $\eta_{sys}$  van beide panelen samen bedraagt 8,8 %.

Een overzicht van de verschillende rendementen voor beide panelen wordt gegeven in *tabel 4.6*.

Voor elke dag dat er data beschikbaar waren, werd de systeemefficiëntie berekend. Zetten we nu in een histogram de fractie van de tijd uit dat het fotovoltaïsche systeem een bepaalde systeemefficiëntie heeft, dan krijgen we *figuur 4.22*.

In *tabel 4.7* wordt de fractie van de tijd gegeven dat de systeemefficiëntie hoger of gelijk is dan een bepaald rendement voor het NO- en het ZW-paneel.



*Figuur 4.22: Histogram van de systeemefficiëntie in functie van de fractie van de tijd voor het NO- en het ZW-paneel.*

Uit het histogram en *tabel 4.7* blijkt dat gedurende 37 % van de tijd het NO-paneel een rendement hoger dan 9% heeft. Voor het ZW-paneel bedraagt dit 72 %. Gedurende 89 % van de tijd heeft het NO-paneel een rendement hoger dan 8%. Voor het ZW-paneel is dit iets minder, nl. 86 %.

De NO-gerichte module kent meestal (gedurende 52 % van de tijd) een rendement tussen 8 en 9 %. De ZW-gerichte module kent meestal (gedurende 50 % van de tijd) een rendement tussen 9 en 10 %.

<b>Fractie van de tijd dat de systeemefficiëntie hoger of gelijk is aan:</b>	<b>NO-paneel</b>	<b>ZW-paneel</b>
5 %	100 %	97 %
6 %	99 %	95 %
7 %	98 %	90 %
8 %	89 %	86 %
9 %	37 %	72 %
10%	0 %	22 %
11%	0 %	2 %

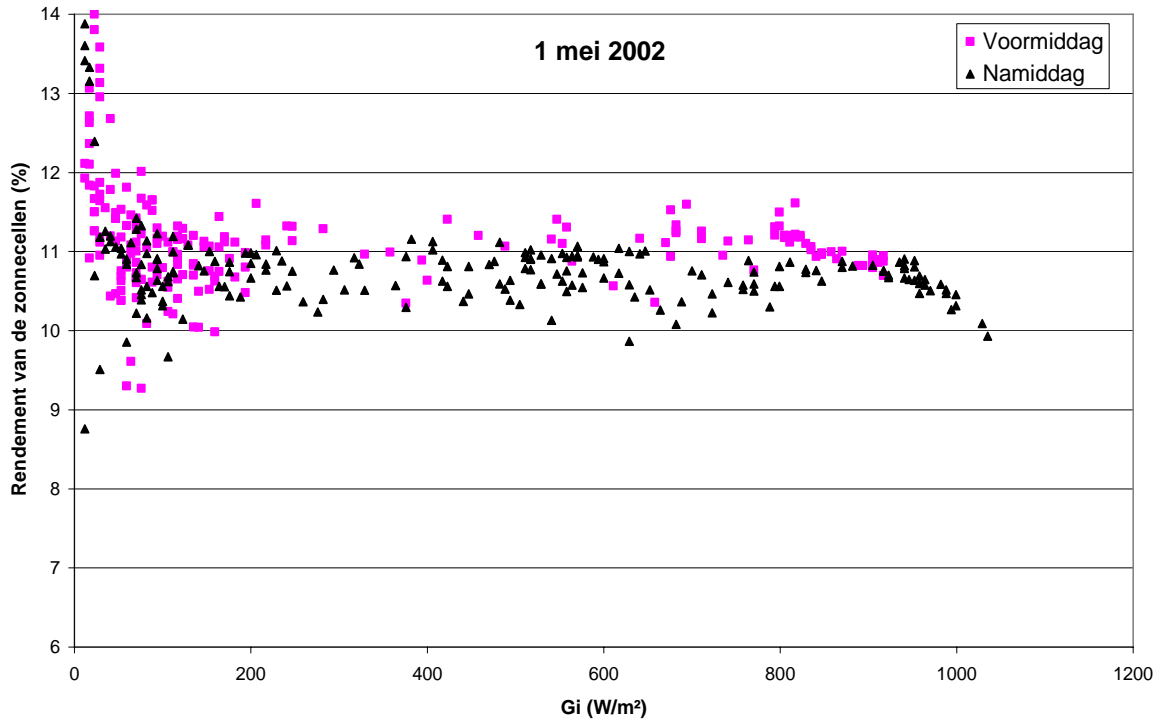
*Tabel 4.7: Fractie van de tijd dat de systeemefficiëntie hoger of gelijk is dan een bepaald rendement voor het NO- en het ZW-paneel.*

Zetten we voor 6 dagen, verspreid over het jaar, op elk gemeten tijdstip het rendement van de zonnecellen  $\eta_{DC}$  voor het ZW-paneel uit in functie van het invallende vermogen  $G_i$  van de zonnestraling, dan krijgen we *figuren 4.23 tot 4.28*. Op de figuren werd een onderscheid gemaakt tussen de waarden in de voormiddag en de namiddag.

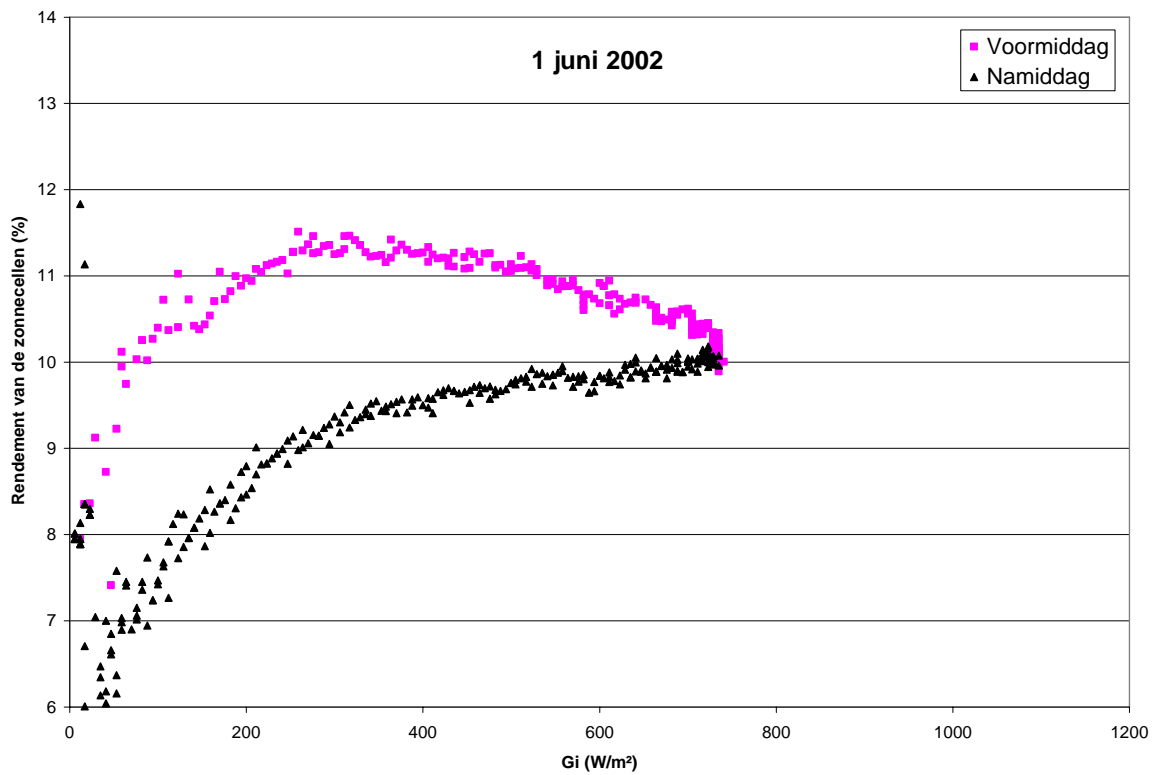
Tijdens de wintermaanden (november-april) is het rendement zeer stabiel, zowel op korte termijn (uur van de dag) als op lange termijn (dag van de kalender); het rendement bevindt zich dan dicht bij het nominale rendement:

$$\eta_{nom} = \frac{82,8 \text{ Wp}}{1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 0,735 \text{ m}^2} = 11,3 \% \quad (\text{IV.6})$$

In de zomer echter is het rendement lager en vertoont grote veranderingen gedurende de dag.

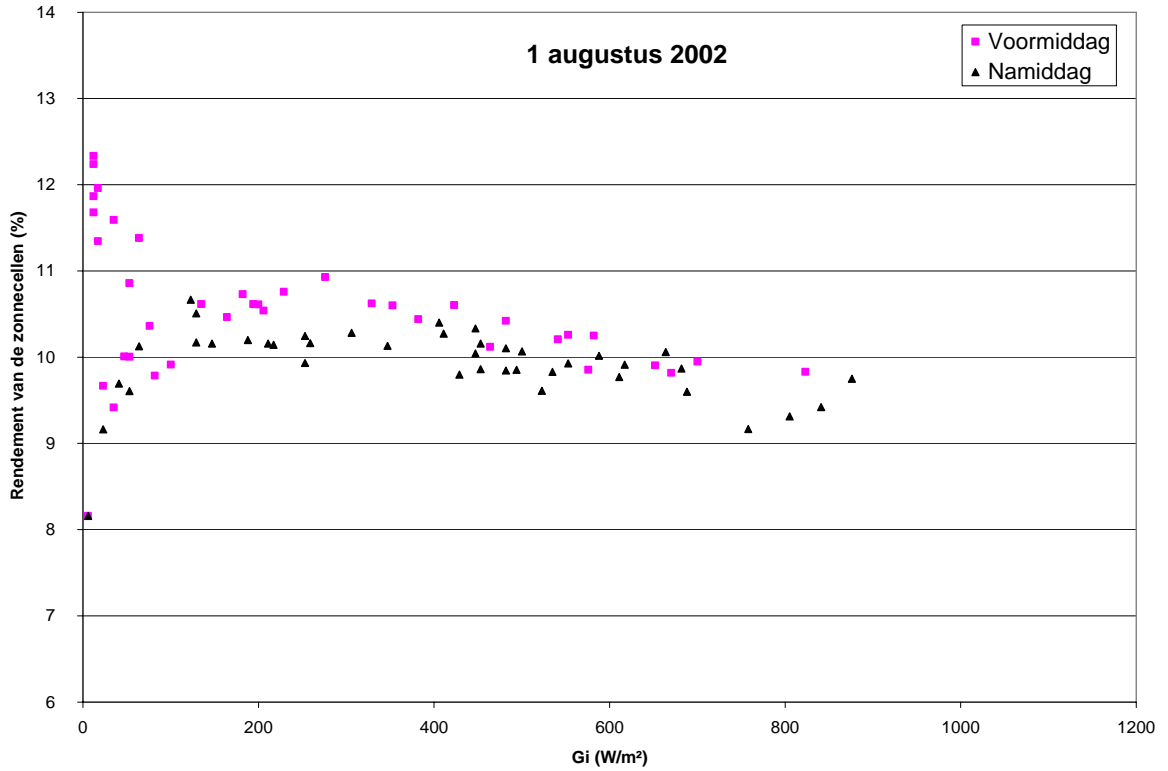


Figuur 4.23: Rendement van de zonnecellen  $\eta_{DC}$  van het ZW-paneel in functie van het invallende vermogen van de zonnestraling voor elk gemeten tijdstip op 1 mei 2002.

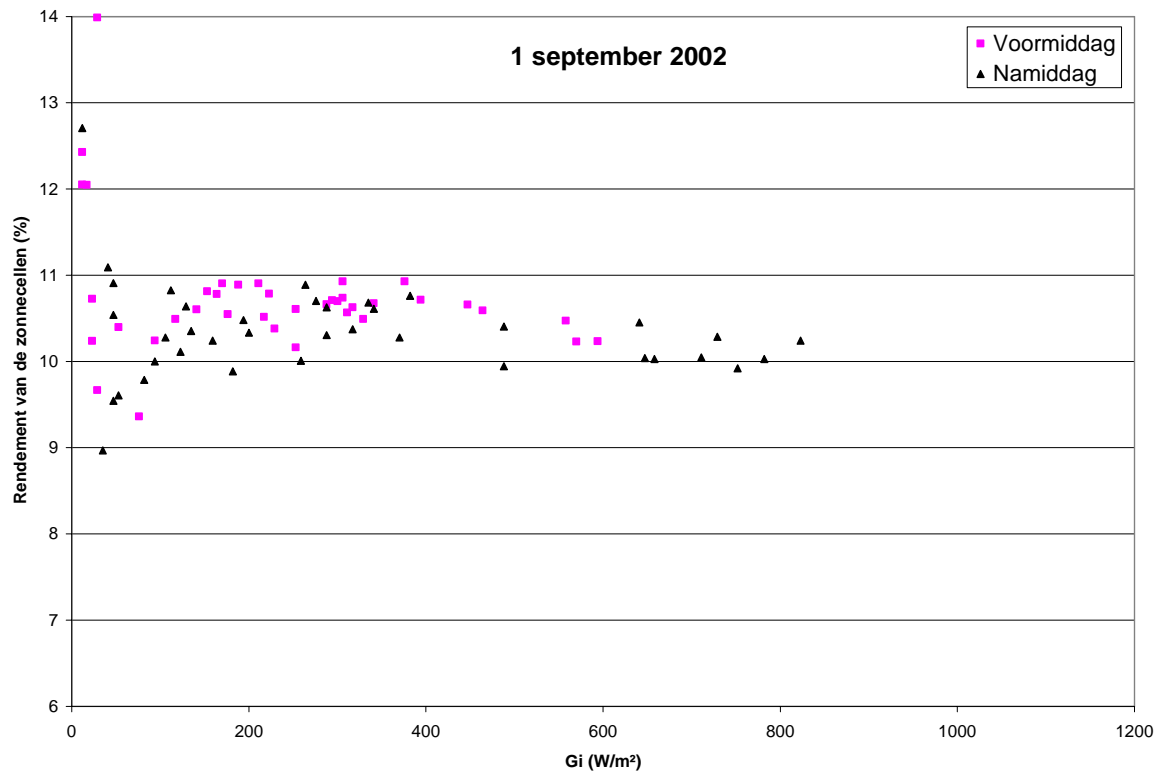


Figuur 4.24: Rendement van de zonnecellen  $\eta_{DC}$  van het ZW-paneel in functie van het invallende vermogen van de zonnestraling voor elk gemeten tijdstip op 1 juni 2002.

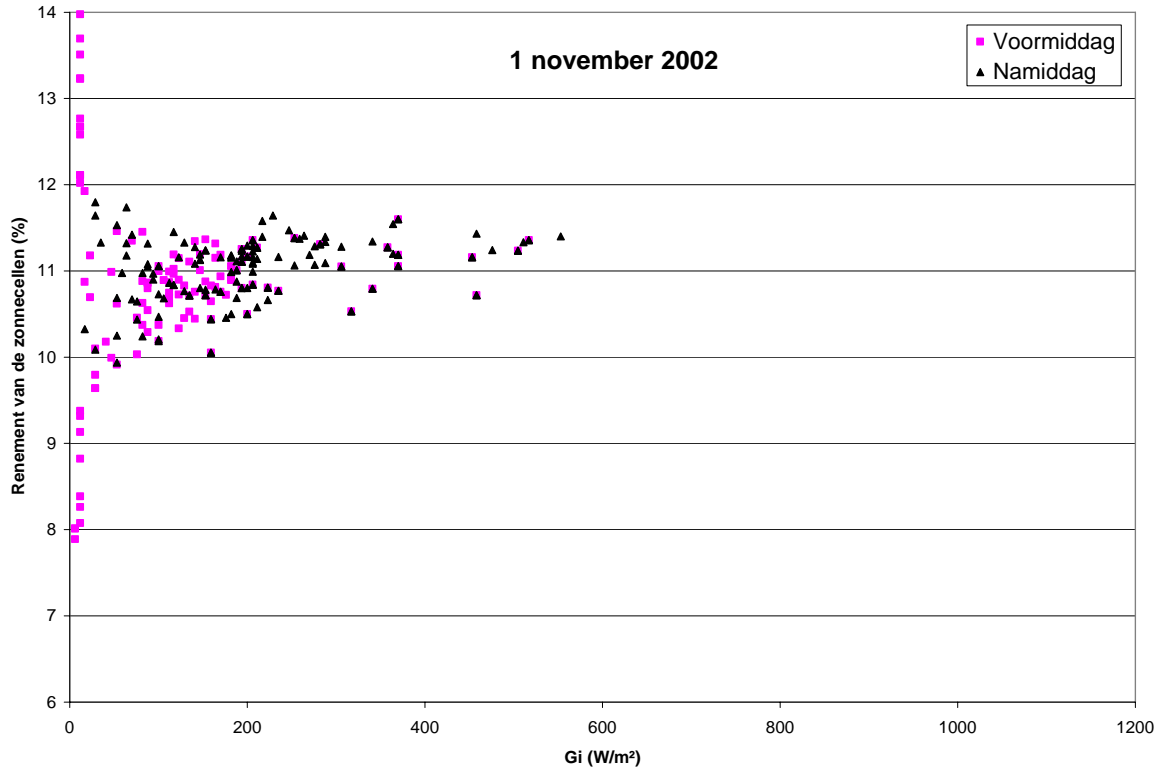




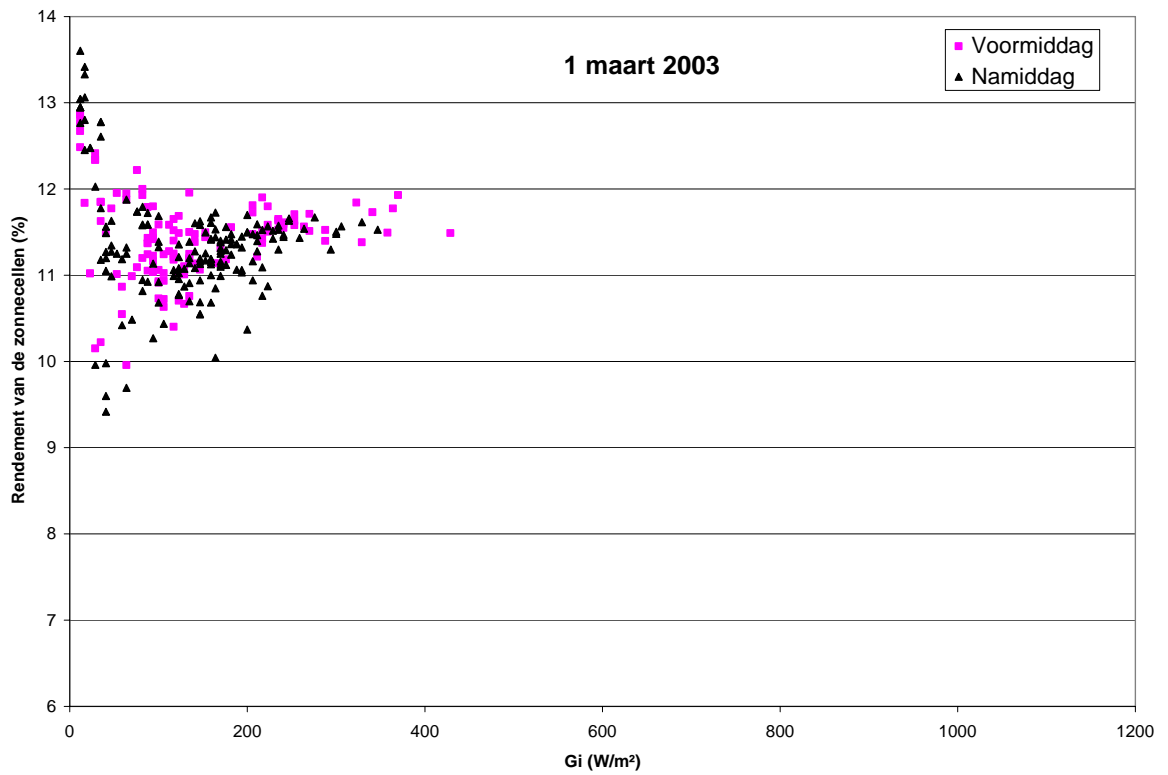
Figuur 4.25: Rendement van de zonnecellen  $\eta_{DC}$  van het ZW-paneel in functie van het invallende vermogen van de zonnestraling voor elk gemeten tijdstip op 1 augustus 2002.



Figuur 4.26: Rendement van de zonnecellen  $\eta_{DC}$  van het ZW-paneel in functie van het invallende vermogen van de zonnestraling voor elk gemeten tijdstip op 1 september 2002.



*Figuur 4.27: Rendement van de zonnecellen  $\eta_{DC}$  van het ZW-paneel in functie van het invallende vermogen van de zonnestraling voor elk gemeten tijdstip op 1 november 2002.*



*Figuur 4.28: Rendement van de zonnecellen  $\eta_{DC}$  van het ZW-paneel in functie van het invallende vermogen van de zonnestraling voor elk gemeten tijdstip op 1 maart 2003.*

Op *figuur 4.24* (1 juni 2002) is duidelijk een hysteresis te merken. In de voormiddag, wanneer de temperatuur van de zonnecellen nog niet zo hoog is, is het rendement van de zonnecellen  $\eta_{DC}$  hoog. Wanneer de dag vordert, worden de zonnecellen door de zonnestraling opgewarmd, en vermindert het rendement van de zonnecellen (hoe hoger de temperatuur van zonnecellen, hoe lager het rendement van zonnecellen). Op de andere dagen is die hysteresis minder duidelijk aanwezig, maar geldt dezelfde vaststelling, nl. dat het rendement van de zonnecellen daalt bij stijgende temperatuur. Zetten we het gemiddelde zonnecelrendement in de voormiddag en in de namiddag uit in functie van respectievelijk de gemiddelde en de maximale temperatuur op deze dagen, dan merken we (zie *tabel 4.8* en *figuur 4.29*) een correlatie tussen het rendement en de temperatuur (alleen waarnemingen met  $G_i > 60 \text{ W/m}^2$  zijn weerhouden; de temperatuursgegevens zijn gebaseerd op de meetgegevens van het Koninklijk Meteorologisch Instituut van België). De temperatuurscoëfficiënt in de voormiddag bedraagt ongeveer  $-0,05 \text{ \% / } ^\circ\text{C}$ . In de namiddag is de temperatuurscoëfficiënt circa  $-0,10 \text{ \% / } ^\circ\text{C}$ .

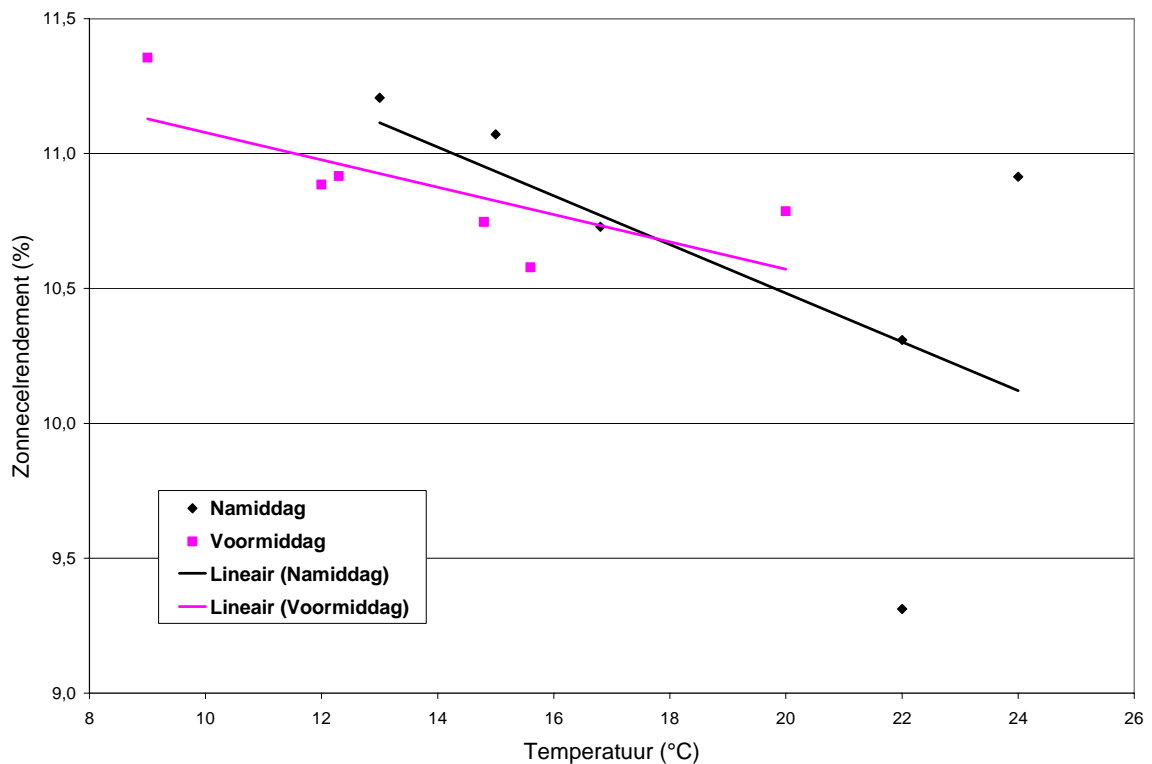
Datum	Minimale temperatuur	Gemiddelde temperatuur	Maximale temperatuur	$\eta_{DC}$ voormiddag	$\eta_{DC}$ namiddag
1 mei 2002	7,8 °C	12,3 °C	16,8 °C	10,9 %	10,7 %
1 juni 2002	7,6 °C	14,8 °C	22,0 °C	10,8 %	9,3 %
1 aug. 2002	16,0 °C	20,0 °C	24,0 °C	10,8 %	10,9 %
1 sept. 2002	9,2 °C	15,6 °C	22,0 °C	10,6 %	10,3 %
1 nov. 2002	9,0 °C	12,0 °C	15,0 °C	10,9 %	11,1 %
1 mrt. 2003	-1,2 °C	9,0 °C	13,0 °C	11,4 %	11,2 %

*Tabel 4.8: Gemiddelde zonnecelrendement en minimale, gemiddelde en maximale temperatuur voor de 6 bestudeerde dagen.*

Alleen voor 1 juni 2002 merken we een afwijking. De verklaring daarvoor is dat op 1 juli er veel rechtstreekse zonnestraling op de panelen inviel ( $300 \text{ W/m}^2$ ), terwijl op de andere dagen de diffuse straling een veel groter aandeel in beslag neemt (zie *tabel 4.9*; de gegevens uit de tabel zijn gebaseerd op de metingen van het Koninklijk Meteorologisch Instituut van België.)

Datum	Gemiddelde invallende totale zonnestraling (W/m <sup>2</sup> )	Gemiddelde invallende rechtstreekse zonnestraling (W/m <sup>2</sup> )	Gemiddelde invallende diffuse zonnestraling (W/m <sup>2</sup> )	Fractie rechtstreekse straling t.o.v. totale straling
1 mei 2002	217	114	103	52 %
1 juni 2002	345	300	45	87 %
1 aug. 2002	185	61	124	33 %
1 sept. 2002	132	34	98	26 %
1 nov. 2002	26	3	23	12 %
1 mrt. 2003	93	36	57	39 %

Tabel 4.9: Gemiddelde invallende totale, rechtstreekse en diffuse straling voor de 6 bestudeerde dagen.



Figuur 4.29: Rendement van de zonnecellen  $\eta_{DC}$  in de voormiddag en de namiddag respectievelijk in functie van de gemiddelde en de maximale temperatuur. Ook de lineaire benaderingen werden op de grafiek getekend.

## 4.8 De performantie-indices

Om de performantie van verschillende fotovoltaïsche systemen met elkaar te vergelijken, is het nodig om genormaliseerde performantie-indices in te voeren. [2] [8]

- Yr: de referentieopbrengst

De referentieopbrengst is de gemiddeld per dag ingestraalde energie (in kWh/m<sup>2</sup>) gedeeld door de referentiewaarde van 1 kW/m<sup>2</sup>. Deze parameter geeft weer hoeveel uur referentiezonnestraling van 1kW/m<sup>2</sup> er gemiddeld per dag nodig is om evenveel invallende energie voort te brengen. De eenheid van de referentieopbrengst Yr is dus h/dag.

De referentieopbrengsten voor beide panelen afzonderlijk en samen werden berekend via:

$$Y_r = \frac{E_{gin_{totaal}}}{G_{STC} \cdot N_{E_{gin}}} \quad (IV.7)$$

met:

$E_{gin_{totaal}}$  : de totale invallende energie in kWh/m<sup>2</sup>

$G_{STC}$  : de standaard testvoorwaarde of referentiewaarde = 1kW/m<sup>2</sup>

$N_{E_{gin}}$  : het aantal dagen

Voor beide zonnemodules op de proefhoeve worden de gegevens weergegeven in *tabel 4.10*. Voor het totale systeem (beide panelen samen) moet uitgegaan worden van de gemiddelde totale invallende energie en het gemiddelde aantal dagen dat er beschikbare metingen zijn.

	<b>NO-paneel</b>	<b>ZW-paneel</b>	<b>Totaal systeem</b>
$E_{gin_{totaal}}$	632,6 kWh/m <sup>2</sup>	850,2 kWh/m <sup>2</sup>	741,4 kWh/m <sup>2</sup>
$N_{E_{gin}}$	197 dagen	327 dagen	262 dagen
Yr	3,21 h/dag	2,60 h/dag	2,83 h/dag

*Tabel 4.10: Gegevens betreffende de referentieopbrengst voor het NO- en het ZW-paneel en voor beide panelen samen.*

- $Y_a$ : de moduleopbrengst

De moduleopbrengst is de gemiddeld per dag geproduceerde DC-energie gedeeld door het onder standaard testomstandigheden opgemeten piekvermogen van de modules. Het is dus de DC-energie per kilowattpiek van het geïnstalleerde vermogen. Het is ook het aantal uur referentiezonnestraling van  $1 \text{ kW/m}^2$  die er gemiddeld per dag nodig is om evenveel DC-energie te genereren. De eenheid van de moduleopbrengst  $Y_a$  is dus, net als de referentieopbrengt  $Y_r$ , h/dag.

De moduleopbrengst werd berekend via:

$$Y_a = \frac{E_{DC \text{ totaal}}}{P_{\max} \cdot N_{DC \text{ totaal}}} \quad (\text{IV.8})$$

met:

$E_{DC \text{ totaal}}$  : de totale DC-energieproductie in kWh

$P_{\max}$  : het onder standaard testomstandigheden (bij  $1 \text{ kW/m}^2$  ; A.M.1,5 ;  $T=25^\circ\text{C}$ ) opgemeten piekvermogen van de modules =  $82,8 \text{ W} \cdot 11 = 911 \text{ W} = 0,911 \text{ kW}$

$N_{DC \text{ totaal}}$  : het aantal dagen

De gegevens zijn weergegeven in *tabel 4.11*. Voor het totale systeem (beide panelen samen) is  $P_{\max} = 82,8 \text{ W} \cdot 11 \cdot 2 = 1,822 \text{ kW}$  vermits er in dit geval dubbel zoveel panelen zijn. Het aantal dagen moet in dit geval gelijk gesteld worden aan het gemiddeld aantal dagen dat er beschikbare metingen zijn voor het NO- en het ZW-paneel.

	<b>NO-paneel</b>	<b>ZW-paneel</b>	<b>Totaal systeem</b>
$E_{DC \text{ totaal}}$	508,9 kWh	686,6 kWh	1195,5 kWh
$N_{DC \text{ totaal}}$	197 dagen	315 dagen	256 dagen
$Y_a$	2,84 h/dag	2,39 h/dag	2,56 h/dag

*Tabel 4.11: Gegevens betreffende de moduleopbrengst voor het NO- en het ZW-paneel en voor beide panelen samen.*

- $Y_f$ : de finale opbrengst

De finale opbrengst is de gemiddeld per dag geproduceerde AC-energie gedeeld door het onder standaard testomstandigheden opgemeten piekvermogen van de modules. Het is dus de AC-energie per kilowattpiek van het geïnstalleerde vermogen. Het is ook het gemiddeld aantal vollasturen van het systeem per dag. Ook de finale opbrengst wordt uitgedrukt in h/dag.

De finale opbrengst van de zonnecentrale op de proefhoeve werd berekend via:

$$Y_f = \frac{E_{AC\ totaal}}{P_{\max} \cdot N_{AC\ totaal}} \quad (IV.9)$$

met:

$E_{AC\ totaal}$  : de totale AC-energieproductie in kWh

$P_{\max}$  : het onder standaard testomstandigheden (bij 1 kW/m<sup>2</sup> ; A.M.1,5 ; T=25°C) opgemeten piekvermogen van de modules = 82,8 W . 11 = 911 W = 0,911 kW

$N_{AC\ totaal}$  : het aantal dagen

De gegevens zijn weergegeven in *tabel 4.12*. Ook hier geldt dat voor het totale systeem (beide panelen samen)  $P_{\max} = 82,8\text{ W} \cdot 11 = 1,822\text{ kW}$ . Het aantal dagen moet opnieuw gelijk gesteld worden aan het gemiddeld aantal dagen dat er beschikbare metingen zijn voor het NO- en het ZW-paneel.

	<b>NO-paneel</b>	<b>ZW-paneel</b>	<b>Totaal systeem</b>
$E_{AC\ totaal}$	437,3 kWh	610,3 kWh	1047,6 kWh
$N_{DC\ totaal}$	197 dagen	315 dagen	256 dagen
$Y_f$	2,44 h/dag	2,13 h/dag	2,25 h/dag

*Tabel 4.12: Gegevens betreffende de finale opbrengst voor het NO- en het ZW-paneel en voor beide panelen samen.*

- PR: de performantieverhouding

De performantieverhouding geeft de verhouding weer van de finale opbrengst  $Y_f$  en de referentieopbrengst  $Y_r$ . Dit is de verhouding tussen de gebruikte energie en de energie die door een verliesvrij, ideaal fotovoltaïsch systeem bij een celtemperatuur van 25 °C zou geleverd worden bij de gegeven zonne-instraling. Anders geformuleerd, PR is de verhouding tussen de gerealiseerde opbrengst en de verwachte opbrengst zonder systeemverliezen.

De PR is een factor die alle verliezen in rekening brengt zoals de verliezen te wijten aan een variërende temperatuur van de modules, de verliezen te wijten aan de rendementsdaling van de modules bij geringe instraling, kabelverliezen, verliezen door het rendement van de inverter, verliezen te wijten aan uitval van het systeem (bv. door onderhoud), verliezen omdat de belasting niet altijd optimaal is, enz... De performantieverhouding is dus een dimensieloze parameter, gegeven door:

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \quad (\text{IV.10})$$

De performantieverhoudingen voor beide panelen afzonderlijk en samen zijn weergegeven in hetvolgende overzicht: *tabel 4.13*.

	<b>NO-paneel</b>	<b>ZW-paneel</b>	<b>Totaal systeem</b>
Yr	3,21 h/dag	2,60 h/dag	2,83 h/dag
Ya	2,84 h/dag	2,39 h/dag	2,56 h/dag
Yf	2,44 h/dag	2,13 h/dag	2,25 h/dag
PR	0,76	0,82	0,80

*Tabel 4.13: Overzicht van de performantie-indices voor het NO- en het ZW-paneel en voor beide panelen samen.*

Het Internationaal Energie Genootschap [8] publiceerde in 2000 zijn bevindingen over 170 netgekoppelde fotovoltaïsche systemen verdeeld over gans de wereld. Daarin waren enkele conclusies over de PR van deze zonnecentrales te vinden: de PR varieert tussen ruime grenzen, van 0,25 tot 0,9 met een gemiddelde waarde van 0,66 voor deze 170 systemen.



Een goed onderhouden zonnecentrale had een gemiddelde performantieverhouding PR van 0,72.

Hieruit kunnen we besluiten dat, zowel voor NO- als voor de ZW-module, het fotovoltaïsch systeem op de proefhoeve te Melle goed functioneert (zie ook *hdst.* 8)

De maandelijkse waarden van de performantie-indices worden verder besproken in §8.2.

Verder kunnen, op basis van de opbrengsten, nog de volgende verliesgrootheden gedefinieerd worden: [2]

- Lc: het veldverlies

In het veldverlies zitten volgende verliesfactoren vervat:

- het thermisch verlies omdat de celtemperatuur hoger dan 25 °C is
- het bekabelingsverlies, het diodeverlies, verliezen ten gevolgen van lage instraling
- fouten in de maximale-vermogen-punt-opvolging
- spectrale verschillen

Het veldverlies wordt gedefinieerd als:

$$L_c = Y_r - Y_a \quad (\text{IV.11})$$

De veldverliezen zijn weergegeven in *tabel 4.14*.

- Ls: het systeemverlies

In het systeemverlies zitten typisch de conversieverliezen (bijvoorbeeld in de inverter) en de eventuele stockageverliezen vervat.

Het systeemverlies wordt gedefinieerd als:

$$L_s = Y_a - Y_f \quad (\text{IV.12})$$

De systeemverliezen zijn weergegeven in *tabel 4.14*.

We merken dat de verliezen groter zijn voor het NO-paneel dan voor het ZW-paneel. Dit wisten we al: de systeemefficiëntie van het NO-paneel bedroeg 8,6 % terwijl dat van het ZW-paneel 8,9 % bedroeg (zie *tabel 4.5*).

	<b>NO-paneel</b>	<b>ZW-paneel</b>	<b>Totaal systeem</b>
Lc	0,37	0,21	0,27
Ls	0,40	0,26	0,31

*Tabel 4.14: De veld- en systeemverliezen in h/dag voor het NO- en het ZW-paneel en voor beide panelen samen.*

#### **4.9 Problemen met de metingen**

Problemen met de software werden reeds beschreven in §3.3.

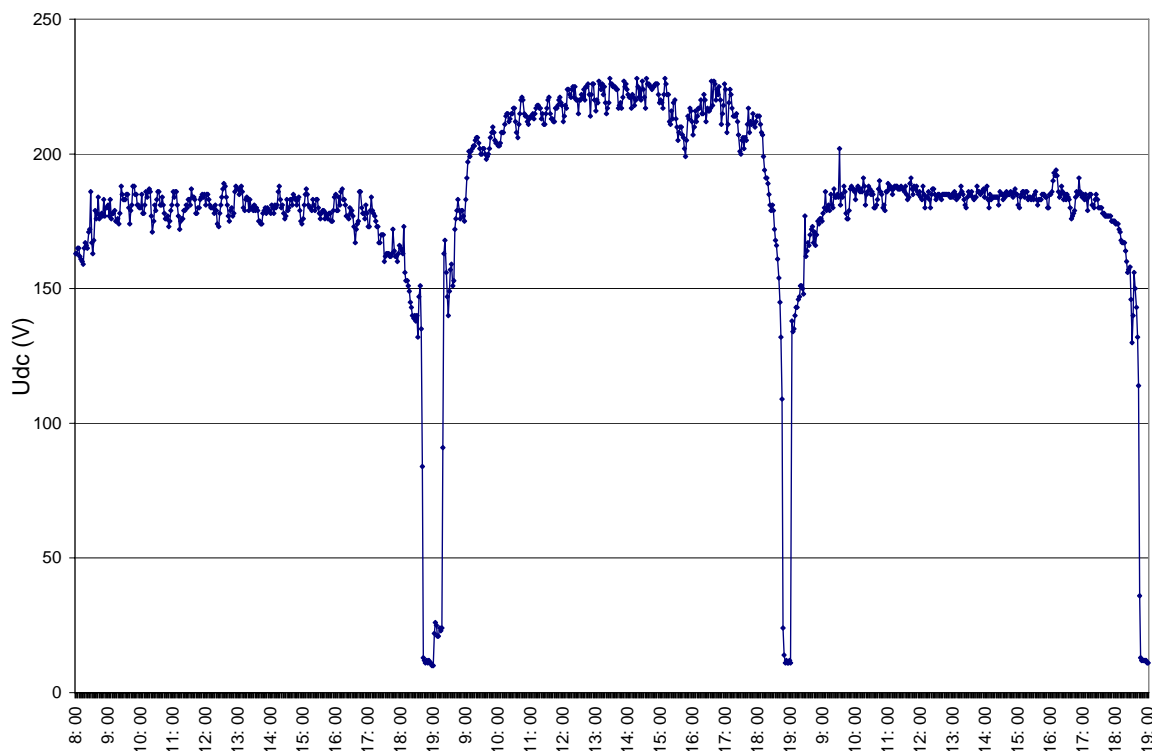
Er traden gedurende de meetperiode echter nog enkele ongewenste effecten op.

In het begin van de meetperiode weigerde de datalogger van het ZW-paneel (nr. 48) het wisselstroomvermogen  $P_{ac}$  te meten en registreren. Daardoor ontbreken de meetgegevens voor het uitgaande vermogen van 7 maart 2002 tot en met 19 maart 2002. Het probleem werd opgelost door de datalogger 48 op 19 maart 2002 te vervangen door een nieuwe datalogger (nr. 50). De andere 3 grootheden werden in de periode 7 maart 2002 tot en met 19 maart 2002 wel correct gemeten. Jammer genoeg ging, door het vervangen van de datalogger, de gegevens van 15 maart tot en met 19 maart 2002 verloren.

Een ander ongewenst effect werd reeds besproken in §4.2 : tussen de interne klokken van beide dataloggers bestaat er een klein verschil van 6 minuten.

De 4 grootheden ( $G_i$ ,  $I_{DC}$ ,  $V_{DC}$  en  $P_{ac}$ ) worden niet continu, maar discreet gemeten. We krijgen dus een kwantisering. Het invallende vermogen is telkens een veelvoud van 5,9 W/m<sup>2</sup>. De gelijkstroom en de gelijkspanning zijn respectievelijk telkens veelvoud van 30,0 mA en 1,0 V. Het wisselstroomvermogen tenslotte is bij elke meting een veelvoud van 4,3 W. Bij hoge waarden van de metingen speelt deze discretisatie niet zo'n grote rol.

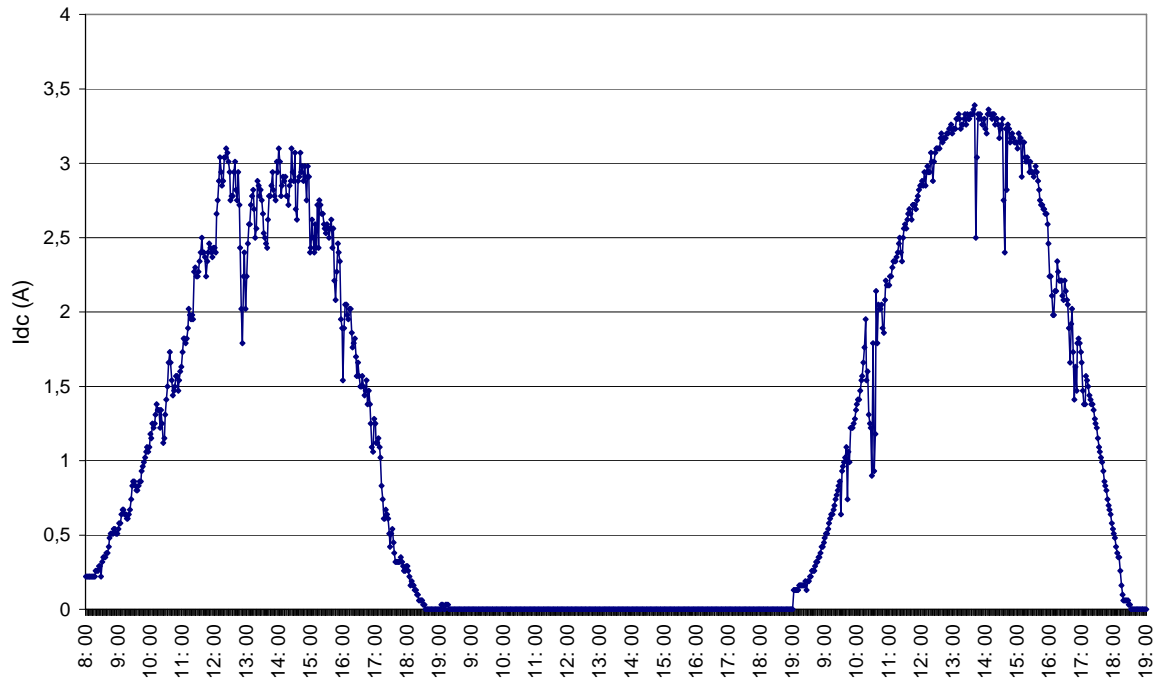
Bij lage waarden echter (bvb. bij zonsopgang en zonsondergang of bij slecht weer) kan deze discretisatie een vertekend beeld geven bij de berekening van enkele grootheden, zoals bvb. de rendementen (deling van een klein getal door een klein getal, beide met een grote relatieve fout). De discretisatie heeft ook een invloed op de foutenmarge van de grootheden. Deze zal groter zijn voor slecht weer dan voor mooi weer omdat de discretisatie belangrijker wordt bij lage waarden van de metingen. Zo zal bvb. voor de systeemefficiëntie de foutenmarge ongeveer 0,6 % bedragen als de zonne-instraling slecht 150 W/m<sup>2</sup> bedraagt, terwijl bij een zonne-instraling van 700 W/m<sup>2</sup>, de foutenmarge slechts ongeveer 0,2 % is.



*Figuur 4.30: De gelijkspanning voor het ZW-paneel voor drie opeenvolgende dagen, nl. 8, 9 en 10 maart 2002. Op 9 maart functioneerde de inverter niet naar behoren.*

In de meetperiode gebeurde het 8 keer dat de inverter van het ZW-paneel niet goed functioneerde en aanleiding gaf tot een open elektrisch circuit (9 maart, 14 april, 18 april, 5 november, 5 december, 20 december, 31 december 2002 en 13 februari 2003). In plaats van de gelijkspanning geproduceerd door de zonnemodule, werd de openklemspanning (ongeveer 230 V) geregistreerd (zie *figuur 4.30*). De geregistreerde stroom gedurende die dagen bedroeg dan ook 0 A (zie *figuur 4.31*). Daardoor zijn de waarden voor  $P_{ac}$ ,  $E_{ac}$  en

$P_{DC}$  op zo'n dag telkens gelijk aan nul. Met die foute waarden die geregistreerd werden, werd geen rekening gehouden bij de verwerking van de meetgegevens. De dag na zo'n fout functioneerde de invertor telkens weer normaal. Met de invertor van het NO-paneel kwam dit probleem nooit voor.



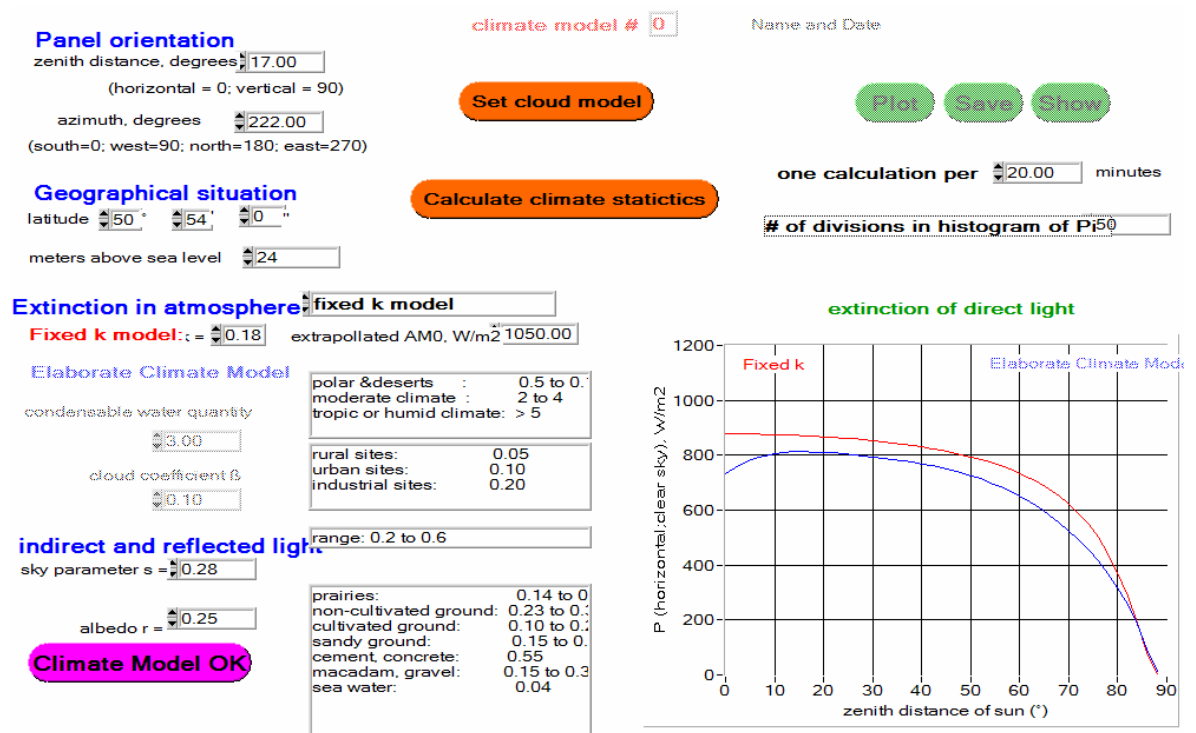
*Figuur 4.31: De gelijkstroom voor het ZW-paneel voor drie opeenvolgende dagen, nl. 8, 9 en 10 maart 2002. Op 9 maart fuctioneerde de invertor niet naar behoren.*

# Hdst 5: Simulaties met het klimaatprogramma, optimale oriëntatie en AC-jaarproductie

## 5.1. Inleiding

Zoals vermeld in §4.1 ontbreken, wegens een configuratieprobleem (zie §3.3), de meetgegevens van het NO-paneel voor vooral de wintermaanden (24 oktober 2002 tot en met 6 maart 2003). We willen nu de elektriciteitsproductie kennen die het paneel gedurende één jaar geproduceerd heeft. Daarom zullen we de AC-energieproductie van het NO-paneel in de wintermaanden schatten op basis van de productie van het ZW-paneel. We gebruiken daartoe een programma dat gebaseerd is op klimaatmodellen.

We zullen ook de optimale oriëntatie van een paneel in Melle berekenen met behulp van het klimaatprogramma.

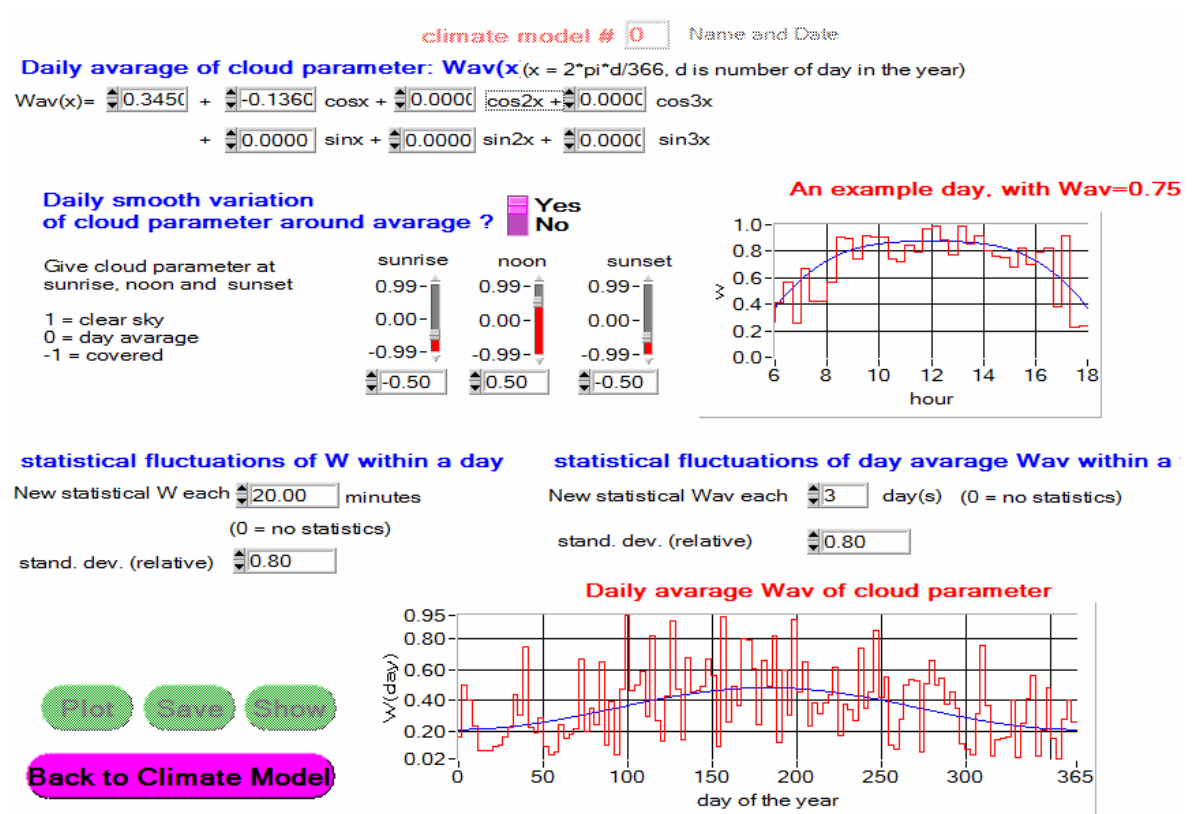


Figuur 5.1: Het hoofdscherm van het klimaatprogramma.

## 5.2. Het klimaatprogramma

Het programma “Module Design – Climate Simulator”, geschreven in Labwindows door Prof. M. Burgelman, bevat vele functies. Wij zullen alleen het deel dat op de klimaatmodellen gebaseerd is gebruiken.

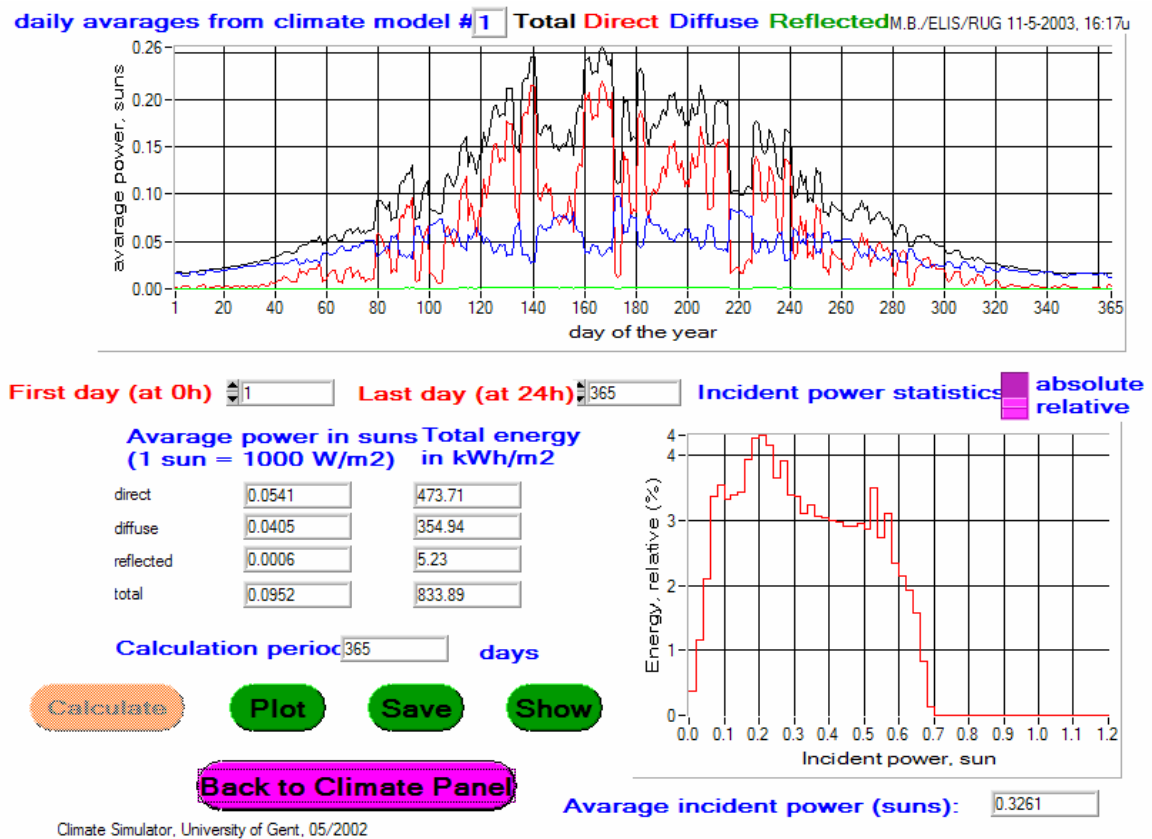
Op het hoofdscherm van het klimaatprogramma (*figuur 5.1*) kan men de zenitafstand  $z_p$ , het azimut  $A_p$  en de geografische breedte  $\phi$  van het paneel invoegen. Ook de absorptiefactor  $k$  van de atmosfeer, de hemelparameter  $s$  en de grondreflectiviteit  $r$  kunnen volgens de omstandigheden ingesteld worden.



Figuur 5.2: Aanpassen van de wolkenparameter in het klimaatprogramma.

Op een afzonderlijk scherm (zie *figuur 5.2*) kan de wolkenparameter  $w$ , die een maat is voor de hoeveelheid bewolking, ingesteld worden. Ook de statistische parameters voor de wolkenparameter kunnen ingesteld worden.

Voor de ingevoerde parameters kan het klimaatprogramma dan voor een gekozen tijdsperiode het gemiddelde invallende vermogen berekenen, zowel voor de directe, de diffuse en de gereflecteerde straling, en die uitzetten op een grafiek. (zie figuur 5.3)



Figuur 5.3: De resultaten van de berekeningen in het klimaatprogramma: het gemiddelde invallende vermogen van de directe, diffuse en gereflecteerde straling.

### 5.3. Parameters

Om een goede schatting te kunnen maken van de invallende zonnestraling op de panelen te Melle, is het noodzakelijk dat in het klimaatprogramma de juiste parameters ingevoerd worden. De parameters worden gegeven in tabel 5.1. De parameter  $k$  werd uit de literatuur [4] gehaald en is een compromis tussen een landelijke en een stedelijke regio, zoals het geval is in de buurt van de proefhoeve. Door de resultaten van verschillende simulaties te vergelijken met de werkelijkheid, werden de overige parameters bepaald.

Locatie van het paneel	
Geografische breedte $\varphi$	50° 54' 00"
Hoogte H	24 m
Oriëntatie van het paneel	
Zenitafstand $z_p$	17°
Azimut $A_p$ (Z=0°, Z→W→N→O)	NO-paneel: 222° ZW-paneel: 42 °
Absorptie	
A.M.0 Vermogen dichtheid $P_0$	1050 W/m <sup>2</sup>
Absorptiefactor k	0,18
Hemelparameter s	0,28
Grondreflectiviteit r	0,25
Bewolking	
$w_0$	0,345
$w_1$	-0,136
Dagelijkse variatie van de wolkenparameter	
zonsopgang	-0,50
middag	0,50
zonsondergang	-0,50
Statistische parameters betreffende de wolkenparameter	
Dagelijkse statistiek	Nieuwe statistische waarde van de wolkenparameter per 20 minuten
Relatieve standaardafwijking dagelijkse statistiek	0,80
Seizoensstatistiek	Nieuwe statistische waarde van de gemiddelde wolkenparameter per 3 dagen
Relatieve standaardafwijking seizoenstatistiek	0,80
Meetperiode	1 jaar

*Tabel 5.1: De invoerparameters in het klimaatprogramma voor de panelen op de proefhoeve te Melle.*



## 5.4. Optimale oriëntatie

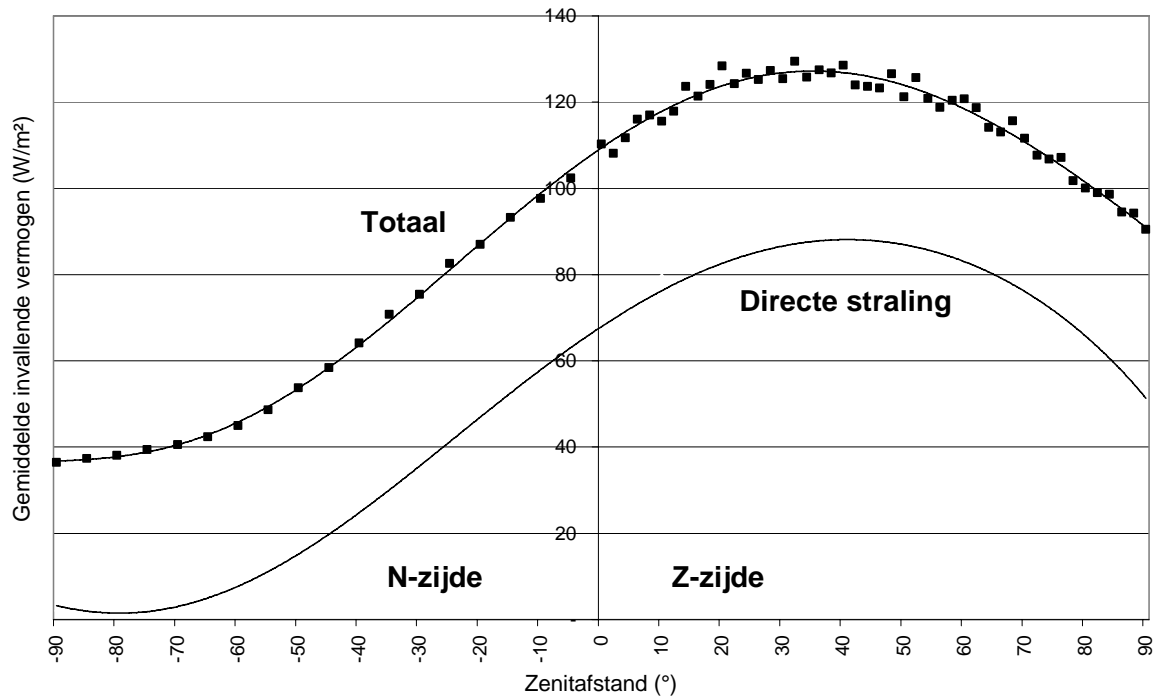
Vermits de helling van het dak van de koestal vrij klein is ( $17^\circ$ ), is ook de zenitafstand van de panelen klein. We wensen nu de optimale zenitafstand te bepalen voor een zonnepaneel in Melle en voor een zonnepaneel op de koestal. De variabele is m.a.w. de zenitafstand. We vragen ons dus af wat de ideale hoek is met de horizontale voor een paneel op het dak van de koestal. In het eerste geval zullen we het paneel optimaal oriënteren, dus naar het zuiden. In het tweede geval bevindt het paneel zich op de koestal en bedraagt dus het azimut  $42^\circ$  voor het ZW-paneel en  $222^\circ$  voor het NO-paneel.

We voeren telkens de simulatie uit met de parameters uit *tabel 5.1* voor een meetperiode van 1 jaar. Voor verschillende zenitafstanden voeren we 3 simulaties uit, en we zetten het gemiddelde van het invallende vermogen per oppervlakte-eenheid van de zonnestraling uit in functie van de zenitafstand. Voor een paneel naar het zuiden gericht krijgen we *figuur 5.4*. Uit de figuur blijkt dat het ideaal is om het paneel naar het zuiden te richten met een zenitafstand van ongeveer  $36^\circ$ . De gemiddelde invallende zonnestraling over een gans jaar bedraagt dan ongeveer  $127 \text{ W/m}^2$ .

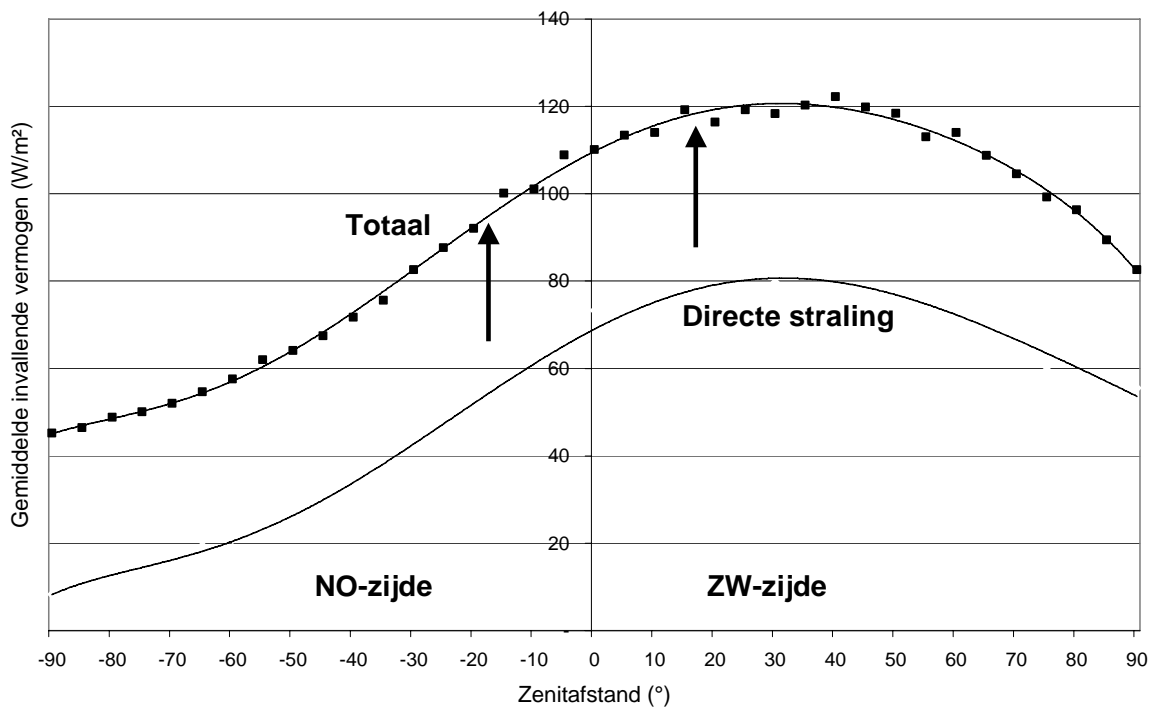
Plaatsen we het paneel op het dak van de koestal, dan krijgen we *figuur 5.5*. Uit de figuur blijkt dat het ideaal is om het paneel op de ZW-zijde van het dak te installeren met een zenitafstand van ongeveer  $32^\circ$ . De gemiddelde invallende zonnestraling over een gans jaar bedraagt dan ongeveer  $121 \text{ W/m}^2$ .

De zenitafstand van beide panelen die geïnstalleerd staan op de proefhoeve (zenitafstand  $17^\circ$ ) zijn op de figuur weergegeven met een pijl.

Voor het ZW-paneel bedraagt het gemiddelde invallende vermogen volgens de simulatie ongeveer  $118 \text{ W/m}^2$ , wat iets hoger is dan wat er experimenteel gemeten werd:  $108 \text{ W/m}^2$  (zie §4.3). Volgens de simulatie bedraagt het gemiddelde invallende vermogen op het NO-paneel ongeveer  $95 \text{ W/m}^2$ . Deze waarde is niet te vergelijken met de metingen, vermits voor het NO-paneel de wintermaanden ontbreken. (zie §4.1).



*Figuur 5.4: Het gemiddelde invallende vermogen in  $W/m^2$  in functie van de zenitafstand voor een N-Z gericht paneel in Melle, gesimuleerd met het klimaatmodel. Ook het aandeel van de directe straling is aangeduid. Het verschil tussen beide curven is de diffuse straling*



*Figuur 5.5: Het gemiddelde invallende vermogen in  $W/m^2$  in functie van de zenitafstand voor een paneel op de koestal op de proefhoeve te Melle (dus NO-ZW-gericht),*

*gesimuleerd met het klimaatmodel. Ook het aandeel van de directe straling is aangeduid.*

*Het verschil tussen beide curven is de diffuse straling.*

## 5.5. Correctie

We willen nu de elektriciteitsproductie kennen die de zonnecentrale gedurende één jaar geproduceerd heeft. Daarom zullen we de AC-energieproductie van het NO-paneel in de maanden waarvoor we geen meetgegevens beschikbaar hebben, schatten op basis van de productie van het ZW-paneel. Daartoe voeren we driemaal een simulatie uit met als meetperiode één maand, en berekenen we voor elke maand het gemiddelde dagelijkse invallende vermogen  $G_i$  van de zonnestraling (zie *tabel 5.2*). De verhouding van de waarden van het NO-paneel t.o.v. het ZW-paneel levert dan de correctiefactor op om uit het invallende vermogen op het ZW-paneel dat op het NO-paneel te schatten.

	Gemiddelde dagelijkse $G_i$ op het NO-paneel in $W/m^2$	Gemiddelde dagelijkse $G_i$ op het ZW-paneel in $W/m^2$	Verhouding van $G_i$ van het NO-paneel t.o.v. het ZW-paneel
januari	21	35	0,61
februari	38	60	0,64
maart	72	97	0,74
april	114	140	0,81
mei	157	184	0,85
juni	155	189	0,82
juli	172	177	0,97
augustus	145	180	0,80
september	92	117	0,78
oktober	49	69	0,71
november	26	43	0,62
december	17	25	0,69
jaar	118	95	0,81

*Tabel 5.2: Het gemiddelde dagelijkse invallende vermogen per maand voor beide panelen, gesimuleerd met het klimaatprogramma, en de verhouding tussen de gesimuleerde waarden voor het NO- en het ZW-paneel*

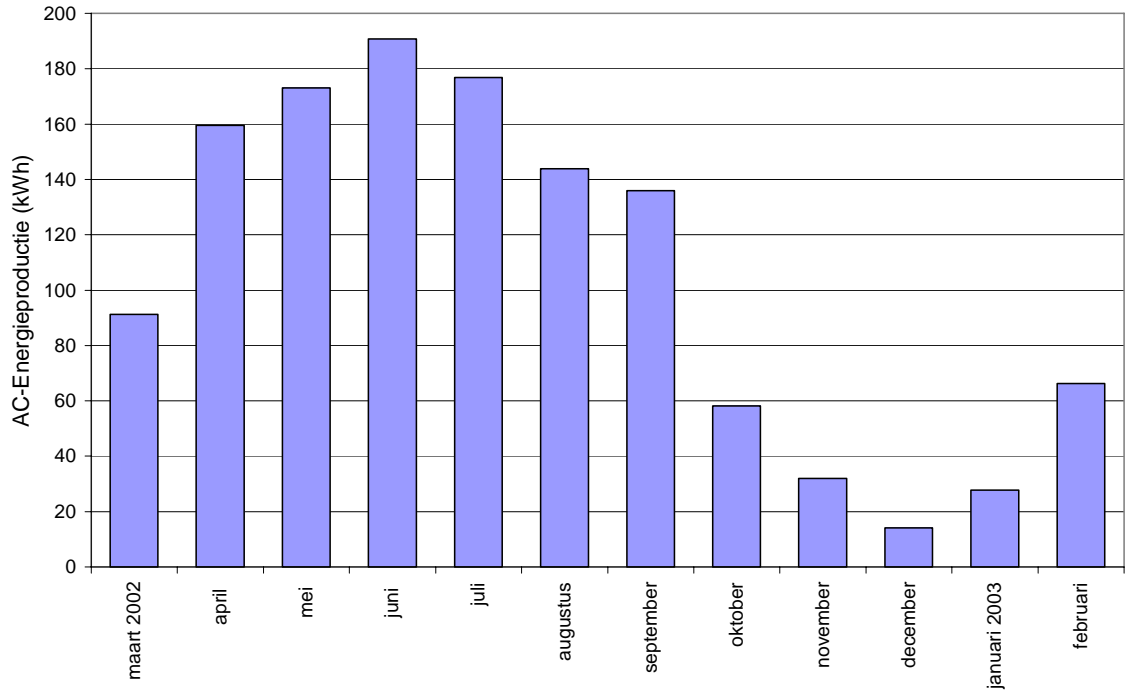
Uitmiddelen van de correctiefactoren over de seizoenen en over het jaar levert de waarden in *tabel 5.3*. Vermits voor het NO-paneel de meetgegevens van 24 oktober 2002 tot en met 6 maart 2003 ontbreken, kiezen we als correctiefactor voor deze periode 0,67.

	Gemiddelde correctiefactor
lente	0,83
zomer	0,85
herfst	0,67
winter	0,67
jaar	0,81

*Tabel 5.3: De gemiddelde correctiefactor voor de seizoenen en het jaar, volgens de simulaties met het klimaatprogramma.*

Passen we deze correctiefactor toe om, op basis van de AC-energieproductie van het ZW-paneel in deze periode, de AC-energieproductie van het NO-paneel te schatten, dan krijgen we voor het totale systeem *figuur 5.6*. Vooral het grote verschil in elektriciteitsproductie tussen de zomer- en de winterperiode valt op. Zo is er een factor tien verschil tussen de energieproductie in juni en in december.

De totale energieproductie over 1 jaar bedraagt 1270 kWh. Ter vergelijking, een gemiddeld Belgisch gezin verbruikt ongeveer 3500 kWh per jaar = 400 W (op voorwaarde dat het huis niet elektrisch verwarmd wordt).



*Figuur 5.6: De AC-energieproductie in kWh per maand geproduceerd door de zonnecentrale op de proefhoeve*

## **Hdst 6: De energieconsumptie van de koeltanken**

### **6.1 Situering**

In het kader van het project “Fotovoltaïsche zonnecelssystemen voor onderwijsinstellingen” [2] werden twee zonnepanelen op de koestal te Melle geïnstalleerd. Zoals reeds vermeld in hoofdstuk 1 is, in ruil voor de toegestane subsidies, de Universiteit Gent verplicht de data bij te houden en door te sturen naar de projectverantwoordelijke. Verder verbond de universiteit zich eraan twee onderzoeksopdrachten uit te voeren.

Het eerste onderzoek bestudeert de invloed van de paneeloriëntatie op fotovoltaïsche elektriciteitsproductie. De resultaten daarvan werden reeds besproken in de vorige hoofdstukken.

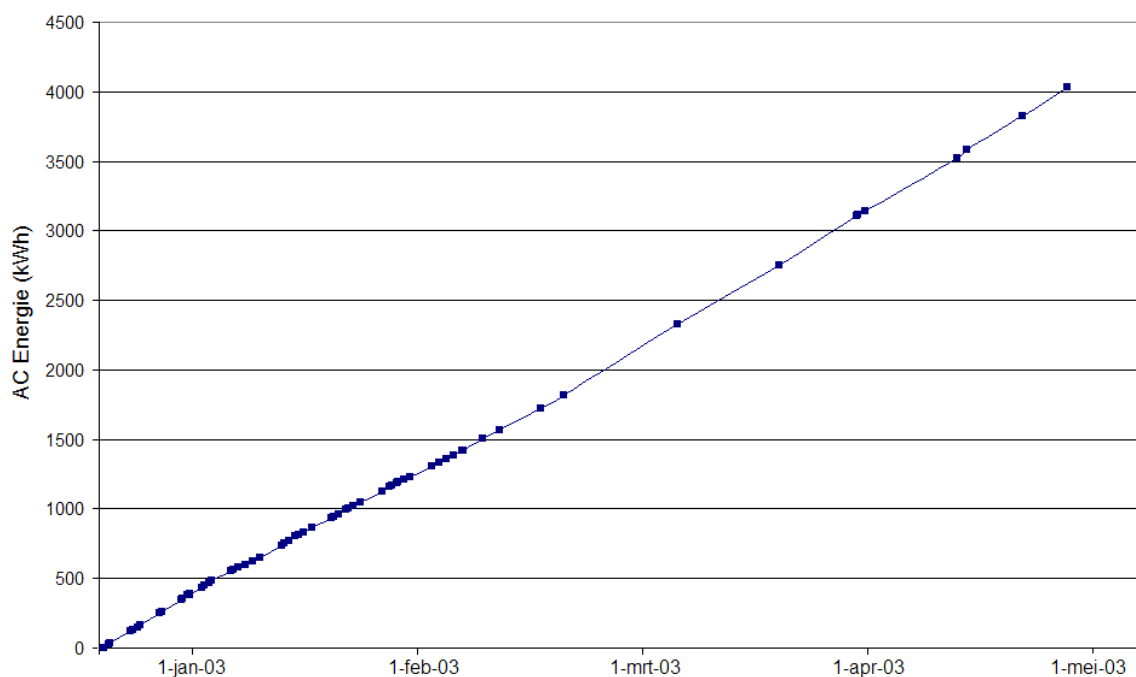
Het tweede onderzoek bestudeert of de fotovoltaïsche installatie een deel van de lokale consumptie van twee melkkoeltanken in de koestal voor zijn rekening kan nemen. Er werd voor koeltanken gekozen omdat de elektriciteitsproductie van deze tanken uiteraard hoog ligt wanneer de omgevingstemperatuur hoog is (dus in de zomer en 's namiddags). Dit betekent dat het verbruik ‘in fase’ zal zijn met de elektriciteitsproductie van de fotovoltaïsche panelen.

De koestal beschikt over 2 koeltanken (type IK-TAG/4, koelmiddel R 404 A, max. bedrijfsdruk 2 MPa, spanning: 3 x 400 V, frequentie 50 Hz) zodat men onderzoek kan doen naar de melkproductie bij bijvoorbeeld verschillende voeding voor 2 groepen koeien. De grote koeltank (nr. 0103063, geproduceerd in 2001, massa: 1040 kg) heeft een inhoud van 5000 l, de kleine koeltank (nr. 0013071, geproduceerd in 2000, massa: 515 kg) heeft een inhoud van 1800 l.

Op 19 december om 15h30 werd er een 3-fasige kilowattuurmeter (type 10/60 Landis & Gyr 212/161, form MG14, nr. 11.5563374, 3 x 220/380 V, 10 (60) A, Schlgt 400, 50 Hz, 75 omwentelingen per kWh) geïnstalleerd die de energieconsumptie van beide koeltanken samen registreert.

## 6.2 De resultaten

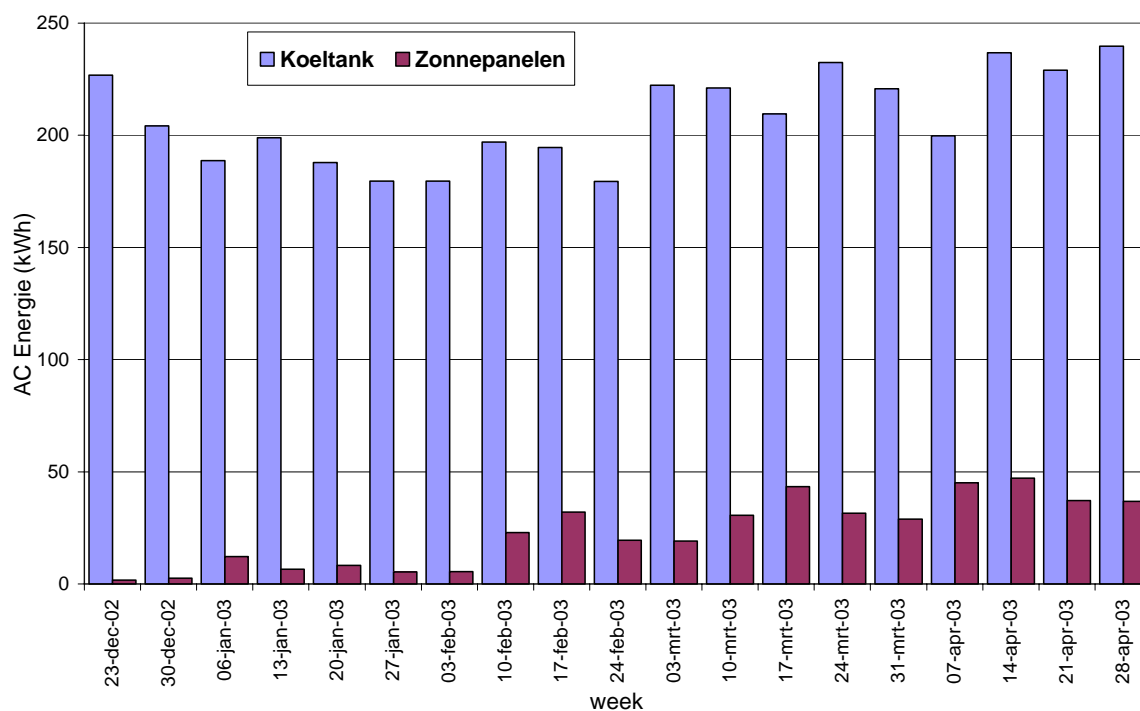
*Figuur 6.1* toont de AC-energieconsumptie die gemeten werd door de kWh-teller voor beide koeltanken in functie van de tijd. De gegevens in de grafiek beslaan ruim 4 maanden, vanaf de datum dat het verbruik gemeten werd (19 december 2002) tot en met 4 mei 2003. Zoals duidelijk te merken is op de figuur, is dit verbruik vrij lineair. Gemiddeld verbruiken de twee koeltanken in deze periode ongeveer 30kWh per dag (wat overeenkomt met een gemiddeld vermogen van  $30000 \text{ Wh} / 24\text{h} = 1250 \text{ W}$ ).



*Figuur 6.1: De AC-energieconsumptie in kWh van de koeltanken in functie van de tijd voor de periode 19 december 2002 - 4 mei 2003.*

*Figuur 6.2* toont een vergelijking tussen de AC-energieproductie van beide zonnepanelen en de AC-energieconsumptie voor beide koeltanken per week. De meetgegevens over de AC-energieproductie van het NO-paneel vanaf 23 december 2002 tot en met 4 april 2003 zijn, zoals reeds uitvoerig besproken in §3.3, niet beschikbaar en werden geschat op basis van de AC-energieproductie van het ZW-paneel, gebaseerd op de maandelijkse correctiefactoren gegeven in *tabel 5.2*. Vanaf 5 april 2003 zijn de metingen van het NO-paneel terug beschikbaar en werden dan uiteraard ook gebruikt. (Vergelijking met de

gecorrigeerde gegevens voor de periode na 5 april, bevestigt de juistheid van de correctiefactor voor de maand april).

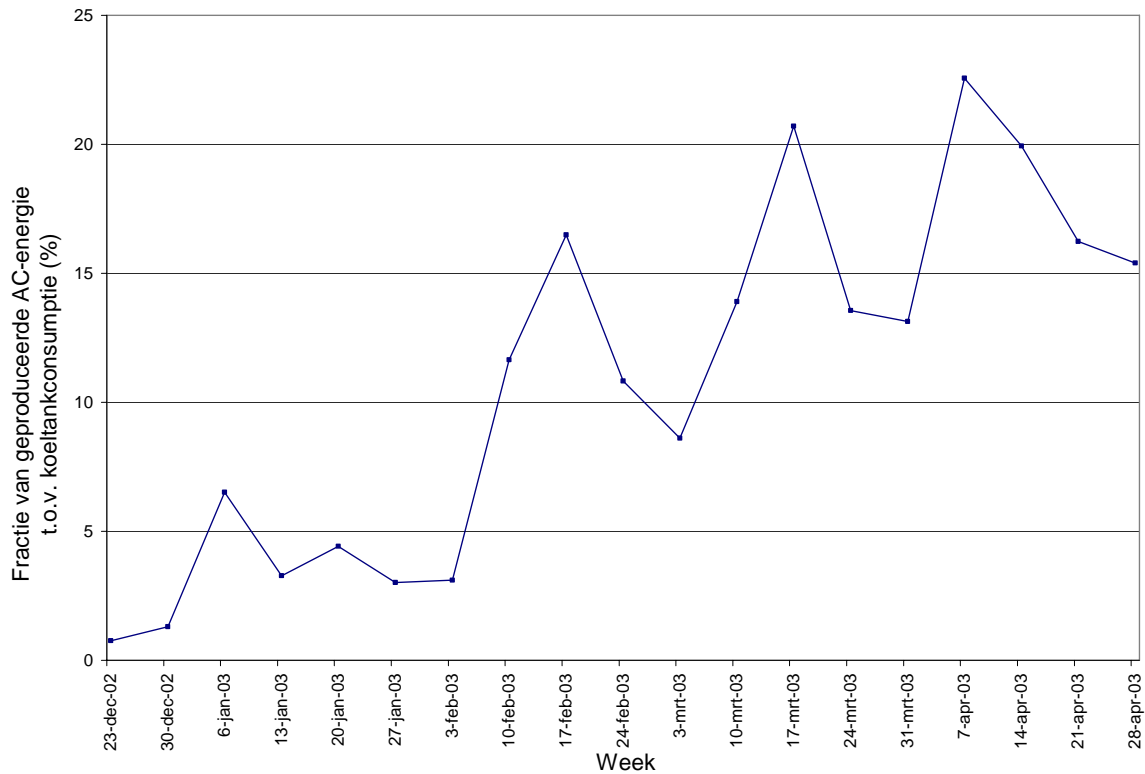


*Figuur 6.2: De AC-energieproductie van de zonnecentrale en de AC-energieconsumptie van de koeltanken in kWh per week.*

Op *figuur 6.2* is duidelijk te zien dat de zonnepanelen ruim onvoldoende elektriciteit produceren om de volledige energieconsumptie van beide koeltanken te dragen. Er is een duidelijke stijging van de geproduceerde energie door de zonnepanelen te zien naarmate men de zomer nadert. De te verwachten stijging van het verbruik (omdat de omgeving warmer wordt) van de koeltanken is veel minder uitgesproken.

*Figuur 6.3* toont de fractie van de energie die de koeltanken verbruiken die geleverd kan worden door beide zonnepanelen. We zien dat naarmate de zomer nadert, een grotere fractie van de energieconsumptie van de koeltanken geleverd kan worden door de zonnepanelen. Gedurende 3 weken in de bestudeerde periode konden de zonnepanelen ruim 20 % van de energie leveren voor de melkkoeltanken.





*Figuur 6.3: Fractie (in %) van de geproduceerde AC-energie door de zonnecentrale t.o.v. het verbruik van de melkkoeltanken.*

Gelet op *figuur 5.5* die voor elke maand de AC-energie geproduceerd door de zonnepanelen weergeeft, mogen we, naarmate de zomerperiode nadert, een grote stijging van de elektriciteitsproductie door de panelen verwachten. Als we er vanuitgaan dat het verbruik van de koeltanken minder snel stijgt, dan zal in de zomer een grotere fractie van het verbruik door de zonnecentrale geleverd worden, maar de koeltanken zullen nooit met alleen de zonne-energie van het fotonvoltaïsche systeem te Melle voldoende kunnen koelen. Allicht zou het wel mogelijk zijn om, gedurende de zomerperiode, de kleine koeltank (slechts 1800 l, terwijl de grote koeltank 5000 l bevat) voor 100 % op zonne-energie van de zonnecentrale te laten functioneren. In dit onderzoek werd echter alleen het verbruik van beide koeltanken samen bestudeerd.

## **Hdst. 7: Het programma “Zonnecentrale”**

### **7.1 Doel**

De meetgegevens die beide dataloggers verzamelen worden in een tekstbestand geschreven. De meetgegevens kunnen echter met behulp van die lange tekstbestanden niet goed geïnterpreteerd worden. De gegevens moeten daarom grafisch voorgesteld worden om een goed overzicht te krijgen. Dit kan, zoals voor deze scriptie telkens is gedaan, bvb. in het rekenbladprogramma “Microsoft Excel”. Om bezoekers van de Proefhoeve echter een duidelijk beeld te geven van de meetresultaten werd het programma “Zonnecentrale” ontwikkeld, dat het invallende vermogen van de zonnestraling  $G_i$  en het uitgaande wisselstroomvermogen  $P_{ac}$  grafisch voorstelt voor een bepaalde dag.

Het doel is tweërlei. Enerzijds is er een educatief doel. Bezoekers worden zo geïnformeerd over de grootte van de invallende zonnestraling en over de elektriciteitsproductie van een zonnecentrale van die omvang. Ze merken ook duidelijk het verschil tussen de NO- en de ZW-module en de correlatie tussen het invallende vermogen van de zonnestraling en de elektriciteitsproductie.

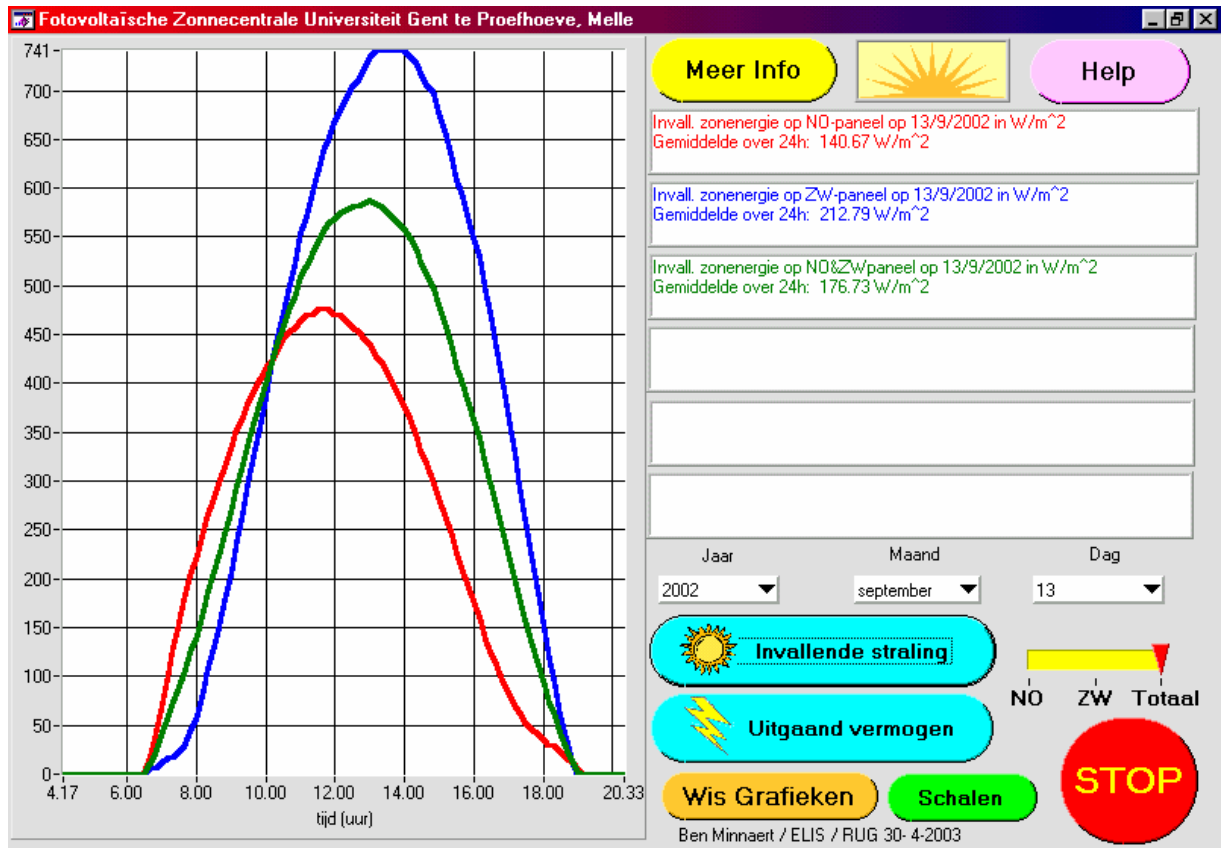
Anderzijds krijgt de Proefhoeve, en dus ook de Universiteit Gent, een goed imago (goede “public relation”) door bezoekers kennis te laten maken met de langetermijnvisie voor de Proefhoeve (zie ook §1.2): demonstratie van duurzame landbouw (*sustainable farming*). Dit programma helpt daartoe bijdragen.

In het kader van de vakken “Duurzame Energie en Rationeel Energiegebruik” en “Fotovoltaïsche Zonne-energieomzetting” brachten studenten op respectievelijk 3 april en 5 mei 2003 reeds een bezoek aan de fotovoltaïsche installatie te Melle.

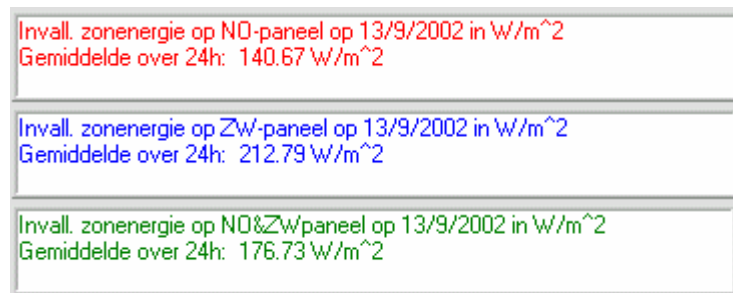
### **7.2 Mogelijkheden van het programma “Zonnecentrale”**

Het programma “Zonnecentrale” werd geschreven in “Labwindows/CVI 5.5” (C for Virtual Instrumentation) van “National Instruments”, versie 5.5.1.

De code van het programma is te vinden in *bijlage A*.

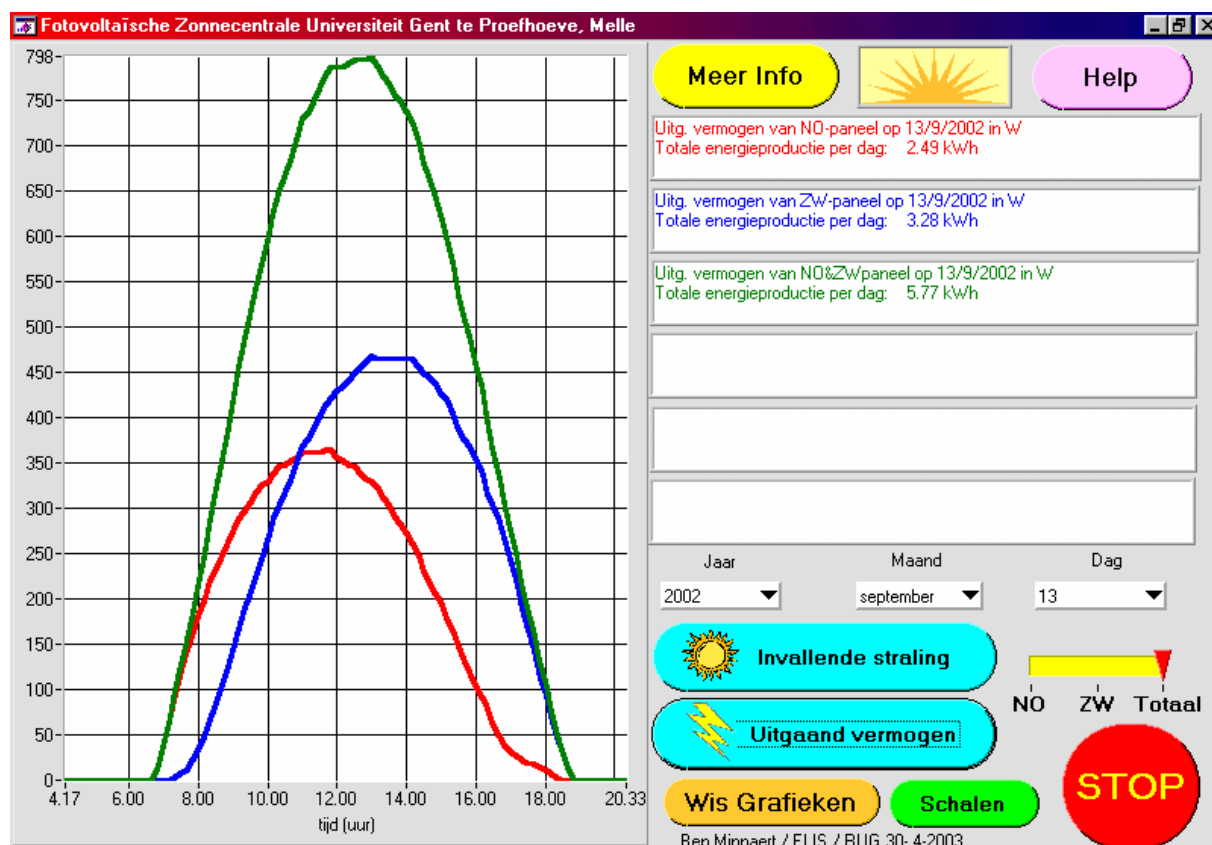


*Figuur 7.1: Het programma “Zonnecentrale” dat het invallende vermogen van de zonnestraling grafisch afbeeldt voor 13 september 2002, respectievelijk voor het NO- (rood) en het ZW-paneel (blauw), en voor de som van beiden (groen).*



*Figuur 7.2: De legende met de gegevens over de afgebeelde grafieken, bvb. voor het invallende vermogen voor 13 september 2002, respectievelijk voor het NO- (rood) en het ZW-paneel (blauw), en voor de som van beiden (groen)*

Het programma laat toe om in totaal 6 grafieken af te beelden. Ten eerste kan men het invallende vermogen  $G_i$  van de zonnestraling in  $W/m^2$  uitzetten in functie van de tijd voor een bepaalde dag. Als men een dag kiest waarop er geen beschikbare meetgegevens voor handen zijn, dan meldt het programma dit. Men kan kiezen of men het invallende vermogen uitzet voor het NO- of het ZW-paneel, of voor beide panelen samen. Als men het invallende vermogen van beide panelen uitzet, dan zal uiteraard niet de som van de meetgegevens van het NO- en het ZW-paneel uitgezet worden, maar het rekenkundige gemiddelde, vermits het invallende vermogen  $G_i$  in Watt per vierkante meter uitgedrukt wordt. Dit is duidelijk te zien op *figuur 7.1*. Daarop is het invallende vermogen van de zonnestraling gegeven voor 13 september 2002, respectievelijk voor het NO- (rood) en het ZW-paneel (blauw), en voor de som van beiden (groen). In de legende (zie *figuur 7.2* voor een detail) verschijnt duidelijk de informatie van de grafiek in dezelfde kleur, nl. de grootheid waarover het gaat (invallend vermogen), de datum, over welk paneel de gegevens werden uitgezet en in welke eenheid de grafiek getekend is ( $W/m^2$ ).



*Figuur 7.3: Het programma “Zonnecentrale” dat het uitgaande vermogen grafisch afbeeldt voor 13 september 2002, respectievelijk voor het NO- (rood) en het ZW-paneel (blauw), en voor de som van beiden (groen)*

Naast deze gegevens berekent het programma ook het gemiddelde invallende vermogen van de zonnestraling over 1 dag. Deze waarde in  $W/m^2$  verschijnt ook in de legende. Het gemiddelde invallende vermogen voor het totale systeem is uiteraard het rekenkundige gemiddelde van het gemiddelde invallende vermogen voor het NO- en het ZW-paneel.

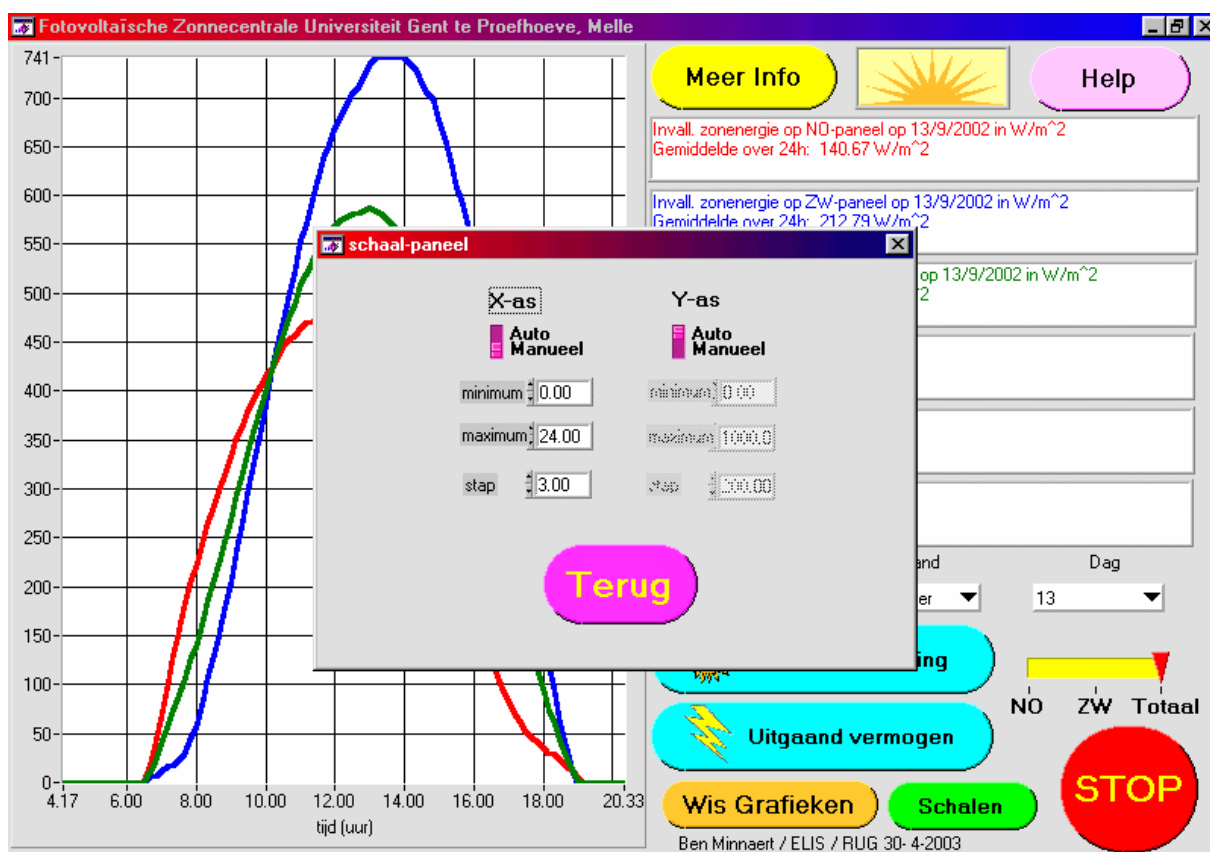
Uitg. vermogen van NO-paneel op 13/9/2002 in W Totale energieproductie per dag: 2.49 kWh
Uitg. vermogen van ZW-paneel op 13/9/2002 in W Totale energieproductie per dag: 3.28 kWh
Uitg. vermogen van NO&ZW-paneel op 13/9/2002 in W Totale energieproductie per dag: 5.77 kWh

*Figuur 7.4: De legende met de gegevens over de afgebeelde grafieken, bvb. voor het uitgaande vermogen voor 13 september 2002, respectievelijk voor het NO- (rood) en het ZW-paneel (blauw), en voor de som van beiden (groen)*

Vermits de meetgegevens door de dataloggers gemeten worden in het winteruur, is ook de tijd gegeven op de grafieken gelijk aan het winteruur. Voor het jaar 2002 betekent dit dus dat voor de gegevens tussen 31 maart 2002 en 26 oktober 2002 (grenzen inclusief) een uur bij de tijd moet bijgeteld worden (zomertijd).

Naast het invallende vermogen  $G_i$  kan ook het uitgaande vermogen  $P_{ac}$  in W voor een bepaalde dag uitgezet worden in functie van de tijd. Opnieuw kan men kiezen of men het uitgaande vermogen uitzet voor het NO- of het ZW-paneel, of voor beide panelen samen. Als men het uitgaande vermogen van beide panelen uitzet, dan zal uiteraard de som van de gegevens van het NO- en het ZW-paneel uitgezet worden vermits het uitgaande vermogen  $P_{ac}$  in Watt uitgedrukt wordt.

Dit is duidelijk te zien op *figuur 7.3*. Daarop is het uitgaande wisselstroomvermogen gegeven, opnieuw voor 13 september 2002, respectievelijk voor het NO- (rood) en het ZW-paneel (blauw), en voor de som van beiden (groen). In de legende (zie *figuur 7.4* voor een detail) verschijnt duidelijk de informatie van de grafiek in dezelfde kleur, nl. de grootte waarover het gaat (uitgaand vermogen), de datum, over welk paneel de gegevens werden uitgezet en in welke eenheid de grafiek getekend is (W).



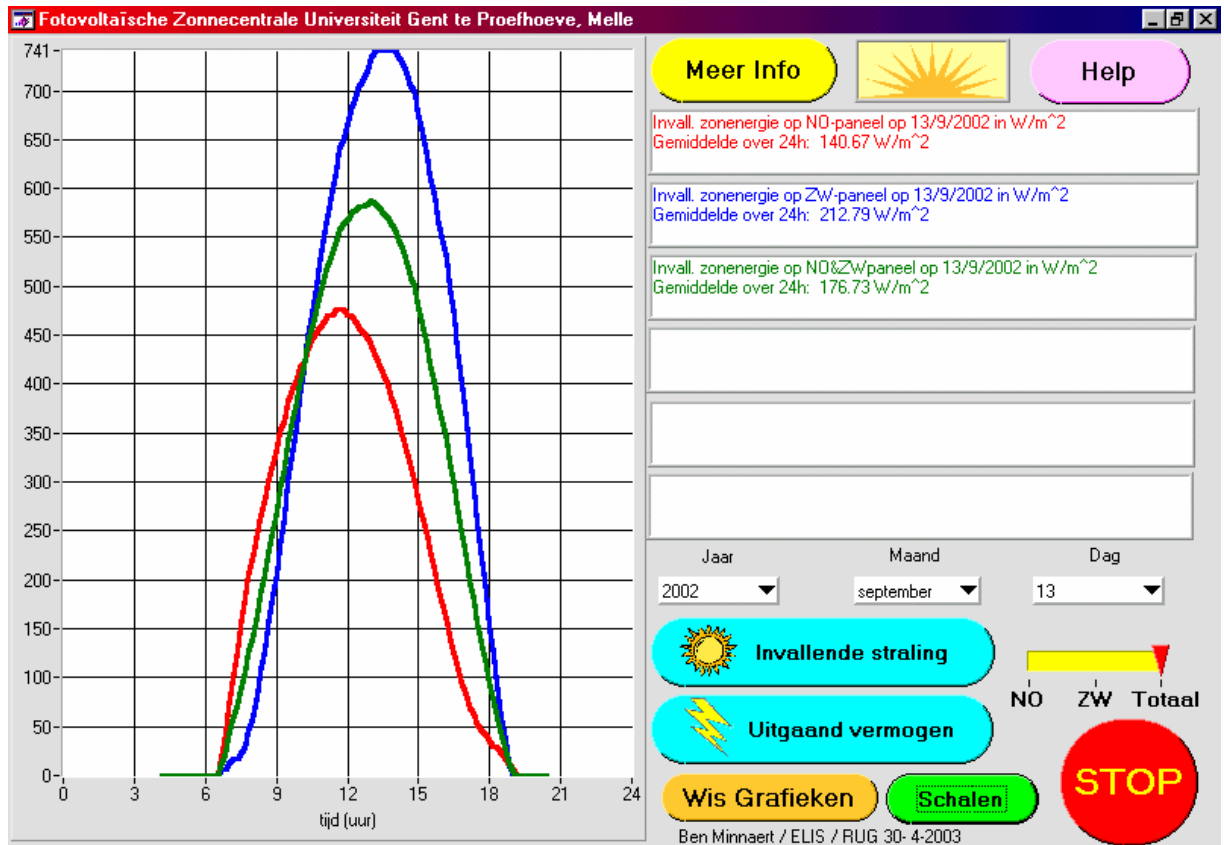
*Figuur 7.5: Het programma “Zonnecentrale” laat toe de x- en y-schalen van de grafiek en het raster aan te passen*

Naast deze gegevens berekent het programma ook de totale energieproductie voor de dag die werd uitgezet. Deze waarde in kWh verschijnt ook in de legende. De totale energieproductie voor het totale systeem op 1 dag is uiteraard de som van de energieproducties voor het NO- en het ZW-paneel.

Men kan tot 6 grafieken tegelijk tekenen, zowel het invallende vermogen als het uitgaande wisselstroomvermogen, en dit telkens voor elke dag dat er meetgegevens beschikbaar zijn. Wenst men een 7de grafiek te tekenen, dan zal de eerste grafiek gewist worden en vervangen worden door deze grafiek.

Uiteraard is het ook mogelijk om alle grafieken te wissen wanneer men dat wenst.

Men kan ook de schaal aanpassen, zowel van de x-as als van de y-as (zie *figuur 7.5*). Ook de grootte van het getekende raster is naar wens aan te passen.



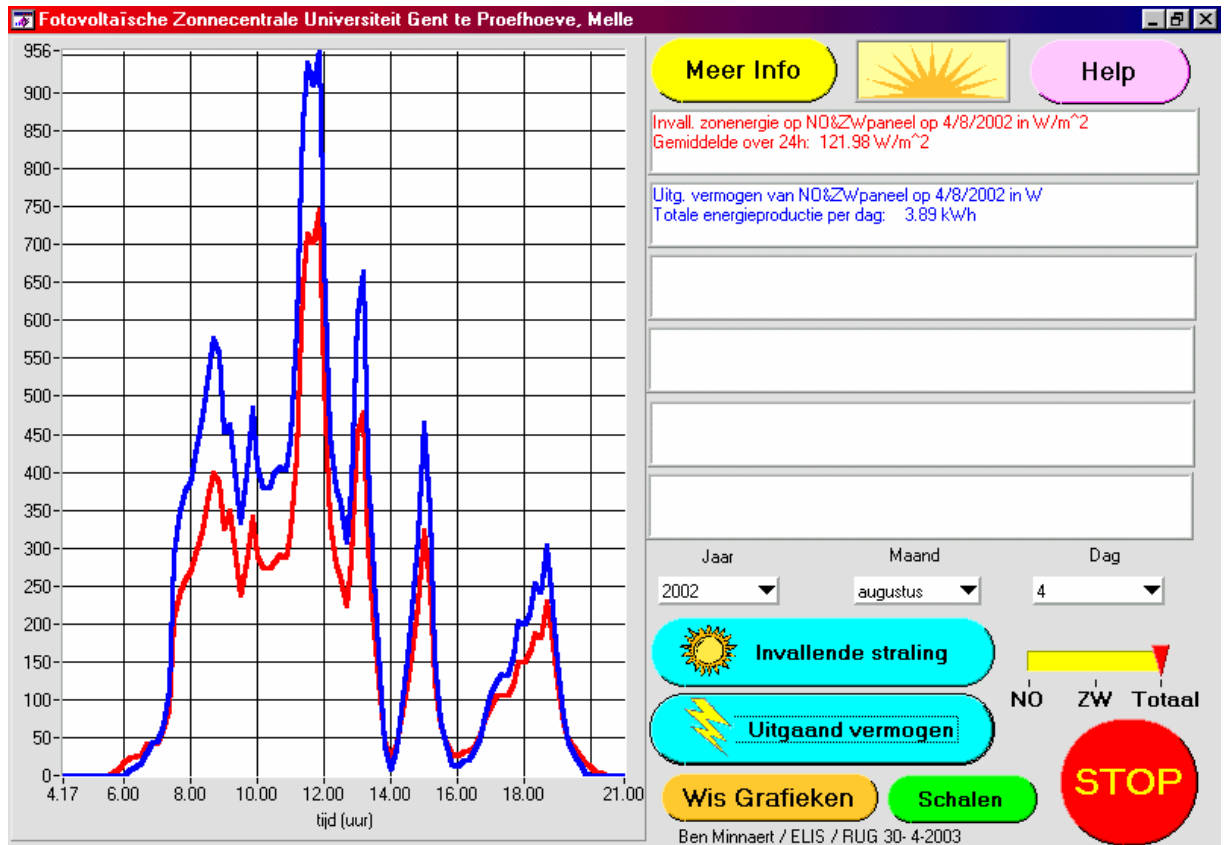
*Figuur 7.6: Dezelfde situatie als figuur 8.1 (het invallende vermogen voor 13 september 2002), maar nu met de x-schaal zó aangepast zodat het ganse etmaal van 0h tot 24h getoond wordt.*

Zo toont *figuur 7.6* hetzelfde als *figuur 7.1*, maar de x-as werd aangepast van 0h tot 24h zodat men een duidelijk beeld krijgt van de invallende zonnestraling op 1 volledige dag. Men kan ook het invallende vermogen  $G_i$  en het uitgaande wisselstroomvermogen  $P_{ac}$  tegelijk uitzetten op dezelfde grafiek, zodat men duidelijk de correlatie kan zien tussen de invallende zonnestraling en de elektriciteitsproductie (zie *figuur 7.7*). Men mag dan wel de eenheden niet uit het oog verliezen: het invallende vermogen is uitgedrukt in  $W/m^2$ , het uitgaande vermogen in W.

Verder bestaat er ook nog de mogelijkheid om meer info op te vragen over het fotovoltaïsche systeem dat op het dak van de koestal te Proefhoeve, Melle geïnstalleerd is (zie *figuur 7.8*).

Via de helptoets verschijnt een korte gebruiksaanwijzing voor het programma “Zonnecentrale”.

De enige manier om het programma af te sluiten, is de STOP-knop gebruiken.



*Figuur 7.7: Het invallende vermogen in  $W/m^2$  (rood) en het uitgaande wisselstroomvermogen in  $W$  (blauw) op één grafiek voor 4 augustus 2002 voor beide panelen samen. Op de figuur is duidelijk de correlatie tussen beide te zien.*

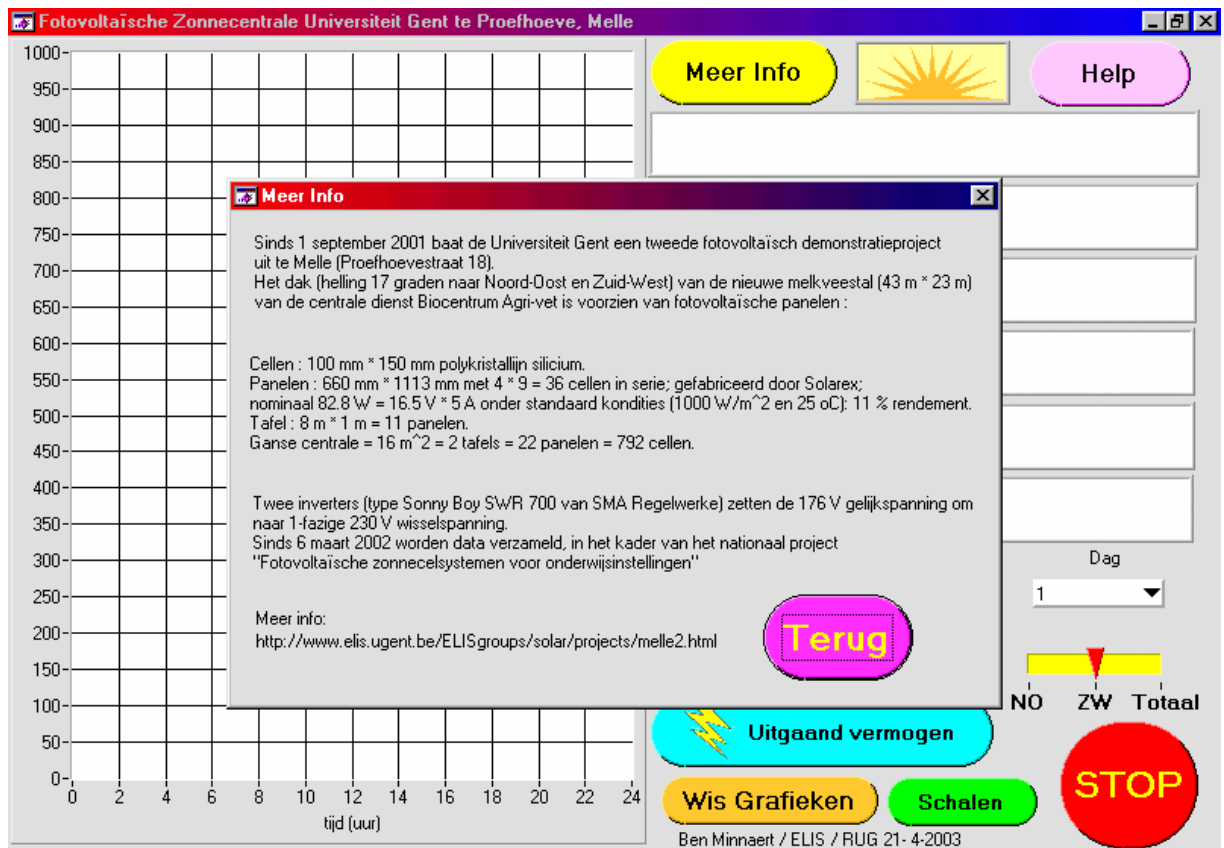
Vermits de computer van de zonnecentrale op de Proefhoeve (Intel Pentium I, 200 MHz processor) een vrij ‘trage’ computer is, duurt het een tijdje vooraleer het programma alle meetgegevens heeft gevonden en uitzet als het meetinterval van de metingen 2 minuten bedraagt. Indien het meetinterval 10 minuten bedraagt, zijn er uiteraard minder meetgegevens en gebeurt de verwerking sneller.

Samengevat zijn de mogelijkheden van het programma “Zonnecentrale” devolgende:

- Grafisch uitzetten van het invallende vermogen van de zonnestraling  $G_i$  in functie van de tijd voor een bepaalde dag, zowel voor het NO- als het ZW-paneel, als voor beide panelen samen.
- Grafisch uitzetten van het uitgaande wisselstroomvermogen  $P_{ac}$  in functie van de tijd voor een bepaalde dag, zowel voor het NO- als het ZW-paneel, als voor beide panelen samen.



- Het wissen van de getekende grafieken.
- Berekenen van het gemiddelde invallende vermogen per 24h in W/m<sup>2</sup>.
- Berekenen van de totale AC-energieproductie per dag in kWh.
- Aanpassen van de schaal van de x- en y-as en van het raster.
- Meer info over de zonnepanelen en hulp bij het programma “Zonnecentrale” oproepen.



*Figuur 7.8: Het programma “Zonnecentrale” bevat ook meer info over de zonnepanelen op het dak van de koestal te Melle*

- De correlatie tussen het invallende vermogen van de zonnestraling en de elektriciteitsproductie zien op de grafieken.
- Het invallende vermogen en de AC-energieproductie tussen verschillende dagen vergelijken.
- Het invallende vermogen en de AC-energieproductie van beide panelen in functie van de tijd op een dag vergelijken.

### 7.3 Input van de meetgegevens in het programma

#### “Zonnecentrale”

Zoals reeds besproken werd in hoofdstuk 3 worden de meetgegevens door het programma “Zonnelezer” opgeslaan in een tekstbestand zoals afgebeeld in *figuur 7.9*. Het programma “Zonnecentrale” moet uiteraard uit de tekstbestanden de juiste gegevens halen om de grafieken te tekenen. Het is echter onhandig om het programma uit de originele tekstbestanden de juiste data te laten halen. Vermits het programma moet weten welke tekstbestanden de juiste gegevens bevatten, moeten in de naam van het tekstbestand minstens de volgende gegevens staan: over welk paneel de gegevens betrekking hebben, de datum en het uur van de eerste meting in het bestand, en de datum en het uur van de laatste meting in het tekstbestand.

```

ID-nummer/numéro ID; DL0050
jaar/année; maand/mois; dag/jour; uur/heure;Pac (W);Udc (V);Idc (A);Gi (W/m2)
' 3; 2; 7; 15: 08;31; 160; 0,30; 53;
' 3; 2; 7; 15: 10;26; 161; 0,27; 47;
' 3; 2; 7; 15: 12;26; 160; 0,27; 47;
' 3; 2; 7; 15: 14;18; 183; 0,18; 47;
' 3; 2; 7; 15: 16;26; 163; 0,24; 47;
' 3; 2; 7; 15: 18;26; 166; 0,27; 47;
' 3; 2; 7; 15: 20;31; 159; 0,30; 53;
.....
' 3; 2; 21; 17: 06;101; 176; 0,68; 135;
' 3; 2; 21; 17: 08;96; 176; 0,65; 129;
' 3; 2; 21; 17: 10;92; 176; 0,62; 117;

```

*Figuur 7.9: Het tekstbestand waarin de data worden geschreven (bvb. vanaf 7 februari 2003 om 15h08 tot 21 februari 2003 om 17h10)*

Zo zou de naam van het tekstbestand in *figuur 7.9* (die de metingen bevat vanaf 7 februari 2003 om 15h08 tot en met 21 februari 2003 om 17h10) bvb. devolgende kunnen zijn: “ZW-07-02-2003-15h08-21-02-2003-17h10”. Zo een lange naam is onoverzichtelijk als

iemand bvb. de ruwe data zou willen bekijken. Als het programma bvb. het invallende vermogen van 7 februari 2003 zou willen uitzetten voor het ZW-paneel, dan zou dit programma de gegevens uit 2 tekstbestanden moeten halen: het ene tekstbestand bevat de gegevens vóór 15h08, het andere na 15h08.

```

3 2 1 6 02 0 0 0 00 0
3 2 1 6 04 0 0 0 00 0
3 2 1 6 06 0 0 0 00 0
3 2 1 6 08 0 0 0 00 0
3 2 1 6 10 0 0 0 00 0
3 2 1 6 12 0 0 0 00 0
.....
3 2 7 15 08 31 160 0 30 53
3 2 7 15 10 26 161 0 27 47
3 2 7 15 12 26 160 0 27 47
3 2 7 15 14 18 183 0 18 47
3 2 7 15 16 26 163 0 24 47
3 2 7 15 18 26 166 0 27 47
3 2 7 15 20 31 159 0 30 53
...
3 2 21 17 06 101 176 0 68 135
3 2 21 17 08 96 176 0 65 129
3 2 21 17 10 92 176 0 62 117
...
3 2 28 18 52 0 2 0 00 0
3 2 28 18 54 0 1 0 00 0
3 2 28 18 56 0 1 0 00 0
3 2 28 18 58 0 1 0 00 0
3 2 28 19 00 0 0 0 00 0

```

*Figuur 7.10: Het tekstbestand "ZW-02-2003" met de meetgegevens van de maand februari 2003 voor het ZW-paneel.*

Om zo'n situaties te vermijden en om de meetgegevens overzichtelijk te collecteren, werd ervoor gekozen om alle meetgegevens van 1 maand voor 1 paneel in 1 tekstbestand te verzamelen. De naam van het tekstbestand moet dan alleen nog maar het paneel, de maand en het jaar bevatten. Zo zal het tekstbestand voor de meetgegevens van de maand februari 2003 voor het ZW-paneel de volgende naam dragen: "ZW-02-2003".

Om de programmacode eenvoudig te houden, werd ervoor gekozen de leestekens in het tekstbestand te vervangen door spaties (dit kan heel eenvoudig gebeuren in elke tekstverwerker, zoals bvb. Microsoft Wordpad, met het commando "vervangen door..."). Voor de maand februari zal het tekstbestand ZW-02-2003 eruit zien zoals op *figuur 7.10*. Opdat het programma "Zonnecentrale" de tekstbestanden zou vinden, is het noodzakelijk dat de tekstbestanden zich in dezelfde map (directory) bevinden als het programma.

Samengevat dient de gebruiker de volgende handelingen te doen opdat het programma de meetgegevens zou kunnen uitlezen:

- Verzamel van elk paneel van elke maand afzonderlijk de meetgegevens chronologisch en noem de tekstbestanden als volgt: (paneel)-(maand)-(jaar), bvb voor juni 2002 worden de tekstbestanden: "ZW-06-2002" en "NO-06-2002".
- Vervang de leestekens in het tekstbestand door spaties met het commando "vervangen door..."
- Plaats de tekstbestanden in dezelfde map als het programma "Zonnecentrale".

## **7.4 De website**

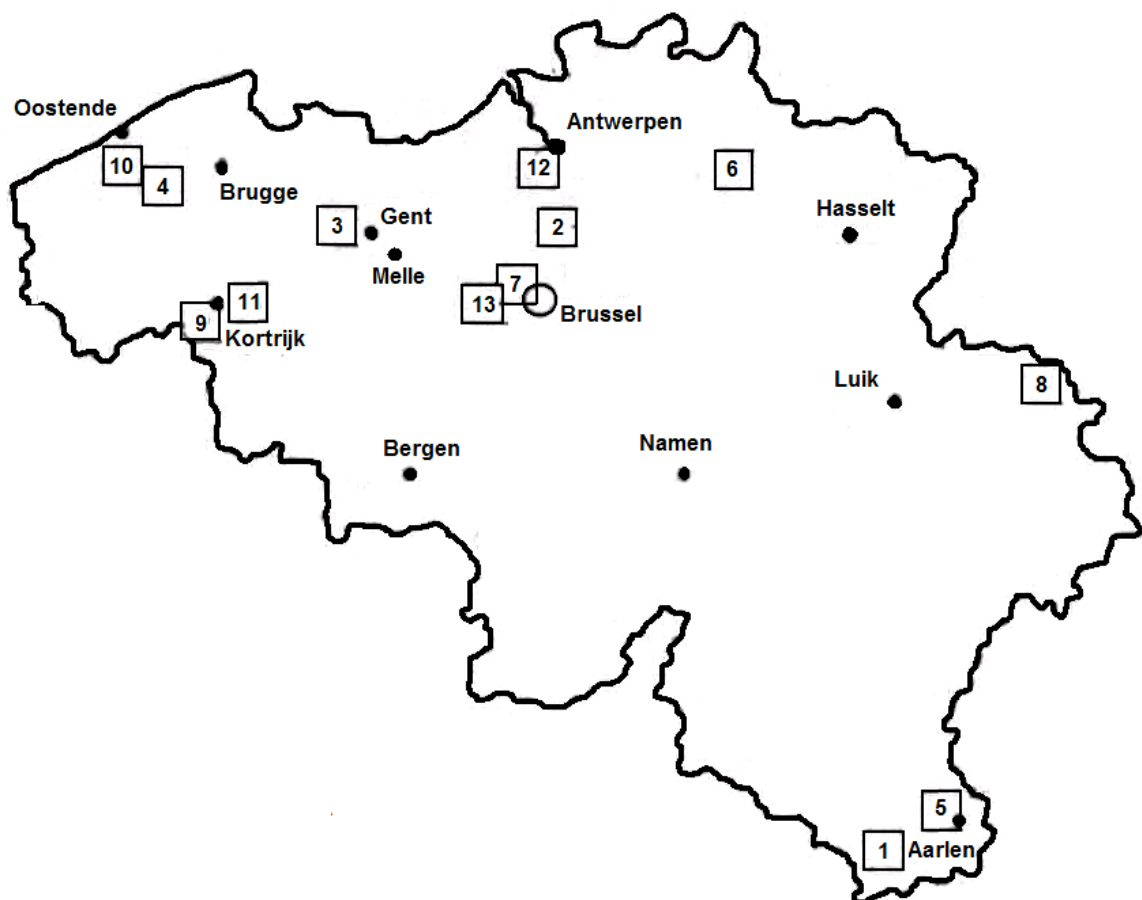
Over de fotovoltaïsche zonnepanelen op de Proefhoeve te Melle werd een website gecreëerd door Prof. Alex De Vos. Deze website bevat niet alleen info over de zonnecentrale, maar ook geactualiseerde resultaten zoals bvb. de maandgrafiek van de elektriciteitsproductie voor de periode maart 2002 tot februari 2003. Deze website is te vinden op het volgende adres:

<http://www.elis.ugent.be/ELISgroups/solar/projects/melle2.html>

## Hdst. 8: Vergelijking van de meetresultaten met andere zonnecentrales.

### **8.1 Vergelijking met andere netgekoppelde systemen**

Zoals reeds meerdere malen besproken, werd in het kader van het project “fotovoltaïsche zonnecelsystemen voor onderwijsinstellingen” [2] 118 onderwijsinstellingen, verspreid over heel België, voorzien van een fotovoltaïsch systeem. De meerderheid van de systemen bestaan uit autonome systemen, maar er werden 30 systemen aan het elektriciteitsnet gekoppeld. Dertien van deze netgekoppelde systemen zullen we nu vergelijken met de meetresultaten van de netgekoppelde zonnecentrale op de Proefhoeve te Melle.



*Figuur 8.1: Ligging van de 13 andere netgekoppelde fotovoltaïsche systemen. Ook Melle is weergegeven op de kaart.*

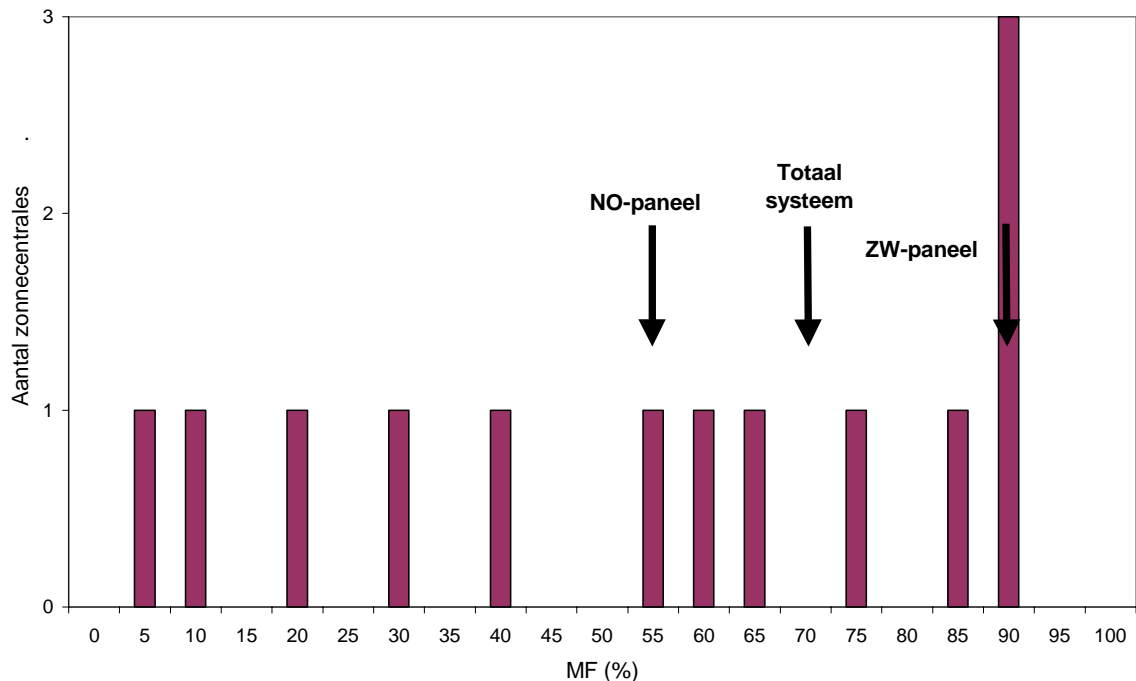
Tabel 8.1 geeft een overzicht van de 13 andere zonnecentrales voor het jaar 1999. Figuur 8.1 toont de ligging van deze fotovoltaïsche systemen. Ook Melle is weergegeven op de kaart van België.

nr.	Instelling	Meetinterval	MF
1	ISI Pierrard	2 min.	90 %
2	De Naeyer Instituut	variabel	83 %
3	BME	5 min.	60 %
4	Katho VTI	1 uur	75 %
5	ISI	10 min.	5 %
6	KH Kempen	5 min.	55 %
7	Hephsisi	2 min.	41 %
8	RSI	5 min.	67 %
9	Katho VHTI	2 min.	92 %
10	VTI Oostende	variabel	88 %
11	VTI Waregem	2 min.	30 %
12	KdG	2 min.	10 %
13	KTA	2 min.	22 %
Gemiddelde			55 %
Proefhoeve Melle	NO-paneel	variabel (2 & 10 min.)	54 %
Proefhoeve Melle	ZW-paneel	variabel (2 & 10 min.)	89 %
Proefhoeve Melle	Totaal systeem	variabel (2 & 10 min.)	71 %

*Tabel 8.1: Overzicht van het meetinterval en de meetfractie MF van de zonnecentrale te Proefhoeve Melle en van 13 andere netgekoppelde systemen.*

Het meetinterval tussen de metingen voor de zonnecentrale op de Proefhoeve is variabel. Gedurende de bestudeerde meetperiode (7 maart 2002 tot en met 6 maart 2003) bedroeg gedurende 79 dagen het meetinterval 10 minuten. De andere dagen werd er om de 2 minuten data weggeschreven naar het geheugen van de datalogger. In tabel 8.1 zijn de

meetintervallen van de andere zonnecentrales weergegeven. We merken dat het meetinterval bijna altijd vrij kort gehouden werd. Meestal werd er om de 2 minuten gemeten.



*Figuur 8.2: De spreiding van de meetfractie MF voor de verschillende zonnecentrales. De MF van de zonnecentrale op de Proefhoeve is weergegeven met pijlen, en is niet begrepen in het histogram.*

Ook de meetfractie MF (zie §4.1) voor de verschillende systemen en voor de zonnepanelen op de Proefhoeve zijn weergegeven in *tabel 8.1*. Deze gegevens werden grafisch voorgesteld in een histogram (*figuur 8.2*). Daaruit blijkt dat, in vergelijking met de andere systemen, de meetfractie MF heel goed is voor het ZW-paneel (89 %). Ook de meetfractie voor het totale systeem (het NO- en het ZW-paneel samen), nl. 71 % bevindt zich ruim boven het gemiddelde van de 13 andere systemen (gemiddelde = 55 %). De MF van het NO-paneel is met zijn 54 % ongeveer gelijk aan het gemiddelde en is te wijten aan het verlies van data besproken in §3.3.

*Tabel 8.2* geeft een overzicht van de verschillende rendementen (zie ook §4.7): het rendement van de zonnepanelen  $\eta_{DC}$  dat aangeeft met welk rendement het invallende

vermogen van de zonnestraling wordt omgezet naar gelijkstroom, het invertorrendement  $\eta_{inv}$  dat aangeeft hoe goed de invertor de gelijkstroom omzet naar wisselstroom en de systeemefficiëntie  $\eta_{sys}$  die het product van de twee vorige rendementen is.

nr.	$\eta_{DC}$	$\eta_{inv}$	$\eta_{sys}$
1	11,3 %	68,7 %	7,7 %
2	10,4 %	88,3 %	9,2 %
3	10,6 %	86,2 %	9,1 %
4	10,9 %	88,5 %	9,6 %
5	9,7 %	79,4 %	7,7 %
6	11,1 %	84,9 %	9,4 %
7	10,8 %	88,1 %	9,5 %
8	10,7 %	85,6 %	9,1 %
9	13,1 %	86,7 %	11,3 %
10	12,6 %	86,7 %	10,9 %
11	12,5 %	87,5 %	10,9 %
12	8,6 %	91,7 %	7,8 %
13	12,7 %	87,6 %	11,2 %
Gemiddeld	11,1 %	85,4 %	9,5 %
Proefhoeve NO-paneel	10,0 %	85,9 %	8,6 %
Proefhoeve ZW-paneel	10,0 %	88,9 %	8,9 %
Proefhoeve Totaal systeem	10,0 %	87,6 %	8,8 %

*Tabel 8.2: Overzicht van de rendementen van de zonnecentrale te Proefhoeve Melle en van de 13 andere netgekoppelde systemen.*

Uit *figuur 8.3* blijkt dat, in vergelijking met de andere zonnecentrales, het rendement van de zonnecellen  $\eta_{DC}$  van de zonnecentrale op de koestal te Melle niet zo hoog is ( $\eta_{DC} = 10,0 \%$ ). Er zijn slecht 2 van de 13 zonnecentrales waarvan het rendement van de

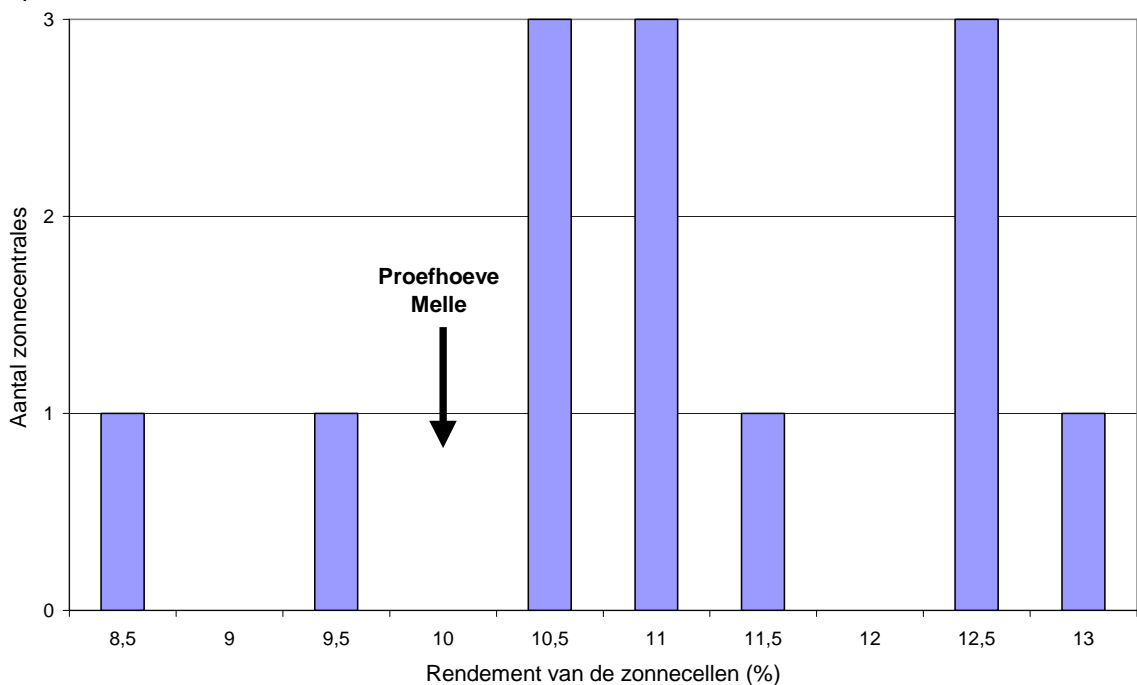


zonnecellen lager ligt. Het gemiddelde zonnecelrendement van de andere netgekoppelde systemen bedraagt 11,1 %

Dit rendement van 10 % is minder dan het nominale rendement:

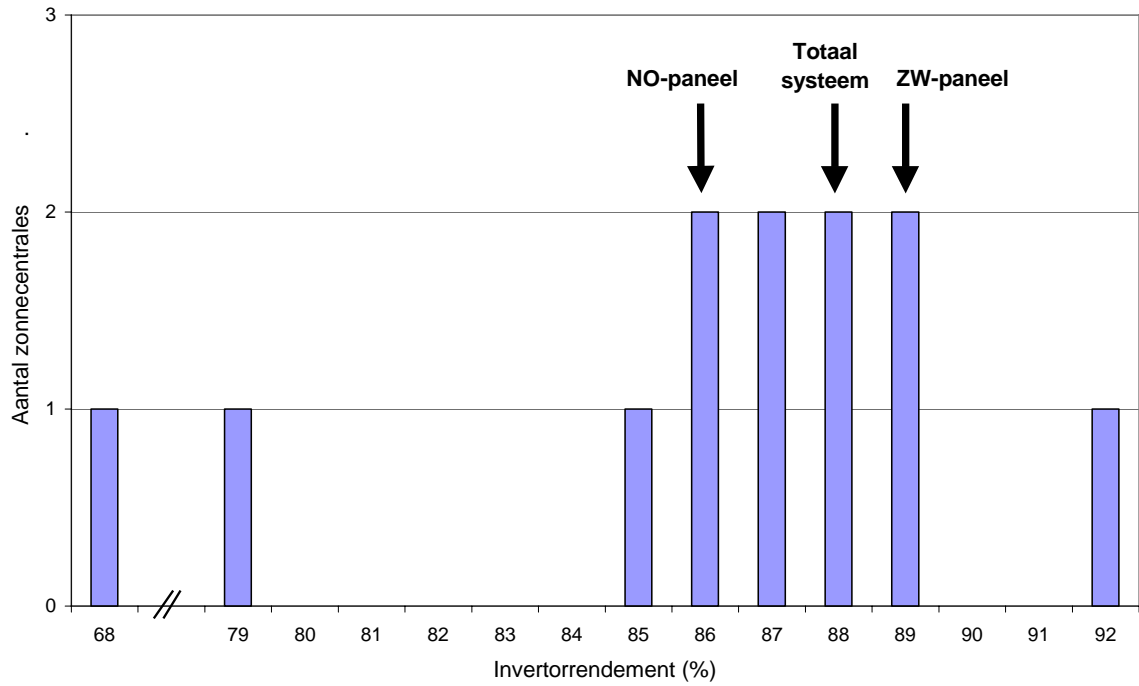
$$\eta_{nom} = \frac{82,8 \text{ Wp}}{1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 0,735 \text{ m}^2} = 11,3 \% \quad (\text{VIII.1})$$

vermits het rendement daalt als de instraling kleiner is dan de nominale 1000 W/m<sup>2</sup> en vermits het rendement daalt bij hogere temperaturen (zie §4.7).

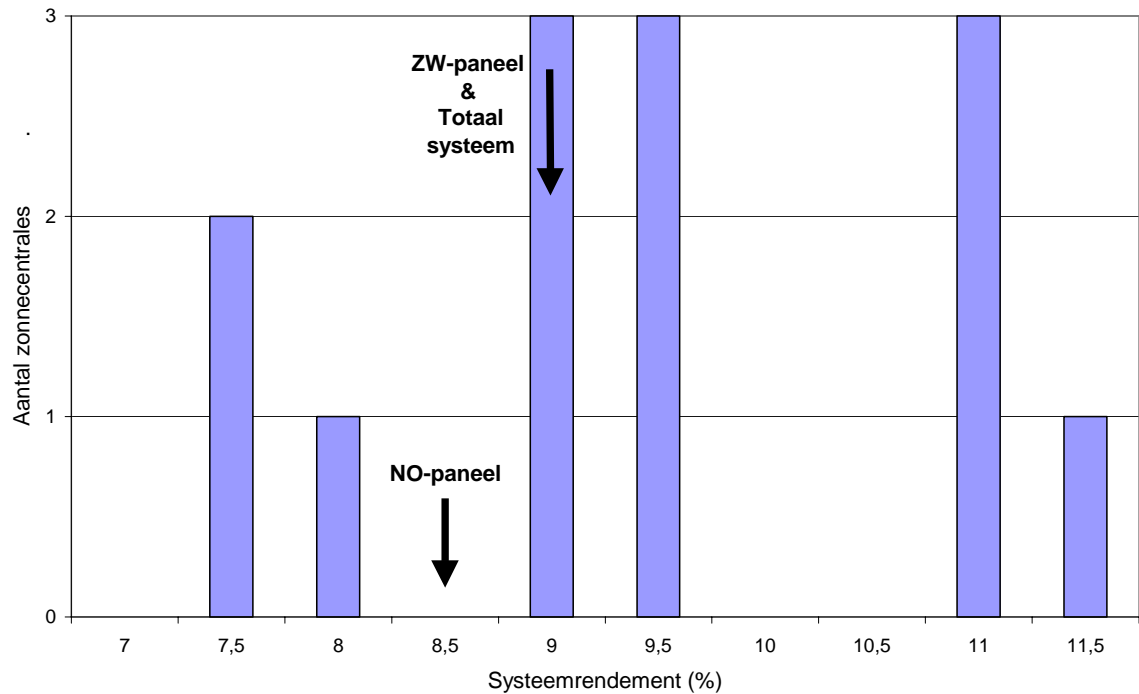


*Figuur 8.3: De spreiding van het rendement van de zonnecellen  $\eta_{DC}$  voor de verschillende zonnecentrales. Het zonnecelrendement van het fotovoltaïsche systeem op de Proefhoeve is weergegeven met een pijl, en is niet begrepen in het histogram.*

Uit *figuur 8.4* volgt dat de invertor van het ZW-paneel een vrij goed rendement kent (88,9 %). Het invertorrendement van het NO-paneel (85,9 %) is echter niet zo goed. Het totale systeem kent met zijn 87,6 % een invertorrendement hoger dan het gemiddelde van 85,4 %.



*Figuur 8.4: De spreiding van het invertorrendement  $\eta_{inv}$  voor de verschillende zonnecentrales. Het invertorrendement van het fotovoltaïsche systeem op de Proefhoeve is weergegeven met pijlen, en is niet begrepen in het histogram.*



*Figuur 8.5: De spreiding van de systeemefficiëntie  $\eta_{\text{sys}}$  voor de verschillende zonnecentrales. De systeemefficiëntie van het fotovoltaische systeem op de Proefhoeve is weergegeven met pijlen, en is niet begrepen in het histogram.*

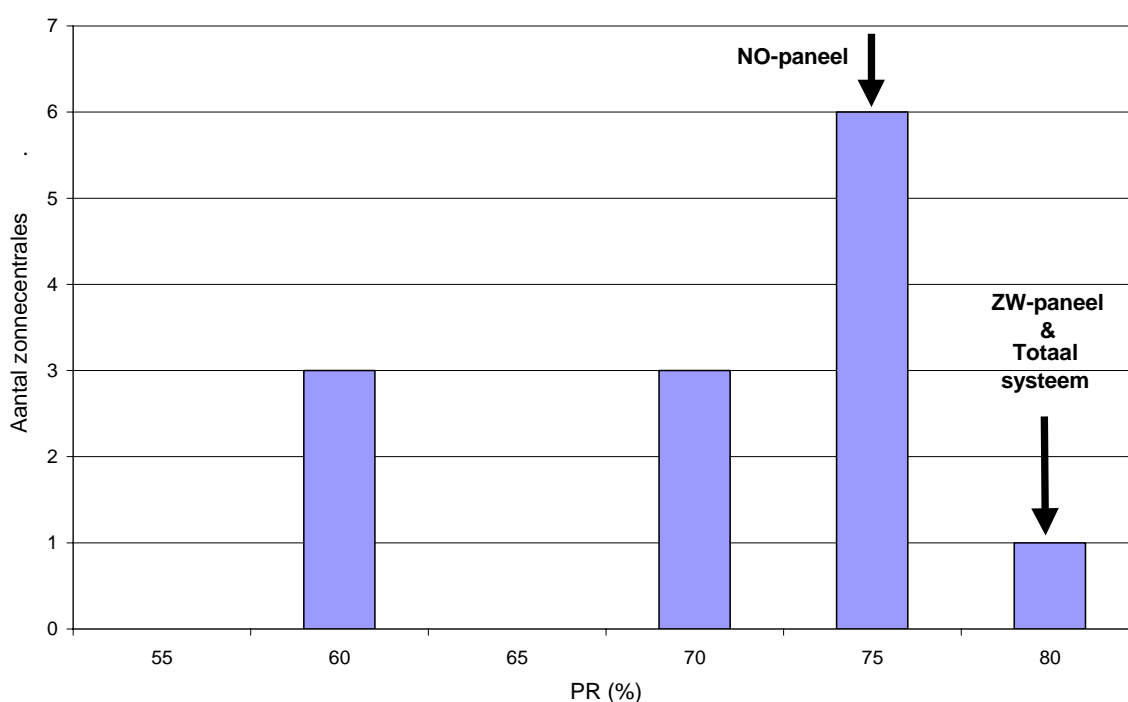
De uiteindelijke systeemefficiëntie  $\eta_{\text{sys}}$  (figuur 8.5) is slechter dan het gemiddelde (9,5 %), zowel voor het NO-paneel (8,6 %), als voor het ZW-paneel (8,9 %), als voor beide panelen samen (8,8 %). Dit is niet te wijten aan het invertorrendement, maar aan het minder goede rendement van de zonnecellen  $\eta_{\text{DC}}$ .

nr.	Yr (h/dag)	Ya (h/dag)	Yf (h/dag)	PR (%)
1	2,78	2,36	1,62	58
2	2,69	2,13	1,88	70
3	1,47	1,17	1,00	68
4	2,71	2,25	1,99	73
5	0,03	0,02	0,02	58
6	1,28	1,10	0,94	74
7	1,28	1,07	0,95	74
8	1,84	1,49	1,28	70
9	2,75	2,51	2,17	79
10	3,30	2,77	2,40	73
11	0,56	0,47	0,41	73
12	0,08	0,05	0,05	60
13	0,63	0,54	0,47	74
Gemiddeld	1,65	1,38	1,17	70
Proefhoeve NO-paneel	3,21	2,84	2,44	76
Proefhoeve ZW-paneel	2,60	2,39	2,13	82
Proefhoeve Totaal systeem	2,83	2,56	2,25	80

*Tabel 8.3: Overzicht van de performantie-indices van de zonnecentrale te Proefhoeve Melle en van de 13 andere netgekoppelde systemen.*

De verschillende performantie-indices (definities en bespreking: zie §4.8) van de verschillende systemen zijn weergegeven in *tabel 8.3*.

De performantieverhouding PR voor de verschillende systemen werd uitgezet in *figuur 8.6*. Zoals reeds vermeld in §4.8 heeft een goed onderhouden zonnecentrale een gemiddelde performantieverhouding PR van minstens 0,72. Uit het histogram blijkt dat de zonnecentrale op de Proefhoeve een goede performantieverhouding heeft, en ruim uitsteekt boven het gemiddelde van 70 %.



*Figuur 8.6: De spreiding van de performantieverhouding PR voor de verschillende zonnecentrales. De performantieverhouding van het fotovoltaïsche systeem op de P Proefhoeve is weergegeven met pijlen, en is niet begrepen in het histogram.*

## **8.2 Vergelijking met de zonnecentrale van de Hogeschool West-Vlaanderen, Kortrijk**

Op het dak van de Hogeschool West-Vlaanderen (Departement P.I.H., Kortrijk) staan op het dak 10 fotovoltaïsche zonnepanelen uit polykristallijn silicium. Elk paneel heeft een

oppervlakte van 0,93 m<sup>2</sup> en onder standaard testomstandigheden bedraagt het piekvermogen 110 Wp. De panelen zijn naar het zuiden gericht en 30° geheld. De fotovoltaïsche installatie is sinds januari 2001 in gebruik. [8]

Een vergelijking tussen de kenmerken van de zonnecentrale te Kortrijk en deze op de Proefhoeve te Melle, is te vinden in *tabel 8.4*. Het rendement is berekend aan de hand van het piekvermogen gedeeld door het product van 1000 W/m<sup>2</sup> en de oppervlakte (zie *formule VIII.1*)

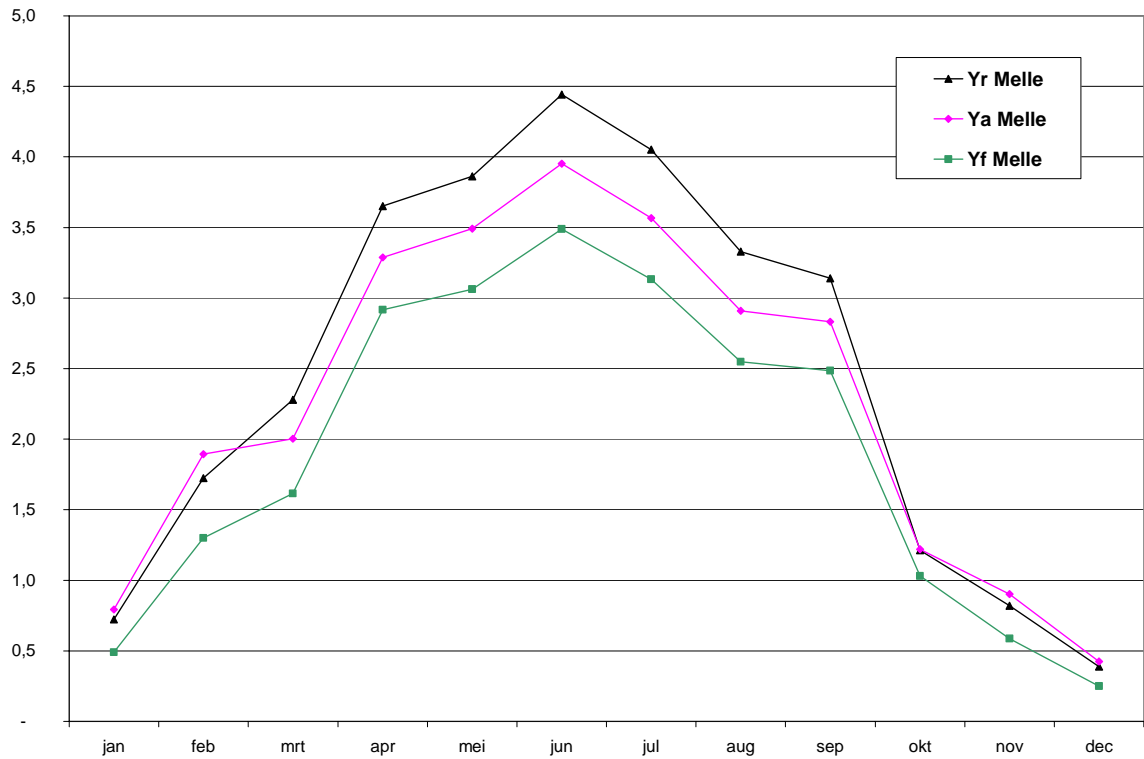
	Melle	Kortrijk
Totale oppervlakte	16,1 m <sup>2</sup>	9,3 m <sup>2</sup>
Nominaal vermogen	1,8 kWp	1,1 kWp
Oriëntatie	NO & ZW	Z
Zenitafstand	17°	30°
Nominaal rendement	11,3 %	11,8 %
Invertors	2x Sunny Boy SWR 700	Sunny Boy SWR 850
Meetperiode	7 mrt. 2002 – 6 mrt. 2003	1 jan. 2002 – 31 dec. 2002
Jaaropbrengst	1270 kWh	1045 kWh

*Tabel 8.4: Vergelijking van de kenmerken van de zonnecentrales te Melle en te Kortrijk.*

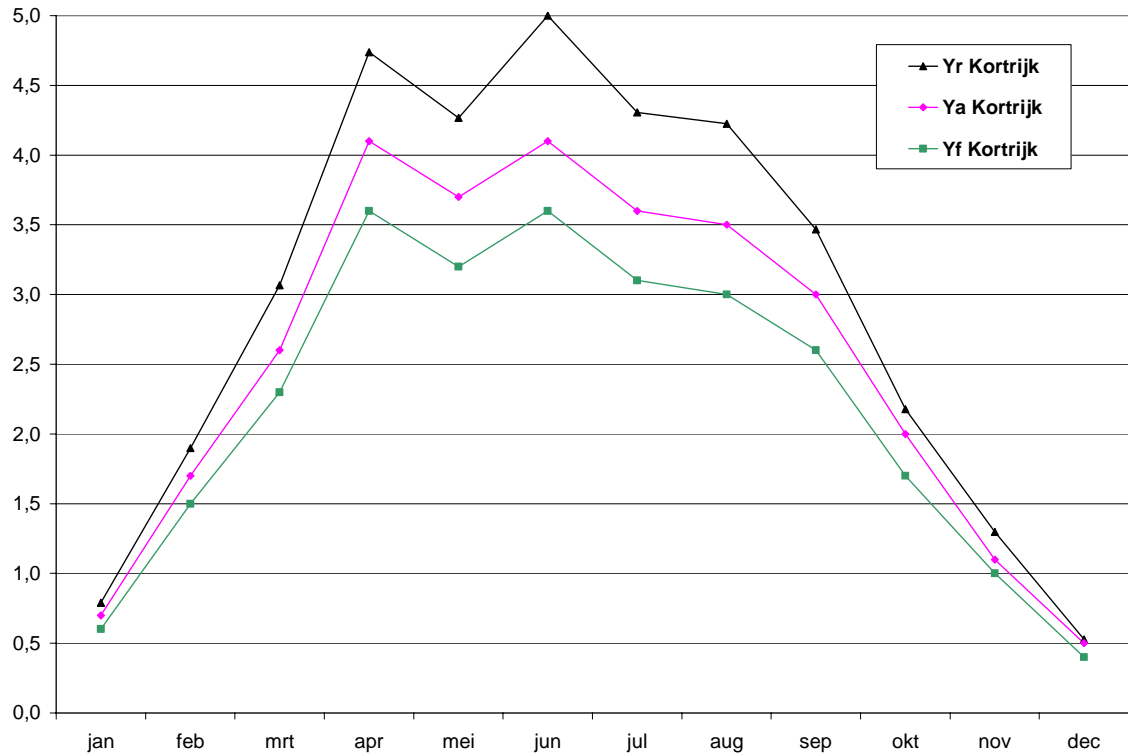
*Figuur 8.7* geeft de performantie-indices voor elke maand voor de zonnecentrale op de Proefhoeve te Melle van de bestudeerde periode maart 2002 – februari 2003. De performantie-indices voor elke maand voor het fotovoltaïsch systeem te Kortrijk voor de periode 2002 zijn weergegeven in *figuur 8.8*. Uiteraard zijn de performantie-indices hoger in de zomerperiode dan in de winterperiode vermits ze rechtevenredig zijn met de geproduceerde energie (definities: zie §4.8).

Op *figuur 8.9* is duidelijk te zien dat de referentie-opbrengst Yr van de zonnecentrale in Kortrijk steeds hoger is dan die van de Proefhoeve. Deze parameter geeft weer hoeveel uur referentiezonnestraling van 1kW/m<sup>2</sup> er gemiddeld per dag nodig is om evenveel invallende energie voort te brengen. Concreet wil dit zeggen dat er per oppervlakte-eenheid meer invallend vermogen op de zonnepanelen in Kortrijk invalt dan op de zonnepanelen in

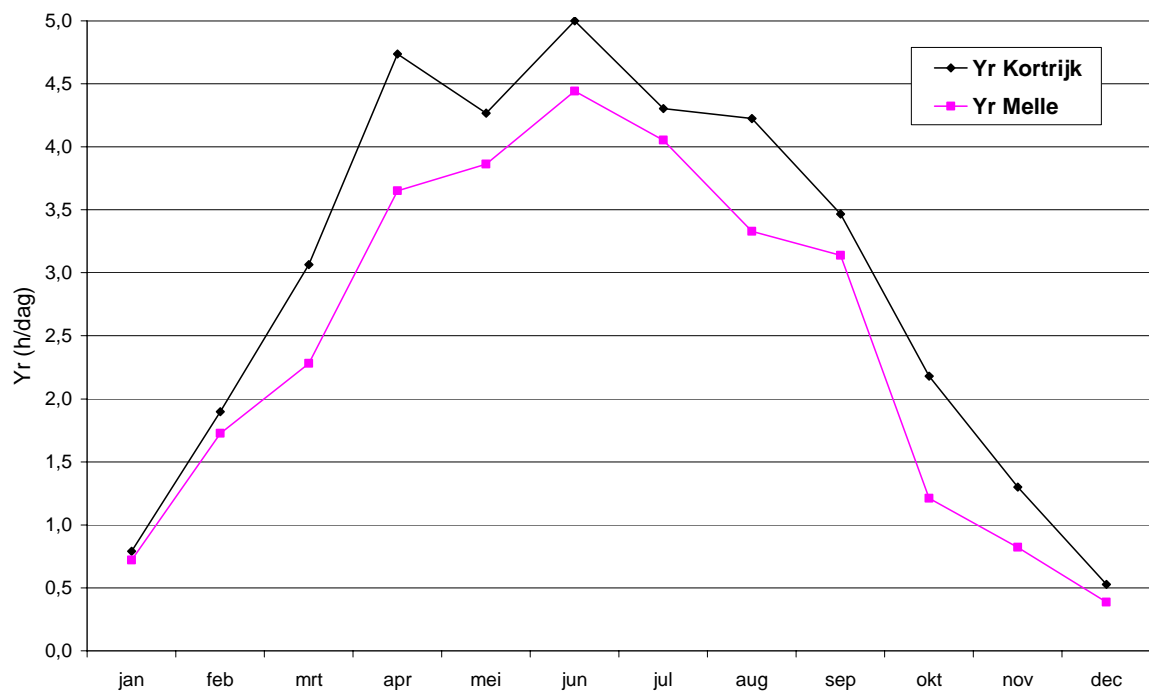
Melle. De reden is voor een deel te vinden in de betere helling van de panelen ( $30^\circ$ ) en vooral in de goede oriëntatie (naar het zuiden).



*Figuur 8.7: De performantie-indices voor de zonnecentrale op de Proefhoeve te Melle in functie van de maand*



*Figuur 8.8: De performantie-indices voor de zonnecentrale in Kortrijk in functie van de maand.*



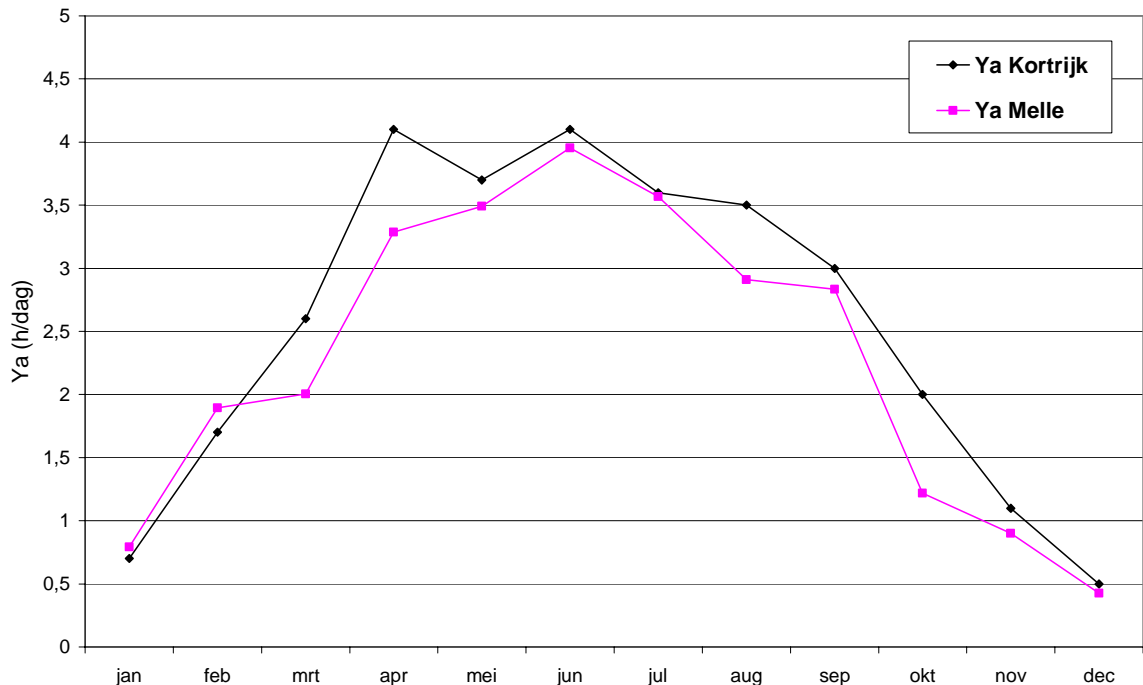
*Figuur 8.9: Vergelijking tussen de maandelijkse referentieopbrengst Yr van de zonnecentrale te Kortrijk en te Melle*

Uit *figuren 5.4* en *5.5* kunnen we voorspellen:

$$\frac{Y_r(\text{Kortrijk})}{Y_r(\text{Melle})} = \frac{123 \frac{W}{m^2}}{0,5 \cdot 118 \frac{W}{m^2} + 0,5 \cdot 108 \frac{W}{m^2}} = 1,09 \quad (\text{VIII.2})$$

*Figuur 8.10* toont aan dat de module-opbrengst  $Y_a$  van de zonnecentrale in Kortrijk bijna altijd hoger is dan die van de Proefhoeve. Deze parameter geeft het aantal uur referentiezonnestraling van  $1 \text{ kW/m}^2$  weer die er gemiddeld per dag nodig is om evenveel DC-energie te genereren. Opnieuw is de verklaring te vinden in de betere oriëntatie en helling van de panelen te Kortrijk.

Rekening houdend met bovenstaande is het dan niet te verbazen dat ook de finale opbrengst  $Y_f$  van het fotovoltaïsche systeem te Kortrijk bijna altijd hoger ligt dan die van de Proefhoeve te Melle, zoals te zien is op *figuur 8.11*.



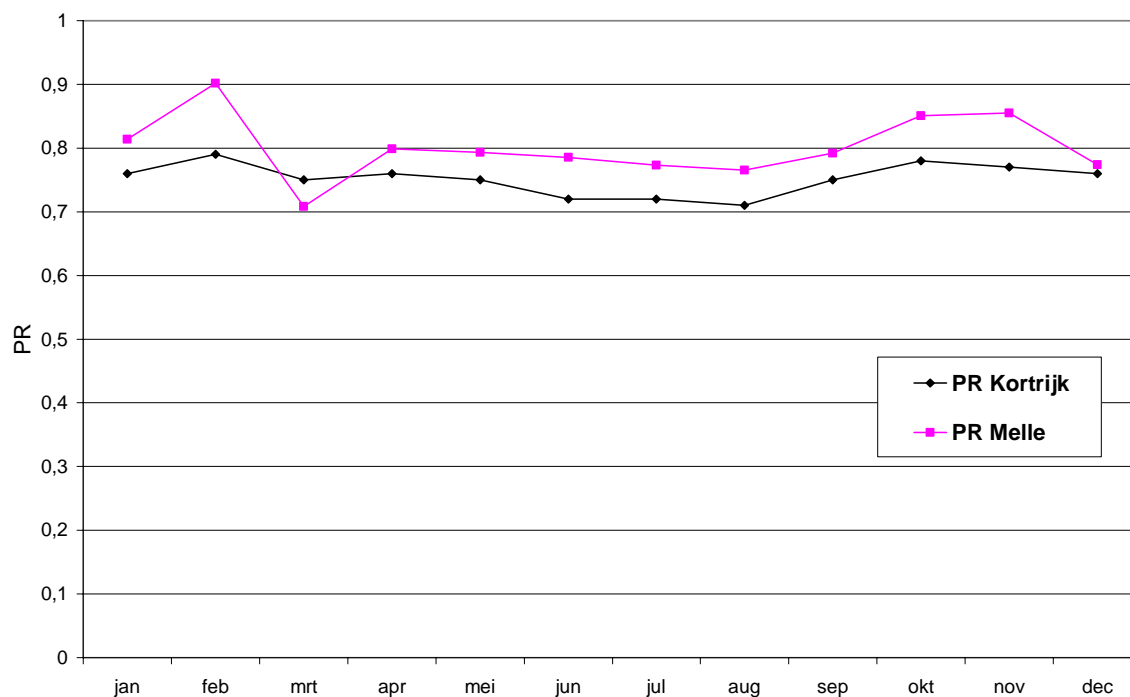
*Figuur 8.10: Vergelijking tussen de maandelijkse module-opbrengst  $Y_a$  van de zonnecentrale te Kortrijk en te Melle*





*Figuur 8.11: Vergelijking tussen de maandelijkse finale opbrengst Yf van de zonnecentrale te Kortrijk en te Melle*

Een vergelijking van de maandelijkse performantieverhoudingen PR van beide zonnecentrales is te vinden in *figuur 8.12*. Deze parameter geeft de verhouding weer tussen de gerealiseerde opbrengst en de verwachte opbrengst zonder systeemverliezen. Beschouwen we 0,70 opnieuw (zie §4.8) als de minimumgrens voor een goed onderhouden systeem, dan kunnen we stellen dat beide systemen heel goed onderhouden zijn. De PR voor de zonnecentrale in Melle bevindt zich meestal boven die van het systeem in Kortrijk.



*Figuur 8.12: Vergelijking tussen de maandelijkse performantieverhouding PR van de zonnecentrale te Kortrijk en te Melle*

Samengevat kunnen we stellen dat, door de betere helling en oriëntatie van de panelen, de zonnecentrale in Kortrijk meer elektriciteit zal produceren per oppervlakte-eenheid paneel, terwijl de zonnecentrale in Melle gekenmerkt wordt door iets minder systeemverliezen.

## **Hdst. 9: Conclusies**

In het kader van het nationaal project “Fotovoltaïsche zonnecelsystemen voor onderwijsinstellingen” installeerde de Universiteit Gent op de Proefhoeve te Melle een fotovoltaïsche zonnecentrale van 1,8 kWp. In ruil voor de toegestane subsidies diende de Universiteit twee onderzoeksopdrachten uit te voeren.

De eerste contractueel verplichte onderzoeksopdracht is het verwerken van de meetgegevens van de zonnecentrale. De meetresultaten van 1 volledig jaar, vanaf 7 maart 2002 tot en met 6 maart 2003 zijn besproken in hoofdstuk 4. De exploitatieproblemen die bij de verwerking van de data aan het licht kwamen, worden uitgebreid besproken in hoofdstuk 3. Het maximaal gegenereerde wisselstroomvermogen door de zonnecentrale bedraagt 1422 W (op 14 mei 2002 om ongeveer 13h). De totale energieproductie van de zonnepanelen die op het elektrisch net (230 V, 50 Hz) gestoken werd gedurende 1 jaar bedraagt 1270 kWh. Het fotovoltaïsch systeem werkt met een rendement  $\eta_{\text{sys}}$  van 8,8 %, wat het product is van het rendement van de zonnecellen  $\eta_{\text{DC}}$  (10,0 %) en het inverterrendement  $\eta_{\text{inv}}$  (87,6%). Vergelijking met andere soortgelijke zonnecentrales uit het nationaal project leert dat de zonnecentrale op de Proefhoeve een goed functionerende zonnecentrale is.

Het tweede onderzoek bestudeert of de fotovoltaïsche installatie een deel van de lokale consumptie van twee melkkoeltanken in de koestal voor zijn rekening kan nemen. Vermits er nog geen meetgegevens zijn van het koelvermogen tijdens de belangrijke zomerperiode, is het te vroeg om hier definitieve conclusies te trekken. Momenteel ziet het er echter reeds naar uit dat de zonnecentrale onvoldoende elektriciteit produceert om de volledige consumptie van beide koeltanken te kunnen dragen.

In het kader van deze scriptie werd een programma “Zonnecentrale” gecreëerd om de meetgegevens grafisch voor te stellen aan bezoekers van de Proefhoeve. Ook dit programma draagt bij tot de langetermijnvisie van de Proefhoeve: duurzame landbouw.

## Bijlage A: Broncode "Zonnecentrale"

```

/*****
/*
/*          ZONNECENTRALE
/*          FOTOVOLTAISCHE CENTRALE TE PROEFHOEVE, MELLE
/*          Vakgroep ELIS
/*          Invallende zonnestraling (W/m^2) en uitgaand vermogen (W)
/*          in functie van de tijd
/*          Auteur: Ben Minnaert
/*          m.m.v Prof. Alex De Vos & Prof. Marc Burgelman
/*          November 2002
*****/

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////BIBLIOTHEKEN EN CONSTANTEN////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

#include <utility.h>
#include <userint.h>
#include <formatio.h>
#include <ansi_c.h>
#include <analysis.h>
#include "koeiestal.h"
# define PI      3.141592
# define NMAX    2001
# define NLABEL  26

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////VARIABELEN////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

int    kleur[16], kl;
int    grafiekh, parametersh, meerinfoh, helph, schaalh;
int    dakorientatie, teller;
int    jaar_meting, maand_meting, dag_meting, n;
int    xauto, yauto;
int    status, status2; meting;
char   datafile[MAX_PATHNAME_LEN], datafile2[MAX_PATHNAME_LEN],
zonnepaneel[41];
char   legende_textbox[1001], legende2_textbox[1001],
legende3_textbox[1001];
char   legende4_textbox[1001], legende5_textbox[1001],
legende6_textbox[1001];
char   eenheid[12], eenheid2[12], grootheid[41], grootheid2[41];
double xdata[NMAX], ydata[NMAX], xdata1[NMAX], ydata1[NMAX], Pgem,
PgemPac;
double xmin, xmax, xstap, ymin, ymax, ystap;
int    getaljaar, getalmaand, getaldag, getaluur, getalminuut;
int    getalPac, getalUdc, getalGi;
int    getalvoorkommaIdc, getalnakommaIdc;

void Initialiseer    (void);
void Legende        (void);
void TekenGeometrie (void);
void DatumTijd      (void);
void ZoekData       (void);
void LeesData       (void);
void LeesDataPac    (void);
void MaakGrafiek    (void);

```

```

/////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////////////////////////////////////////////////////INITIALISATIE/////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////////////////////////////////////////////////////

void Initialiseer(void) {
int i;
// initialisatie van de meetdatum
jaar_meting = 2; // jaar 2002 = 2
maand_meting = 1; // maand 1 = januari
dag_meting = 1;

// initialisatie van de teller gebruikt in de functies Wisgrafiek en
Maakgrafiek
teller=0;

// initialisatie status2
// Voor totaal (NO+ZW): als status2<0, dan bestaat er geen bestand
// met de juiste data. (Meetgegevens niet beschikbaar)
status2=-1;

// initialisatie van de dakorientatie
// dakorientatie==0 voor noordoost paneel
// dakorientatie==1 voor zuidwest paneel
// dakorientatie==2 voor noordoost+zuidwest (totaal)
dakorientatie = 1; // zuidwestpaneel
Fmt(zonnepaneel, "%s<%s", "zuidwest");

// initialisatie schalen
xauto = 1; // tijdsas automatisch geschaald
xmin = 0;
xmax = 24;
xstap = 3;
yauto = 1;
ymin = 0;
ymax = 1000;
ystap = 200;

//Initialisatie data die moet uitgelezen worden uit tekstbestand
getaljaar =2; // jaar 2002 = 2
getalmaand =1; // maand 1 = januari
getaldag =1;
getaluur =0;
getalminuut =0;
getalPac =0;
getalUdc =0;
getalvoorkommaIdc =0; //Idc = getalvoorkommaIdc , getalnakommaIdc
getalnakommaIdc =0; //bvb Idc = 3,1 ,dan getalvoorkommaIdc=3
getalGi =0; //getalnakommaIdc=1

// Tekst-box met legende leegmaken
Fmt(legende_textbox, "%s<%s", "");
Fmt(legende2_textbox, "%s<%s", "");
Fmt(legende3_textbox, "%s<%s", "");
Fmt(legende4_textbox, "%s<%s", "");
Fmt(legende5_textbox, "%s<%s", "");
Fmt(legende6_textbox, "%s<%s", "");

//initialisatie eenheid en grootheid (leegmaken)
Fmt(eenheid, "%s<%s", "");
Fmt(eenheid2, "%s<%s", "");
Fmt(grootheid, "%s<%s", "");

```

```

//initialisatie welke meting
//meting =1 : Pac
//meting =4 : Gi
meting=0;

// initialisatie kleuren
kl = 0; // net voor de eerste grafiekkleur
// kleurdefinities
for(i=0; i<16; i++) {
  kleur[0] = VAL_WHITE;
  kleur[1] = VAL_RED;
  kleur[2] = VAL_BLUE;
  kleur[3] = VAL_DK_GREEN;
  kleur[4] = VAL_DK_GRAY;
  kleur[5] = VAL_MAGENTA;
  kleur[6] = VAL_DK_CYAN;
  kleur[7] = VAL_DK_RED;
  kleur[8] = VAL_DK_BLUE;
  kleur[9] = VAL_YELLOW;
  kleur[10] = VAL_CYAN;
  kleur[11] = VAL_DK_MAGENTA;
  kleur[12] = VAL_DK_YELLOW;
  kleur[13] = VAL_LT_GRAY;
  kleur[14] = VAL_GREEN;
  kleur[15] = VAL_BLACK;
}

// schrijven van deze initialisaties in de userinterface
SetCtrlVal (grafiekh, grafiek_jaar, jaar_meting);
SetCtrlVal (grafiekh, grafiek_maand, maand_meting);
SetCtrlVal (grafiekh, grafiek_dag, dag_meting);

SetCtrlVal (grafiekh, grafiek_orientatie, dakorientatie);
  SetCtrlVal (schaalh, schaal_xas, xauto);
  SetCtrlVal (schaalh, schaal_xmin, xmin);
  SetCtrlVal (schaalh, schaal_xmax, xmax);
  SetCtrlVal (schaalh, schaal_xstap, xstap);
SetCtrlVal (schaalh, schaal_yas, yauto);
SetCtrlVal (schaalh, schaal_ymin, ymin);
SetCtrlVal (schaalh, schaal_ymax, ymax);
SetCtrlVal (schaalh, schaal_ystap, ystap);

DatumTijd();
}

////////////////////////////////////
//////////////////////////////////////FUNCTIES////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

////////////////////////////////////

// CallBackFunction Quit
int Quit(int panel, int control, int event, void *callbackData, int
eventData1, int eventData2){
if (event == EVENT_COMMIT) {
  QuitUserInterface (0);
}
return 0;
}
////////////////////////////////////

```

```

// CallBackFunction PlotGrafiek
int PlotGrakiek(int panel, int control, int event, void *callbackData,
int eventData1, int eventData2){
if (event == EVENT_COMMIT) {
    DatumTijd();
    PrintPanel (grafiekh, "", 0, VAL_FULL_PANEL, 0);
}
return 0;
}

////////////////////////////////////

// CallBackFunction WisGrafiek
int WisGrakiek(int panel, int control, int event, void *callbackData,
int eventData1, int eventData2){
char textbox[1001];
if (event == EVENT_COMMIT) {
    // alle grafieken wissen
    DeleteGraphPlot (grafiekh, grafiek_grafiek, -1, VAL_IMMEDIATE_DRAW);
    // ook alle legende textboxen wissen
    Fmt(legende_textbox, "%s<%s", "");
    ResetTextBox (grafiekh, grafiek_legende, legende_textbox);
    Fmt(legende2_textbox, "%s<%s", "");
    ResetTextBox (grafiekh, grafiek_legende2, legende2_textbox);
    Fmt(legende3_textbox, "%s<%s", "");
    ResetTextBox (grafiekh, grafiek_legende3, legende3_textbox);
    Fmt(legende4_textbox, "%s<%s", "");
    ResetTextBox (grafiekh, grafiek_legende4, legende4_textbox);
    Fmt(legende5_textbox, "%s<%s", "");
    ResetTextBox (grafiekh, grafiek_legende5, legende5_textbox);
    Fmt(legende6_textbox, "%s<%s", "");
    ResetTextBox (grafiekh, grafiek_legende6, legende6_textbox);

    ProcessDrawEvents () ; // zodat het scherm geupdated wordt
    teller=0 ; //teller terug op nul zetten, zodat bovenste vakje terug
ingevuld

    //wordt
    kl = 0; // ook kleurvolgorde opnieuw beginnen
}
return 0;
}

////////////////////////////////////

// CallBackFunction Herschaal
int Herschaal(int panel, int control, int event, void *callbackData, int
eventData1, int eventData2){
int verderdoen, paneel, id, divisions;
double hulp;
if (event == EVENT_COMMIT) {
    // parameterpaneel als pop-up paneel oproepen
    InstallPopup (schaalh);
    verderdoen = 1;
    while(verderdoen) {
        GetUserEvent (1, &paneel, &id);
        if(id == schaal_ok) verderdoen = 0;
    }
    RemovePopup (0);
    // alle waarden terug aflezen (dus zeker ook de veranderde)
    GetCtrlVal (schaalh, schaal_xas, &xauto);
    GetCtrlVal (schaalh, schaal_xmin, &xmin);
}
}

```

```

GetCtrlVal (schaalh, schaal_xmax, &xmax);
GetCtrlVal (schaalh, schaal_xstap, &xstap);
GetCtrlVal (schaalh, schaal_yas, &yauto);
GetCtrlVal (schaalh, schaal_ymin, &ymin);
GetCtrlVal (schaalh, schaal_ymax, &ymax);
GetCtrlVal (schaalh, schaal_ystap, &ystap);
// schalen grafiek instellen
if(xauto) {
    SetAxisScalingMode (grafiekh, grafiek_grafiek, VAL_XAXIS,
VAL_AUTOSCALE, 0, 1);
}
else {
    if (xmax<xmin) {
        hulp = xmax; xmax = xmin; xmin = hulp;
    }
    if (xmax<xmin+xstap) xmax = xmin + xstap;
    divisions = (xmax-xmin)/xstap;
    if(xmax>xmin+divisions*xstap) divisions += 1;
    xmax = xmin + divisions*xstap; // xmax aanpassen zodat een geheel
aantal verdelingen xstap past
    SetCtrlVal (schaalh, schaal_xmax, xmax);
    SetAxisScalingMode (grafiekh, grafiek_grafiek, VAL_XAXIS, VAL_MANUAL,
xmin, xmax);
    SetCtrlAttribute (grafiekh, grafiek_grafiek, ATTR_XDIVISIONS,
divisions);
}
if(yauto) {
    SetAxisScalingMode (grafiekh, grafiek_grafiek, VAL_LEFT_YAXIS,
VAL_AUTOSCALE, 0, 1);
}
else {
    if (ymax<ymin) {
        hulp = ymax; ymax = ymin; ymin = hulp;
    }
    if (ymax<ymin+ystap) ymax = ymin + ystap; // er moet minstens 1 stap
zijn
    divisions = (ymax-ymin)/ystap;
    if(ymax>ymin+divisions*ystap) divisions += 1;
    ymax = ymin + divisions*ystap; // ymax aanpassen zodat een geheel
aantal verdelingen ystap past
    SetCtrlVal (schaalh, schaal_ymax, ymax);
    SetAxisScalingMode (grafiekh, grafiek_grafiek, VAL_LEFT_YAXIS,
VAL_MANUAL, ymin, ymax);
    SetCtrlAttribute (grafiekh, grafiek_grafiek, ATTR_YDIVISIONS,
divisions);
}

    ProcessDrawEvents();
}
return 0;
}

////////////////////////////////////

// CallbackFunctie Xschaal
int Xschaal(int panel, int control, int event, void *callbackData, int
eventData1, int eventData2){
if (event == EVENT_COMMIT) {
    GetCtrlVal (schaalh, schaal_xas, &xauto);
    if(xauto) {
        SetCtrlAttribute (schaalh, schaal_xmin, ATTR_DIMMED, 1);

```



```

        SetCtrlAttribute (schaalh, schaal_xmax, ATTR_DIMMED, 1);
        SetCtrlAttribute (schaalh, schaal_xstap, ATTR_DIMMED, 1);
    }
    else {
        SetCtrlAttribute (schaalh, schaal_xmin, ATTR_DIMMED, 0);
        SetCtrlAttribute (schaalh, schaal_xmax, ATTR_DIMMED, 0);
        SetCtrlAttribute (schaalh, schaal_xstap, ATTR_DIMMED, 0);
    }
}
return 0;
}

////////////////////////////////////////////////////////////////

// CallBackFunctie Yschaal
int Yschaal(int panel, int control, int event, void *callbackData, int
eventData1, int eventData2){
if (event == EVENT_COMMIT) {
    GetCtrlVal (schaalh, schaal_yas, &yauto);
    if(yauto) {
        SetCtrlAttribute (schaalh, schaal_ymin, ATTR_DIMMED, 1);
        SetCtrlAttribute (schaalh, schaal_ymax, ATTR_DIMMED, 1);
        SetCtrlAttribute (schaalh, schaal_ystap, ATTR_DIMMED, 1);
    }
    else {
        SetCtrlAttribute (schaalh, schaal_ymin, ATTR_DIMMED, 0);
        SetCtrlAttribute (schaalh, schaal_ymax, ATTR_DIMMED, 0);
        SetCtrlAttribute (schaalh, schaal_ystap, ATTR_DIMMED, 0);
    }
}
return 0;
}

////////////////////////////////////////////////////////////////

// CallBackFunctie TekenData
int TekenData(int panel, int control, int event, void *callbackData, int
eventData1, int eventData2){
if (event == EVENT_COMMIT) {

    Fmt(eenheid, "%s<%s", "W/m^2"); //invalend vermogen Gi in W/^2
    Fmt(grootheid, "%s<%s", "Inval. zonenergie op"); //Gi=invalend
vermogen
    Fmt(grootheid2, "%s<%s", "inval. zonenergie");

    meting=4; // Gi = meting 4

    ZoekData();

    if (dakorientatie<2) { // NO of ZW
        if (status>=0) { //Tekstbestand met meetgegevens
bestaat
            LeesData();
            if (Pgem>0) { // Binnen het bestaande bestand,
zijn de juiste meetgegevens beschikbaar
                MaakGrafiek();}
            else {
                Fmt(datafile, "%s<%s", ""); // datafile-naam
leegmaken
                MessagePopup ("Geen gegevens beschikbaar",

```

```

"Geen gegevens beschikbaar voor deze datum
!");
    }
}

if (dakorientatie==2) { // Totaal (NO+ZW)
if (status2>=0) { // Tekstbestand met meetgegevens bestaat
    LeesData();
    if (Pgem>0) { // Binnen het bestaande bestand, zijn de
        MaakGrafiek(); // juiste meetgegevens beschikbaar
    else {
        Fmt(datafile, "%s<%s", ""); // datafile-
naam leegmaken
        MessagePopup ("Onvoldoende gegevens
beschikbaar",
"Onvoldoende gegevens beschikbaar voor deze
datum !");
    }
}
}
}
return 0;
}

////////////////////////////////////

// CallBackFunctie TekenDataPac
int TekenDataPac(int panel, int control, int event, void *callbackData,
int eventData1, int eventData2){
if (event == EVENT_COMMIT) {

    Fmt(eenheid, "%s<%s", "W"); // vermogen Pac in Watt
    Fmt(eenheid2, "%s<%s", "kWh");
    Fmt(grootheid, "%s<%s", "Uitg. vermogen van"); //Pac=uitgaand
vermogen
    Fmt(grootheid2, "%s<%s", "uitg. vermogen");

    meting=1; // Pac=meting1

    ZoekData();

    if (dakorientatie<2) { // NO of ZW
        if (status>=0) { // Tekstbestand met
meetgegevens bestaat
            LeesDataPac();
            if (PgemPac>0) { // Binnen het bestaande
bestand, zijn de juiste meetgegevens beschikbaar
                MaakGrafiek();}
            else {
naam leegmaken
                Fmt(datafile, "%s<%s", ""); // datafile-
                MessagePopup ("Geen gegevens beschikbaar",
"Geen gegevens beschikbaar voor deze datum
!");
            }
        }
    }

    if (dakorientatie==2) { // Totaal (NO+ZW)

```

```

        if (status2>=0)      {      // Tekstbestand met
meetgegevens bestaat
        LeesDataPac();
        if (Pgempac>0) {      // Binnen het bestaande
bestand, zijn de juiste meetgegevens beschikbaar
        MaakGrafiek();}
        else {
naam leegmaken
        Fmt(datafile, "%s<%s", ""); // datafile-
beschikbaar",
        MessagePopup ("Onvoldoende gegevens
datum !");
        "Onvoldoende gegevens beschikbaar voor deze
        }
        }
    }
}

return 0;
}

////////////////////////////////////

// CallbackFunction Informatie
// Als je op de knop 'Meer Info'klikt, verschijnt het paneel 'Meer Info'
int Informatie (int panel, int control, int event, void *callbackData,
int eventData1, int eventData2){
int paneel, id;
if (event == EVENT_COMMIT){
    // MeerInfo-paneel als pop-up paneel oproepen
    InstallPopup (meerinfoh);
    GetUserEvent (1, &paneel, &id);      // Gebruiker moet op 'Terug'knop
drukken
    RemovePopup (0);                      // om paneel 'Meer Info' te sluiten
}
return 0;
}

////////////////////////////////////

// CallbackFunction HelpFunctie
// Als je op de knop 'Help'klikt, verschijnt het paneel 'Help'
int HelpFunctie (int panel, int control, int event, void *callbackData,
int eventData1, int eventData2){
int paneel, id;
if (event == EVENT_COMMIT){
    // help-paneel als pop-up paneel oproepen
    InstallPopup (helph);
    GetUserEvent (1, &paneel, &id);      // Gebruiker moet op 'Terug'knop
drukken
    RemovePopup (0);                      // om paneel 'Help' te sluiten
}
return 0;
}

////////////////////////////////////

void DatumTijd(void) {
char datum[41];
int jaar, maand, dag;
GetSystemDate (&maand, &dag, &jaar);

```

```

Fmt(datum, "%s[w40q]<Ben Minnaert / ELIS / RUG %i[w2]-%i[w2]-%i[w4]",
    dag, maand, jaar);
SetCtrlVal (grafiekh, grafiek_datum, datum);
}

////////////////////////////////////

void ZoekData(void) {
// lees de gevraagde datum
GetCtrlVal (grafiekh, grafiek_jaar, &jaar_meting);
GetCtrlVal (grafiekh, grafiek_maand, &maand_meting);
GetCtrlVal (grafiekh, grafiek_dag, &dag_meting);

GetCtrlVal (grafiekh, grafiek_orientatie, &dakorientatie);

    if(dakorientatie==0)
        Fmt(zonnepaneel, "%s<%s", "NO-");
    if(dakorientatie==1)
        Fmt(zonnepaneel, "%s<%s", "ZW-");
    if(dakorientatie==2)
        Fmt(zonnepaneel, "%s<%s", "NO&ZW");

Fmt(datafile, "%s<%s", "");
Fmt(datafile2, "%s<%s", ""); // datafile-naam leegmaken
// een datafilenaam samenstellen uit gevraagde datum

    if (dakorientatie==0) { //noordoost
        Fmt(datafile, "%s<NO-%i[w2p0]-200%i[w1]", maand_meting,
jaar_meting);
        // de standaard-extensie erachterhangen
        Fmt(datafile, "%s[a]<%s", ".txt");
        // kijken of datafile bestaat
        status = OpenFile (datafile, VAL_READ_ONLY, VAL_OPEN_AS_IS,
VAL_ASCII);
    }
    if (dakorientatie==1) { //zuidwest
        Fmt(datafile, "%s<ZW-%i[w2p0]-200%i[w1]", maand_meting,
jaar_meting);
        // de standaard-extensie erachterhangen
        Fmt(datafile, "%s[a]<%s", ".txt");
        // kijken of datafile bestaat
        status = OpenFile (datafile, VAL_READ_ONLY, VAL_OPEN_AS_IS,
VAL_ASCII);
    }
    if (dakorientatie==2) { //totaal
        Fmt(datafile, "%s<NO-%i[w2p0]-200%i[w1]", maand_meting,
jaar_meting);
        // de standaard-extensie erachterhangen
        Fmt(datafile, "%s[a]<%s", ".txt");
        // kijken of datafile bestaat
        status = OpenFile (datafile, VAL_READ_ONLY, VAL_OPEN_AS_IS,
VAL_ASCII);

        Fmt(datafile2, "%s<ZW-%i[w2p0]-200%i[w1]", maand_meting,
jaar_meting);
        // de standaard-extensie erachterhangen
        Fmt(datafile2, "%s[a]<%s", ".txt");
        // kijken of datafile bestaat
    }
}

```

```

        status2 = OpenFile (datafile2, VAL_READ_ONLY, VAL_OPEN_AS_IS,
VAL_ASCII);
        if(status2<0){
            // hij bestaat niet;
            Fmt(datafile2, "%s<%s", ""); // datafile-naam leegmaken
            MessagePopup ("Geen gegevens beschikbaar",
                "Geen gegevens beschikbaar voor deze datum !");
        }
        if(status>=0) {
            // hij bestaat
            CloseFile (status);
        }
    else {
        // hij bestaat niet;
        Fmt(datafile, "%s<%s", ""); // datafile-naam leegmaken
        MessagePopup ("Geen gegevens beschikbaar",
            "Geen gegevens beschikbaar voor deze datum !");
    }
}

////////////////////////////////////

void LeesData(void){
int    fileh, fileh2, status3, status4, i;
char   lijn[61];
double Pgem1;

fileh = OpenFile (datafile, VAL_READ_ONLY, VAL_OPEN_AS_IS, VAL_ASCII);
if(fileh>0) {
    status3 = 0;
    n = 0; Pgem = 0;
    while (status3 >=0) { // zolang einde file niet bereikt is
        status3 = ReadLine (fileh, lijn, 60);
        if(status3>0) { // als niet "einde file", en als lijn niet
leeg
            if(n<NMAX) {
                // er zijn maar NMAX plaatsen in xdata en ydata
                Scan(lijn, "%s>%i%i%i%i%i%i%i%i%i%i", &getaljaar,
&getal maand, &getaldag, &getal uur, &getal minuut, &getal Pac, &getal Udc,
&getal voorkommaIdc, &getal nakommaIdc, &getal Gi);
                if (jaar_meting == getaljaar) { //gekozen jaar =
jaar in tekstbestand
                    if (maand_meting == getal maand) { //gekozen maand =
maand in tekstbestand
                        if (dag_meting == getaldag) { //gekozen dag = dag
in tekstbestand
                            xdata[n] = getal uur+(getal minuut*0.01666667);
                                // zestigdelige uren
                            ydata[n] = getal Gi;
                                // omzetten naar tiendelig stelsel
                            Pgem += getal Gi;
                            n++;
                        }
                    }
                }
                // het gemiddelde Pgem is het gemiddelde van de data
                // die getekend worden, ongeacht of die data nul is
                // of niet. (dus niet het gemiddelde over 24h)
            }
        }
    } // einde is cijfer
} // einde status3 > 0

```

```

    } // einde while status3 >= 0
    if (n>0) Pgem = (Pgem*(xdata[21]-xdata[20]))/24;
//gemiddelde=(som)/(24/verschil tussen de xdata)
    else Pgem = 0;
    CloseFile(fileh);
}

if (status2>=0) {

    fileh2 = OpenFile (datafile2, VAL_READ_ONLY, VAL_OPEN_AS_IS,
VAL_ASCII);
if(fileh2>0) {
    status4 = 0;
    n = 0; Pgem1 = 0;
    while (status4 >=0) { // zolang einde file niet bereikt is
        status4 = ReadLine (fileh2, lijn, 60);
        if(status4>0) { // als niet "einde file", en als lijn niet
leeg
            if(n<NMAX) {
                // er zijn maar NMAX plaatsen in xdata en ydata
                Scan(lijn, "%s>%i%i%i%i%i%i%i%i%i%i", &getaljaar,
&getalmaand, &getaldag, &getaluur, &getalminuut, &getalPac, &getalUdc,
&getalvoorkommaIdc, &getalnakommaIdc, &getalGi);
                if (jaar_meting == getaljaar) { //gekozen jaar =
jaar in tekstbestand
                    if (maand_meting == getalmaand) { //gekozen maand =
maand in tekstbestand
                        if (dag_meting == getaldag) { //gekozen dag = dag
in tekstbestand
                            xdata1[n] = getaluur+(getalminuut*0.01666667); //
zestigdelige uren omzetten naar tiendelig stelsel
                            ydata1[n] = getalGi;
                            Pgem1 += getalGi;
                            n++;
                        }
                        // het gemiddelde Pgem1 is het gemiddelde van de data
                        // die getekend worden, ongeacht of die data nul is
                        // of niet. (dus niet het gemiddelde over 24h)
                    }
                }
            } // einde is cijfer
        } // einde status3 > 0
    } // einde while status3 >= 0
    if (n>0) Pgem1 = (Pgem1*(xdata1[21]-xdata1[20]))/24;
    else Pgem1 = 0;
    CloseFile(fileh2);

    Pgem=(Pgem+Pgem1)/2; //Pgem totaal (we nemen som vd gemiddelden) (goede
benadering)

    status2=-1; //status 2 terug initialiseren

    for(i=0; i<n; i++) {
        if (xdata1[i]==xdata[i]) {
            ydata[i] = (ydata[i]+ydata1[i])/2;
        }
    }

    else {
        Pgem=-1; //zodat hij geen grafiek tekent in de functie
TekenData

```

```

        i=10000; //uit lus gaan
    }
}
}
// als datafile niet bestaat, gebeurt er niets
// het aantal meetpunten is nu n
// de data zitten in xdata en ydata
}

////////////////////////////////////

void LeesDataPac(void){
int    fileh, fileh2, status3, status4, i;
char   lijn[61];
double Pgem1Pac;

fileh = OpenFile (datafile, VAL_READ_ONLY, VAL_OPEN_AS_IS, VAL_ASCII);
if(fileh>0) {
    status3 = 0;
    n = 0; PgemPac = 0;
    while (status3 >=0) { // zolang einde file niet bereikt is
        status3 = ReadLine (fileh, lijn, 60);
        if(status3>0) { // als niet "einde file", en als lijn niet
leeg
            if(n<NMAX) {
                // er zijn maar NMAX plaatsen in xdata en ydata
                Scan(lijn, "%s>%i%i%i%i%i%i%i%i%i%i", &getaljaar,
&getalmaand, &getaldag, &getaluur, &getalminuut, &getalPac, &getalUdc,
&getalvoorkommaIdc, &getalnakommaIdc, &getalGi);
                if (jaar_meting == getaljaar) { //gekozen jaar = jaar in
tekstbestand
                    if (maand_meting == getalmaand) { //gekozen maand =
maand in tekstbestand
                        if (dag_meting == getaldag) { //gekozen dag = dag
in tekstbestand
                            xdata[n] = getaluur+(getalminuut*0.01666667); //
zestigdelige uren omzetten naar tiendelig stelsel
                            ydata[n] = getalPac;
                            PgemPac += getalPac;
                            n++;
                        }
                        // het gemiddelde Pgem is het gemiddelde van de data
                        // die getekend worden, ongeacht of die data nul is
                        // of niet. (dus niet het gemiddelde over 24h)
                    }
                }
            } // einde is cijfer
        } // einde status3 > 0
    } // einde while status3 >= 0
    if (n>0) PgemPac = (PgemPac*(xdata[21]-xdata[20]))/1000;
    else PgemPac = 0;
    CloseFile(fileh);
}

if (status2>=0) {

    fileh2 = OpenFile (datafile2, VAL_READ_ONLY, VAL_OPEN_AS_IS,
VAL_ASCII);
    if(fileh2>0) {

```

```

status4 = 0;
n = 0; PgemlPac = 0;
while (status4 >=0) { // zolang einde file niet bereikt is
    status4 = ReadLine (fileh2, lijn, 60);
    if(status4>0) { // als niet "einde file", en als lijn niet
leeg
        if(n<NMAX) {
            // er zijn maar NMAX plaatsen in xdata en ydata
            Scan(lijn, "%s>%i%i%i%i%i%i%i%i%i%i", &getaljaar,
&getalmaand, &getaldag, &getaluur, &getalminuut, &getalPac, &getalUdc,
&getalvoorkommaIdc, &getalnakommaIdc, &getalGi);
            if (jaar_meting == getaljaar) { //gekozen jaar =
jaar in tekstbestand
                if (maand_meting == getalmaand) { //gekozen maand =
maand in tekstbestand
                    if (dag_meting == getaldag) { //gekozen dag
= dag in tekstbestand
                        xdata1[n] = getaluur+(getalminuut*0.01666667); //
zestigdelige uren omzetten naar tiendelig stelsel
                        ydata1[n] = getalPac;
                        PgemlPac += getalPac;
                        n++;
                    }
                // het gemiddelde Pgeml is het gemiddelde van de data
                // die getekend worden, ongeacht of die data nul is
                // of niet. (dus niet het gemiddelde over 24h)
            }
        }
    } // einde is cijfer
} // einde status3 > 0
} // einde while status3 >= 0
if (n>0) PgemlPac = (PgemlPac*(xdata1[21]-xdata1[20]))/1000;
else PgemlPac = 0;
CloseFile(fileh2);

PgemPac=PgemPac+PgemlPac; //Pgem totaal (we nemen som vd gemiddelden)
(goede benadering)

status2=-1; //status 2 terug initialiseren

for(i=0; i<n; i++) {
    if (xdata1[i]==xdata[i]) {
        ydata[i] = ydata[i]+ydata1[i];
    }

    else {
        PgemPac=-1; //zodat hij geen grafiek tekent in de
functie TekenData
        i=10000; //uit lus gaan
    }
}
}
}
}
// als datafile niet bestaat, gebeurt er niets
// het aantal meetpunten is nu n
// de data zitten in xdata en ydata
}

```

```

////////////////////////////////////

```



```

// Legende = een venstertje met de gegevens van de 1ste meting
void Legende(void) {
char lijn[1001];
if (meting==4) { //Gi
    Fmt(lijn, "%s<%s %spaneel op %i/%i/200%i in %s", grootheid,
zonnepaneel, dag_meting, maand_meting, jaar_meting, eenheid);
    Fmt(lijn, "%s[a]<\nGemiddelde over 24h: %f[w7p2] %s\n", Pgem,
eenheid);
}
if (meting==1) { //Pac
    Fmt(lijn, "%s<%s %spaneel op %i/%i/200%i in %s", grootheid,
zonnepaneel, dag_meting, maand_meting, jaar_meting, eenheid);
    Fmt(lijn, "%s[a]<\nTotale energieproductie per dag: %f[w7p2] %s\n",
PgemPac, eenheid2);
}
SetCtrlAttribute (grafiekh, grafiek_legende, ATTR_TEXT_COLOR, kleur[kl]);
// informatie bij de legende-textbox bijplakken
Fmt(legende_textbox, "%s[a]<%s", lijn);
ResetTextBox (grafiekh, grafiek_legende, legende_textbox);
ProcessDrawEvents ();
}

// Legende2 = een venstertje met de gegevens van de 2ste meting
void Legende2(void) {
char lijn[1001];
if (meting==4) { //Gi
    Fmt(lijn, "%s<%s %spaneel op %i/%i/200%i in %s", grootheid,
zonnepaneel, dag_meting, maand_meting, jaar_meting, eenheid);
    Fmt(lijn, "%s[a]<\nGemiddelde over 24h: %f[w7p2] %s\n", Pgem,
eenheid);
}
if (meting==1) { //Pac
    Fmt(lijn, "%s<%s %spaneel op %i/%i/200%i in %s", grootheid,
zonnepaneel, dag_meting, maand_meting, jaar_meting, eenheid);
    Fmt(lijn, "%s[a]<\nTotale energieproductie per dag: %f[w7p2] %s\n",
PgemPac, eenheid2);
}
SetCtrlAttribute (grafiekh, grafiek_legende2, ATTR_TEXT_COLOR,
kleur[kl]);
// informatie bij de legende-textbox bijplakken
Fmt(legende2_textbox, "%s[a]<%s", lijn);
ResetTextBox (grafiekh, grafiek_legende2, legende2_textbox);
ProcessDrawEvents ();
}

// Legende3 = een venstertje met de gegevens van de 3ste meting
void Legende3(void) {
char lijn[1001];
if (meting==4) { //Gi
    Fmt(lijn, "%s<%s %spaneel op %i/%i/200%i in %s", grootheid,
zonnepaneel, dag_meting, maand_meting, jaar_meting, eenheid);
    Fmt(lijn, "%s[a]<\nGemiddelde over 24h: %f[w7p2] %s\n", Pgem,
eenheid);
}
if (meting==1) { //Pac
    Fmt(lijn, "%s<%s %spaneel op %i/%i/200%i in %s", grootheid,
zonnepaneel, dag_meting, maand_meting, jaar_meting, eenheid);
    Fmt(lijn, "%s[a]<\nTotale energieproductie per dag: %f[w7p2] %s\n",
PgemPac, eenheid2);
}
}

```

```

SetCtrlAttribute (grafiekh, grafiek_legende3, ATTR_TEXT_COLOR,
kleur[kl]);
// informatie bij de legende-textbox bijplakken
Fmt(legende3_textbox, "%s[a]<%s", lijn);
ResetTextBox (grafiekh, grafiek_legende3, legende3_textbox);
ProcessDrawEvents ();
}

// Legende4 = een venstertje met de gegevens van de 4ste meting
void Legende4(void) {
char lijn[1001];
if (meting==4) { //Gi
    Fmt(lijn, "%s<%s %spaneel op %i/%i/200%i in %s", grootheid,
zonnepaneel, dag_meting, maand_meting, jaar_meting, eenheid);
    Fmt(lijn, "%s[a]<\nGemiddelde over 24h: %f[w7p2] %s\n", Pgem,
eenheid);
}
if (meting==1) { //Pac
    Fmt(lijn, "%s<%s %spaneel op %i/%i/200%i in %s", grootheid,
zonnepaneel, dag_meting, maand_meting, jaar_meting, eenheid);
    Fmt(lijn, "%s[a]<\nTotale energieproductie per dag: %f[w7p2] %s\n",
PgemPac, eenheid2);
}
SetCtrlAttribute (grafiekh, grafiek_legende4, ATTR_TEXT_COLOR,
kleur[kl]);
// informatie bij de legende-textbox bijplakken
Fmt(legende4_textbox, "%s[a]<%s", lijn);
ResetTextBox (grafiekh, grafiek_legende4, legende4_textbox);
ProcessDrawEvents ();
}

// Legende5 = een venstertje met de gegevens van de 5ste meting
void Legende5(void) {
char lijn[1001];
if (meting==4) { //Gi
    Fmt(lijn, "%s<%s %spaneel op %i/%i/200%i in %s", grootheid,
zonnepaneel, dag_meting, maand_meting, jaar_meting, eenheid);
    Fmt(lijn, "%s[a]<\nGemiddelde over 24h: %f[w7p2] %s\n", Pgem,
eenheid);
}
if (meting==1) { //Pac
    Fmt(lijn, "%s<%s %spaneel op %i/%i/200%i in %s", grootheid,
zonnepaneel, dag_meting, maand_meting, jaar_meting, eenheid);
    Fmt(lijn, "%s[a]<\nTotale energieproductie per dag: %f[w7p2] %s\n",
PgemPac, eenheid2);
}
SetCtrlAttribute (grafiekh, grafiek_legende5, ATTR_TEXT_COLOR,
kleur[kl]);
// informatie bij de legende-textbox bijplakken
Fmt(legende5_textbox, "%s[a]<%s", lijn);
ResetTextBox (grafiekh, grafiek_legende5, legende5_textbox);
ProcessDrawEvents ();
}

// Legende6 = een venstertje met de gegevens van de 6ste meting
void Legende6(void) {
char lijn[1001];
if (meting==4) { //Gi
    Fmt(lijn, "%s<%s %spaneel op %i/%i/200%i in %s", grootheid,
zonnepaneel, dag_meting, maand_meting, jaar_meting, eenheid);

```

```

        Fmt(lijn, "%s[a]<\nGemiddelde over 24h: %f[w7p2] %s\n", Pgem,
eenheid);
    }
if (meting==1) { //Pac
    Fmt(lijn, "%s<%s %spaneel op %i/%i/200%i in %s", grootheid,
zonnepaneel, dag_meting, maand_meting, jaar_meting, eenheid);
    Fmt(lijn, "%s[a]<\nTotale energieproductie per dag: %f[w7p2] %s\n",
PgemPac, eenheid2);
}
SetCtrlAttribute (grafiekh, grafiek_legende6, ATTR_TEXT_COLOR,
kleur[kl]);
// informatie bij de legende-textbox bijplakken
Fmt(legende6_textbox, "%s[a]<%s", lijn);
ResetTextBox (grafiekh, grafiek_legende6, legende6_textbox);
ProcessDrawEvents ();
}

////////////////////////////////////

// het maken van de grafiek zelf
void MaakGrafiek(void){
int i, xschaal, yschaal;
char titel[61], xas_label[NLABEL], yas_label[NLABEL] ;
double x[NMAX], y[NMAX];

    if (teller==0) {
        DeleteGraphPlot (grafiekh, grafiek_grafiek, -1,
VAL_IMMEDIATE_DRAW);
    }

    // titel en aslabes
    Fmt(titel, "%s<%s[q]", "Zonne-energie in de loop van de dag");
    Fmt(xas_label, "%s[q]<%s[w*]", NLABEL-1, "tijd (uur)");
    Fmt(yas_label, "%s[q]<%s[w*]", NLABEL-1, "");

    SetCtrlAttribute (grafiekh, grafiek_grafiek, ATTR_LABEL_TEXT, titel);
    // als NLABEL te groot gekozen wordt wil hij niet meer:
    SetCtrlAttribute (grafiekh, grafiek_grafiek, ATTR_XNAME, xas_label);
    SetCtrlAttribute (grafiekh, grafiek_grafiek, ATTR_YNAME, yas_label);
    // eventuele databewerking
    for(i=0; i<n; i++) {
        x[i] = xdata[i];
        y[i] = ydata[i];
    }
    // schalen grafiek werden ingesteld in Herschaal

    // maken grafiek
    kl++; // een volgende kleur nemen
    if(kl>15) kl=1; // kleurvolgorde herbeginnen na 15 grafieken
    PlotXY (grafiekh, grafiek_grafiek, x, y, n, VAL_DOUBLE,
VAL_DOUBLE, VAL_FAT_LINE, VAL_NO_POINT, VAL_SOLID, 1,
kleur[kl]);
    // legende en uitleg
    if (teller==0) {
        Fmt(legende_textbox, "%s<%s", "");
        ResetTextBox (grafiekh, grafiek_legende, legende_textbox);
        Legende();
        Fmt(legende2_textbox, "%s<%s", "");
    }
}

```

```

ResetTextBox (grafiekh, grafiek_legende2, legende2_textbox);
Fmt(legende3_textbox, "%s<%s", "");
ResetTextBox (grafiekh, grafiek_legende3, legende3_textbox);
Fmt(legende4_textbox, "%s<%s", "");
ResetTextBox (grafiekh, grafiek_legende4, legende4_textbox);
Fmt(legende5_textbox, "%s<%s", "");
ResetTextBox (grafiekh, grafiek_legende5, legende5_textbox);
Fmt(legende6_textbox, "%s<%s", "");
ResetTextBox (grafiekh, grafiek_legende6, legende6_textbox); // Tekst-
box met legende leegmaken
ProcessDrawEvents () ;
teller++;
}
else {
    if (teller==1) {
        Legende2();
        teller++;
    }
    else {
        if (teller==2) {
            Legende3();
            teller++;
        }
        else {
            if (teller==3) {
                Legende4();
                teller++;
            }
            else {
                if (teller==4) {
                    Legende5();
                    teller++;
                }
                else {
                    if (teller==5) {
                        Legende6();
                        teller=0;
                        kl = 0; // ook
                    }
                }
            }
        }
    }
}
ProcessDrawEvents();
}

```



## **Referenties**

- [1] M. Burgelman, A. Niemegeers – “*Influence of illumination conditions on the design of thin-film modules*” Solar Energy Materials & Solar Cells 57, 1999, pp. 85-95
- [2] W. Coppye, et al. - “*Photovoltaic systems for educational institutes in Belgium project description and results*”, 16th European photovoltaic solar energy conference 2000, Glasgow, UK pp. 2046-2048
- [3] A. De Vos - “*Zonnecellen*”, syllabus bij de cursus “*Fotovoltaïsche zonne-energie-omzetting*”, Universiteit Gent, 2003
- [4] A. De Vos, G. De Mey – “*The solar energy incident on a plane at the earth surface: situation in Belgium*”, Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B 25, 1977, pp. 136-150
- [5] Imec v.z.w. – “*Gebruiksaanwijzing Heliograph*”
- [6] M. Rzewuski – “*Photovoltaic demonstration project in Melle (Belgium)*”, Universiteit Gent, 2002
- [7] Universiteit Gent, Persbericht 199 – “*Universiteit Gent verlaagt energiefactuur met 10%*”, 22 oktober 2002
- [8] M. Windels – “*Over de beschikbaarheid van zonne-energie. Toepassing op photovoltaïsche modules.*”, Hogeschool West-Vlaanderen, 30 maart 2003