



# Zonneweide Energierijk

Resultaten 2011-2012

Joanneke Spruijt





© 2012 Wageningen, ACRRES – Wageningen UR

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van ACRRES-Wageningen UR.

ACRRES – Wageningen UR is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit project is tot stand gekomen dankzij:



ACRRES – Wageningen UR

Adres : Edelhertweg 1, Lelystad  
: Postbus 430, 8200 AK Lelystad  
Tel. : 0320 - 29 11 11  
Fax : 0320 - 23 04 79  
E-mail : [info@acrres.nl](mailto:info@acrres.nl)  
Internet : [www.acrres.nl](http://www.acrres.nl)



## INHOUDSOPGAVE

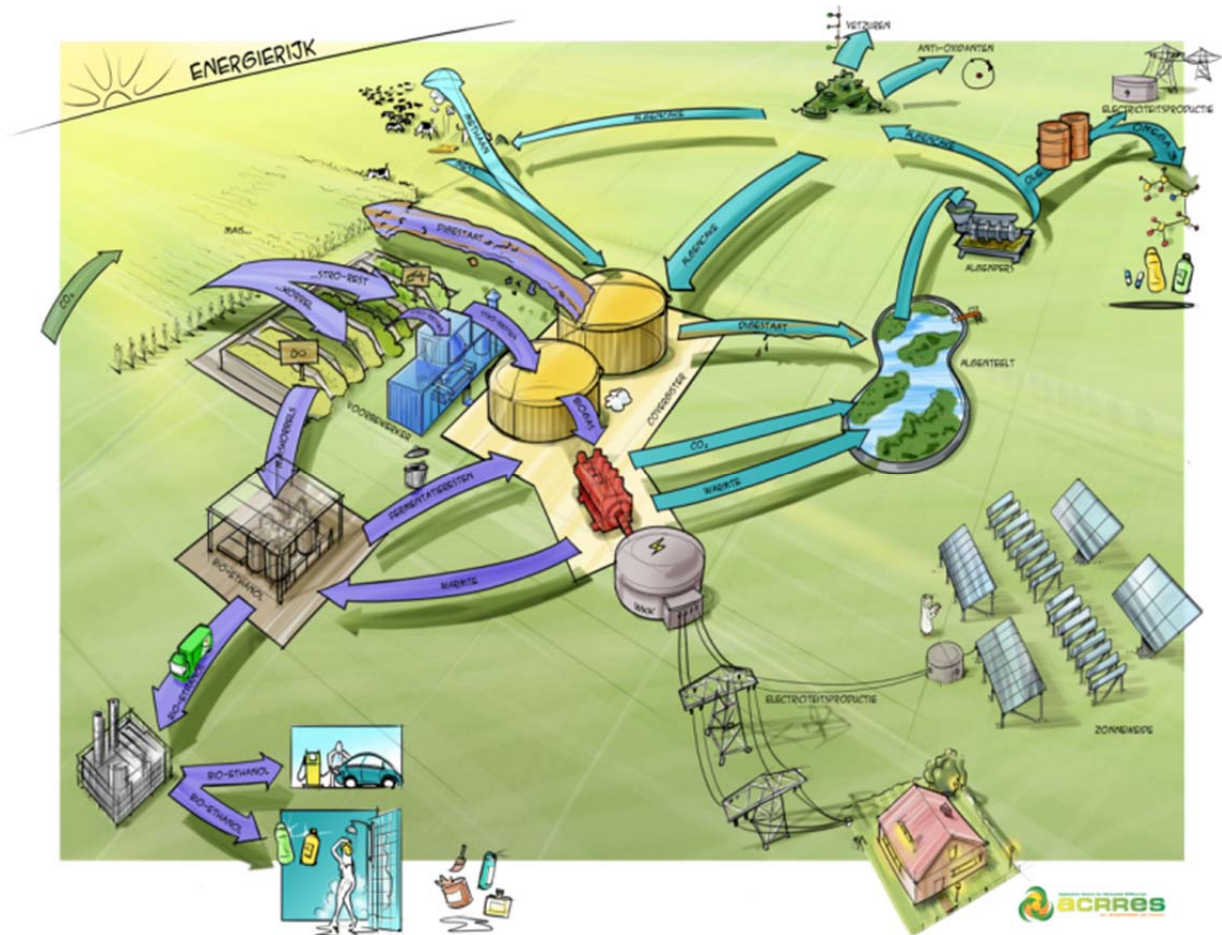
1	INLEIDING.....	3
2	REALISATIE ZONNEWEIDE .....	5
2.1	Panelen en opstellingen.....	5
2.2	Inverters en webbox .....	9
2.3	Overzicht technische gegevens .....	11
2.4	Oriëntatie en hellingshoek .....	13
2.5	Bruto productie- en verbruiksmeters .....	14
2.6	Installatie van de systemen.....	14
2.7	Onderhoud.....	14
3	PERFORMANCE PANELEN EN OPSTELLINGEN .....	15
4	RENTABILITEIT .....	17
4.1	Investering .....	17
4.2	Jaarlijkse kosten.....	18
4.3	Kostprijs per kWh.....	20
4.4	Rendement .....	21
4.5	Grondgebruik en omgevingsvergunning .....	23
5	SAMENVATTING EN CONCLUSIES .....	24



# 1 Inleiding

ACRRES - Wageningen UR is het landelijk toepassingscentrum voor duurzame energie en groene grondstoffen. Eén van de grootste projecten van ACRRES is het project EnergieRijk in Lelystad. In dit project werken Wageningen UR en ENECO samen met bedrijfsleven, overheid en onderwijs aan de ontwikkeling van duurzame energieproducten en toepassingen van groene grondstoffen rekening houdend met economische, ecologische en sociale aspecten.

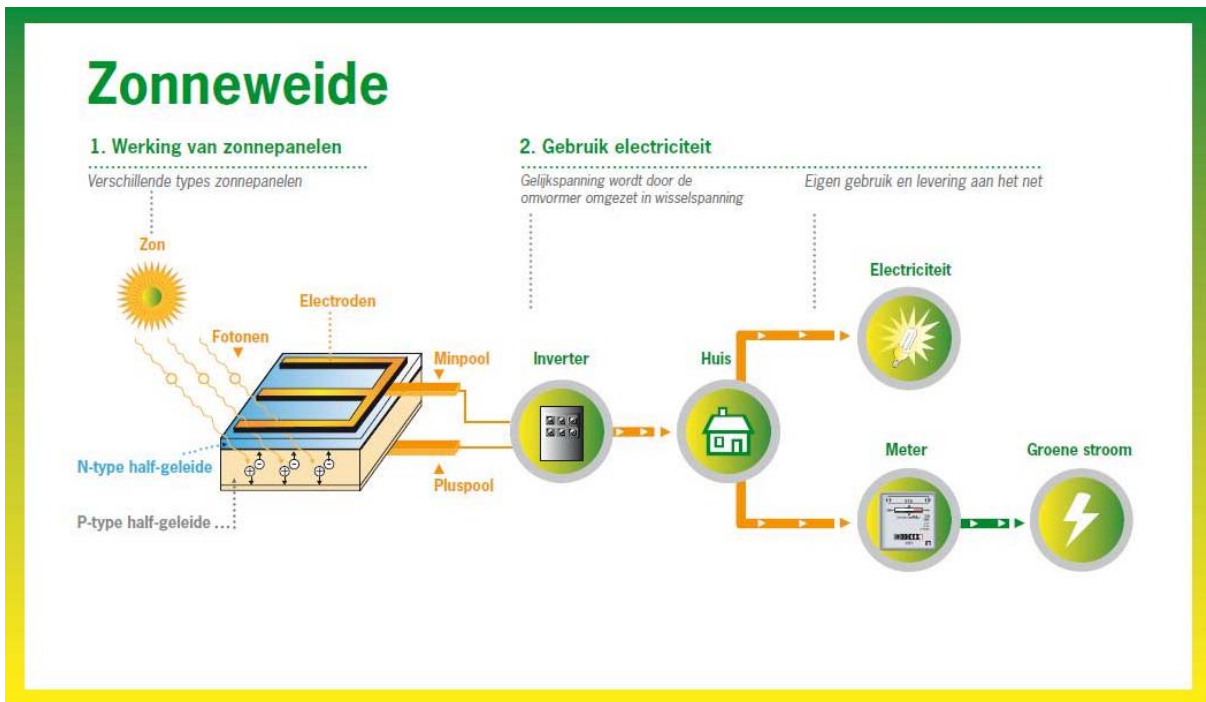
EnergieRijk heeft diverse proefopstellingen gerealiseerd met betrekking tot co-vergisting met warmtekrachtkoppeling, bio ethanol productie, algenproductie, zonnestroom productie en een voorbewerkingsinstallatie. Het unieke van het EnergieRijk concept is dat de verschillende processen aan elkaar gekoppeld worden door reststromen uit het ene proces toe te passen in het andere proces.



Figuur 1: Visualisatie van het EnergieRijk concept



Op de Zonneweide worden diverse PV-systemen getest en gedemonstreerd. PV staat voor PhotoVoltaic, oftewel een fofovoltaisch. Wanneer er zonlicht op een zonnecel valt, worden er elektronen los gestoten, door de samenstelling van de zonnecel kunnen deze elektronen maar een richting op bewegen. De beweging van alle los gestoten elektronen samen is de elektrische stroom. De opgewekte stroom kan worden opgeslagen in accu's, direct worden gebruikt of aan het elektriciteitsnet worden geleverd. Bij het direct verbruik en/of leveren aan het elektriciteitsnet is een omvormer (inverter) nodig die de gelijkstroom van 12 of 24 volt omzet naar 230 volt wisselstroom.



Figuur 2: Zonnestroom schema

Doelstellingen van het deelproject Zonneweide van EnergieRijk zijn:

1. Realisatie van een Zonneweide waarin verschillende typen zonnepanelen en verschillende systemen getest en gedemonstreerd kunnen worden
2. Onderzoek naar de performance van de verschillende panelen/systemen
3. Onderzoek naar de rentabiliteit van de verschillende systemen



## 2 Realisatie Zonneweide

### 2.1 Panelen en opstellingen

De volgende typen zonnepanelen zijn in de Zonneweide geplaatst:

- polykristallijn silicium (Solarpark 230 Wp)
- polykristallijn silicium (Kyocera 240 Wp)
- dunne film silicium (Schott 97 Wp)
- dunne film CIS (Sulfurcell 55 Wp)



Foto 1: polykristallijn silicium panelen van Solarpark



Foto 2: polykristallijn silicium panelen Kyocera



Foto 3: dunne film silicium panelen van Schott



Foto 4: dunne film CIS panelen van Sulfurcell

Deze zonnepanelen worden getest volgens vier opstellingen:

- *vaste opstelling*: de panelen staan permanent onder een hoek van  $36^\circ$  op het zuiden gericht, zie Foto 5.
- *variabele opstelling (Schletter Vario Top)*: de panelen zijn gedurende het seizoen handmatig te verstellen in 5 standen (van een hoek van  $10^\circ$  tot  $60^\circ$ ), in de winter staan ze steiler en in de zomer vlakker, zie Foto 6.
- *zonvolgsysteem of tracker over twee assen (Deger)*: hierbij zijn de panelen op een frame geplaatst welke op een draaikrans is gemonteerd, zie Foto 7. Gestuurd door een lichtsensoren worden de panelen zowel horizontaal als verticaal in de



positie met de hoogste lichtinval bewogen.

- *zonvolgsysteem of tracker over één as (van der Valk Solartracker)*: een één-assig volgsysteem waarbij het besturingssysteem is gebaseerd op de stand van de zon op die dag, zie Foto 8. Het systeem volgt gedurende de dag de baan van de zon van oost naar west.

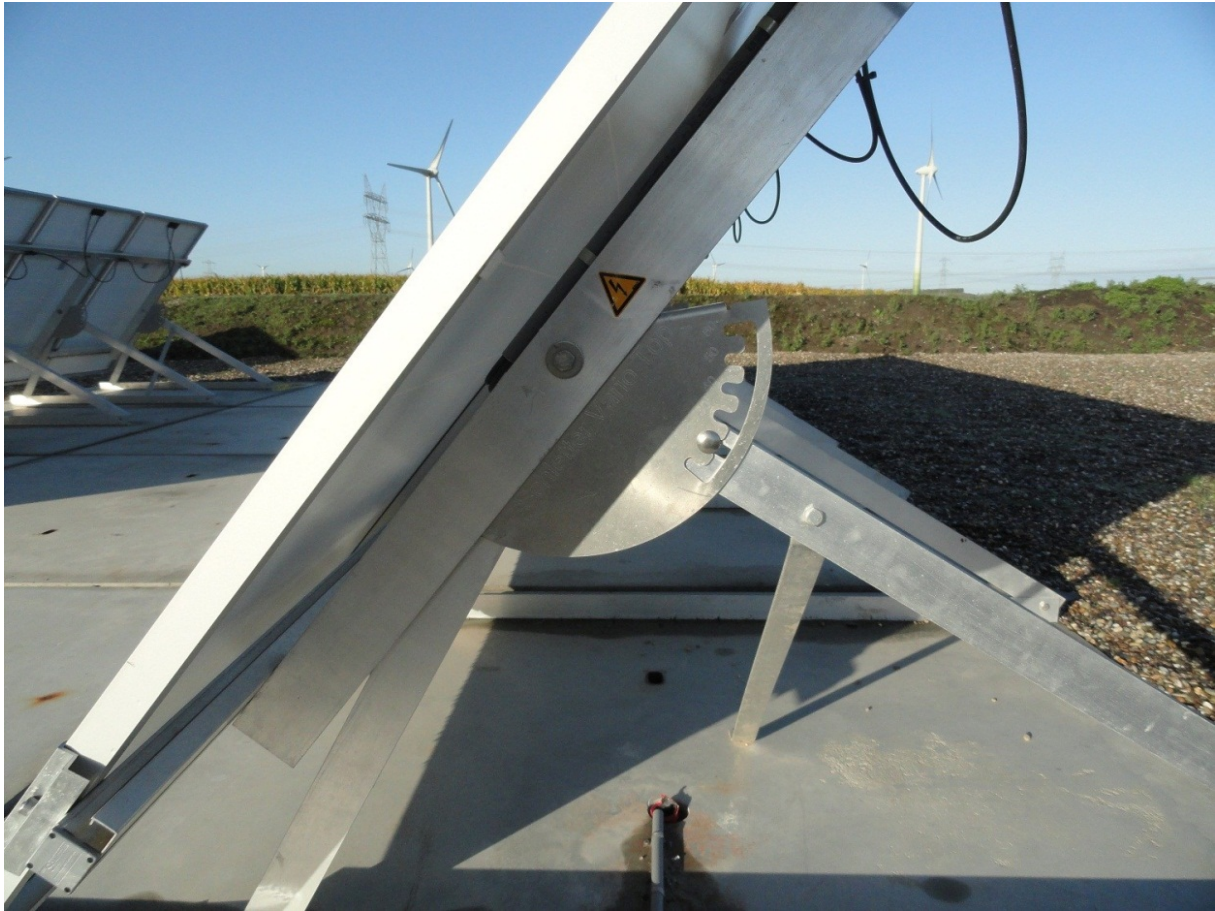
In totaal worden de volgende 11 verschillende systemen getest:

De polykristallijn Solarpark panelen worden getest op de vaste en variabele opstelling en op de 1- en 2 as - tracker. De polykristallijn Kyocera panelen worden alleen op de vaste opstelling getest.

De dunne film panelen van Schott en Sulfurcell worden getest op de vaste en variabele opstelling en op de 2 as - tracker.



Foto 5: Solarpark panelen in de vaste opstelling



*Foto 6: variabele opstelling (Schletter Vario Top): de hellingshoek van de panelen is handmatig te wijzigen*





Foto 7: Deger sun-tracker (over 2 assen) met Sulfurcell panelen



Foto 8: Van der Valk solar-tracker (over 1 as) met Solarpark panelen

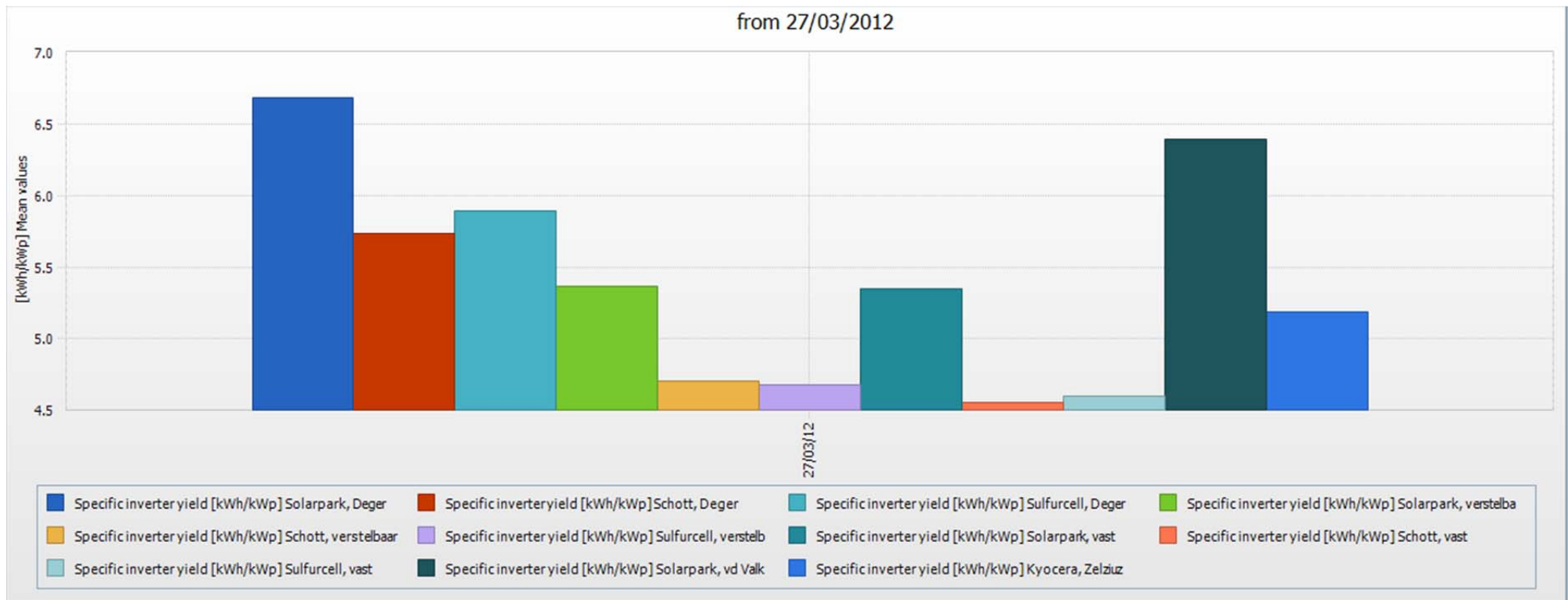


## 2.2 Inverters en webbox

De 11 systemen hebben elk hun eigen SMA-omvormer, waarbij het type omvormer is aangepast aan het vermogen van de opstelling. De opbrengstgegevens per opstelling worden elke 15 minuten met een Sunny WebBox datalogger uitgelezen en opgeslagen. Via het netwerk worden de gegevens verzonden naar het internet portaal Sunny Portal, waar de gegevens nauwkeurig gemonitord kunnen worden. Sommige gegevens komen publiek beschikbaar op de website [www.sunnyportal.com](http://www.sunnyportal.com). Op de ACRRES site wordt men hiernaar doorgelinkt.



Foto 9: Kast met de SMA-inverters en bruto productiemeters



Figuur 3: Voorbeeld van een grafiek van de opbrengst per Wattpiek op een dag in maart op Sunny Portal



## 2.3 Overzicht technische gegevens

In Tabel 1 zijn alle technische gegevens van de 11 opstellingen weergegeven.

Per opstelling is te zien welk type paneel, inverter en draagconstructie is toegepast.

Per paneel zijn het vermogen in Wattpiek (Wp), de afmetingen en het gewicht vermeld.

Vervolgens is het vermogen en het gewicht per m<sup>2</sup> bepaald.

De opstellingen zijn zo gemaakt, dat ze elk ongeveer 20 m<sup>2</sup> oppervlakte aan PV panelen hebben.

De polykristallijne PV panelen hebben een groter vermogen per paneel dan de dunne film panelen. Dit geldt ook voor het vermogen per oppervlakte-eenheid. Met deze panelen

kan dus een hogere kWh opbrengst per m<sup>2</sup> worden behaald. De polykristallijne Kyocera panelen hebben het hoogste vermogen per oppervlakte-eenheid (Wp/m<sup>2</sup>).

Voor de sterkte van de draagconstructie is rekening gehouden met het gewicht van de panelen. De Sulfurcell panelen zijn per paneel het lichtst, maar per m<sup>2</sup> het zwaarst. De Solarpark panelen hebben het laagste gewicht per m<sup>2</sup>. Dit was de reden voor verschillen in draagconstructies.

Elke opstelling heeft een eigen inverter, die past bij het totale vermogen per opstelling.

Omdat het totale vermogen van de opstellingen met dunne film panelen een stuk kleiner is dan die met polykristallijne panelen hebben zij een kleinere omvormer.

Tabel 1: technische gegevens van de verschillende opstellingen

merk en type paneel	soort paneel	systeem	inverter	aantal panelen	Wp per paneel	totaal Wp	kg paneel	lengte paneel	breedte paneel	m2 per paneel	totaal m2 panelen	vermogen Wp/m2	kg/m2
Sulfurcell SCG 55-HV-F	dunne film CIS	Deger	Sunny Boy 1200	26	55	1430	14.6	125.8	65.8	0.8	21.5	66.4	17.6
Schott ASI 97	dunne film	Deger	Sunny Boy 1200	12	97	1164	18	130.8	110.8	1.4	17.4	66.9	12.4
Solarpark SPP 230	polykristallijn	Deger	Sunny Boy 3300TL HC	14	230	3220	19	167.5	100	1.7	23.5	137.3	11.3
Sulfurcell SCG 55-HV-F	dunne film CIS	verstelbaar	Sunny Boy 1200	26	55	1430	14.6	125.8	65.8	0.8	21.5	66.4	17.6
Schott ASI 97	dunne film	verstelbaar	Sunny Boy 1200	12	97	1164	18	130.8	110.8	1.4	17.4	66.9	12.4
Solarpark SPP 230	polykristallijn	verstelbaar	Sunny Boy 3300TL HC	14	230	3220	19	167.5	100	1.7	23.5	137.3	11.3
Sulfurcell SCG 55-HV-F	dunne film CIS	vast	Sunny Boy 1200	26	55	1430	14.6	125.8	65.8	0.8	21.5	66.4	17.6
Schott ASI 97	dunne film	vast	Sunny Boy 1200	12	97	1164	18	130.8	110.8	1.4	17.4	66.9	12.4
Solarpark SPP 230	polykristallijn	vast	Sunny Boy 3300TL HC	14	230	3220	19	167.5	100	1.7	23.5	137.3	11.3
Solarpark SPP 230	polykristallijn	vd Valk	Sunny Boy 3300TL HC	14	230	3220	19	167.5	100	1.7	23.5	137.3	11.3
Kyocera KD 240 GH-2 PB	polykristallijn	vast (Zelziuz)	Sunny Boy 3300TL HC	14	240	3360	21	166.2	99	1.6	23.0	145.9	12.8



## 2.4 Oriëntatie en hellingshoek

De maximale opbrengst van een zonnepaneel wordt bereikt bij een loodrechte lichtinstraling. De stand van de zon verandert gedurende de dag. De ideale oriëntatie van zonnepanelen is 's ochtends op het oosten en 's avonds op het westen gericht. In de winter staat de zon lager dan in de zomer. De ideale hellingshoek van de zonnepanelen is 's winters groter dan zomers. Daarnaast is het bij bewolking of mist belangrijk dat diffuus licht goed wordt opgevangen.

### vaste opstellingen

Bij vaste opstellingen kan slechts één oriëntatie en één hellingshoek worden gekozen. In Nederland wordt de maximale opbrengst op jaarbasis gehaald met een paneel dat recht op het zuiden is gericht onder een hoek van 36°.

### suntrackers

Bij de van der Valk Solartracker draaien de panelen gedurende de dag over een vaste hellingshoek van 36° met de zon mee van het oosten naar het westen. De Deger suntrackers zijn volledig wendbaar afhankelijk van de hoogste lichtinval.

### variabele opstellingen

Bij deze opstelling is de oriëntatie van de panelen op het zuiden gericht en is de hellingshoek variabel. Voor het verkrijgen van een maximale opbrengst zouden de panelen in de winter steiler en in de zomer vlakker dan 36° moeten staan. In Tabel 2 is de ideale hellingshoek per maand volgens Siderea weergegeven. Met de variabele opstellingen (Schletter Vario Top) zoals die op de Zonneweide geplaatst zijn, bleken deze hellingshoeken niet altijd exact in te stellen, omdat er geen kleinere stappen dan 10° kunnen worden gemaakt. In de tabel wordt weergegeven wat de beste stand op de Zonneweide zou zijn en op welke data de panelen verzet zouden moeten worden.

Tabel 2: Ideale en mogelijke instellingen hellingshoek en codering van de variabele opstellingen per maand

maand	ideale hellingshoek (Siderea)	mogelijke hellingshoek Zonneweide	codering stand op Vario Top	datum verzetten
jan	70°	60°	10	-
feb	50°	50°	20	1-feb
mrt	40°	40°	30	1-mrt
apr	30°	30°	40	1-apr
mei	20°	20°	50	1-mei
jun	10°	10°	60	1-jun
jul	15°	10°	60	-
aug	25°	20°	50	1-aug
sept	40°	40°	30	1-sep
okt	50°	50°	20	1-okt
nov	60°	60°	10	1-nov
dec	70°	60°	10	-



## 2.5 Bruto productie- en verbruiksmeters

Ten behoeve van de SDE-subsidie zijn er twee bruto productiemeters geplaatst, die de totale opbrengst van alle opstellingen en het verbruik van de opstellingen registreren. Voor het onderzoek zijn we voor de onderlinge vergelijkingen met name geïnteresseerd in de opbrengst per opstelling. De opbrengst in kWh volgens de omvormers wordt door de omvormer gemeten als de binnenkomende gelijkstroom en vervolgens naar wisselstroom omgerekend. De verbruikte energie door de trackers is hier nog niet vanaf getrokken. Voor een nauwkeuriger bepaling van de opbrengst per opstelling is ook achter iedere omvormer een bruto productiemeter geplaatst en wordt de verbruikte stroom door de drie Deger-trackers gemeten. Bij de van de Valk opstelling wordt het stroomverbruik zo laag ingeschat dat dit niet wordt gemeten.

## 2.6 Installatie van de systemen

MV Solar heeft de meeste opstellingen geplaatst en het monitoringsysteem opgestart. De firma van der Valk heeft de één-assige tracker geleverd en geplaatst. Zelziuz heeft de vaste opstelling met de Kyocera panelen geleverd en geplaatst. In september 2011 is de laatste opstelling geplaatst en is de Zonneweide gereed gekomen voor het onderzoek.

## 2.7 Onderhoud

Met MV Solar is een onderhoudsovereenkomst afgesloten, hieronder valt één maal per jaar:

- visuele inspectie van de installaties
- smeren van de bewegende delen
- functietesten van de Deger sun-trackers
- controleren en zo nodig afstellen van de Deger sun-trackers
- controleren van de elektrische installatie

en drie maal per jaar schoonmaken van de panelen met gedemineraliseerd water.

Daarnaast worden storingen aan de SMA omvormers via het SMA monitoringsysteem binnen 2 dagen gesignaleerd en gemeld.

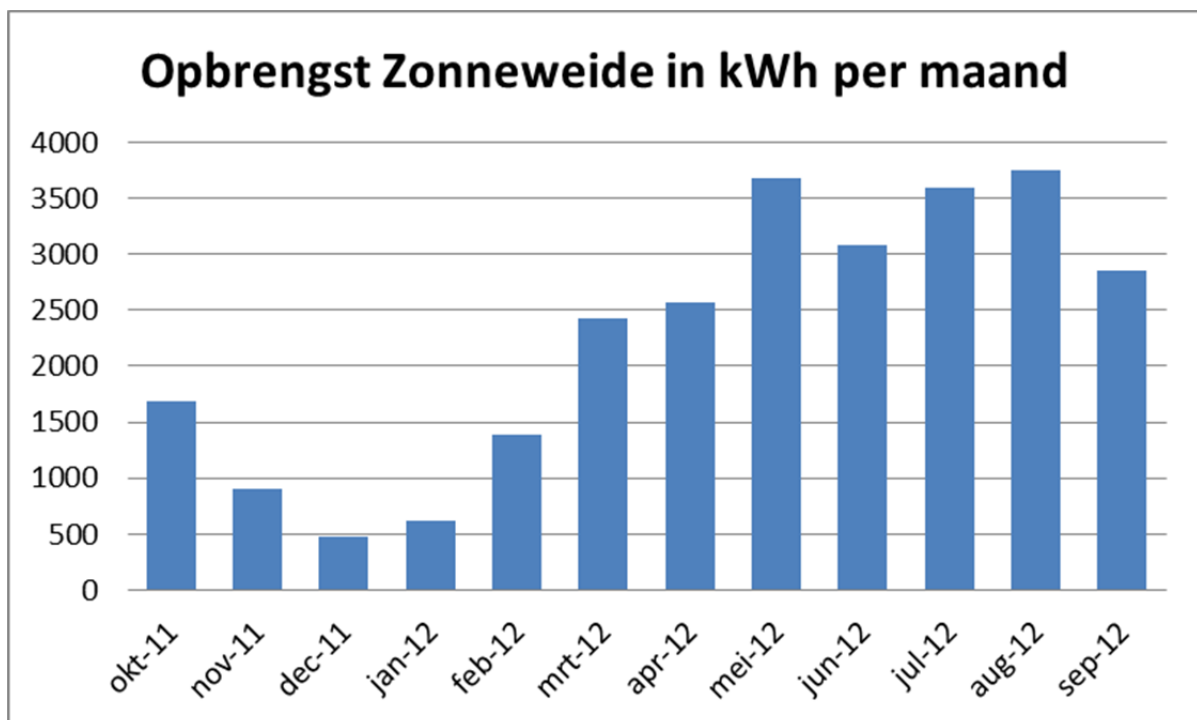
De firma's van der Valk en Zelziuz voeren zelf de technische inspectie van hun opstellingen uit.

De variabele opstellingen moeten in één jaar tijd negen maal versteld worden, zie Tabel 2. Dit wordt uitgevoerd door het proefbedrijf Lelystad.



### 3 Performance panelen en opstellingen

Het totale geïnstalleerde vermogen van de Zonneweide bedraagt 24,022 kWp. De bruto jaaropbrengst (okt. '11-sept. '12) is 27.011kWh, waarmee de Zonneweide als geheel een performance van 1,12 kWh/Wp behaald heeft. In Figuur 4 is de opbrengst van de Zonneweide per maand in beeld gebracht.



*Figuur 4: Opbrengst van de Zonneweide in kWh per maand*

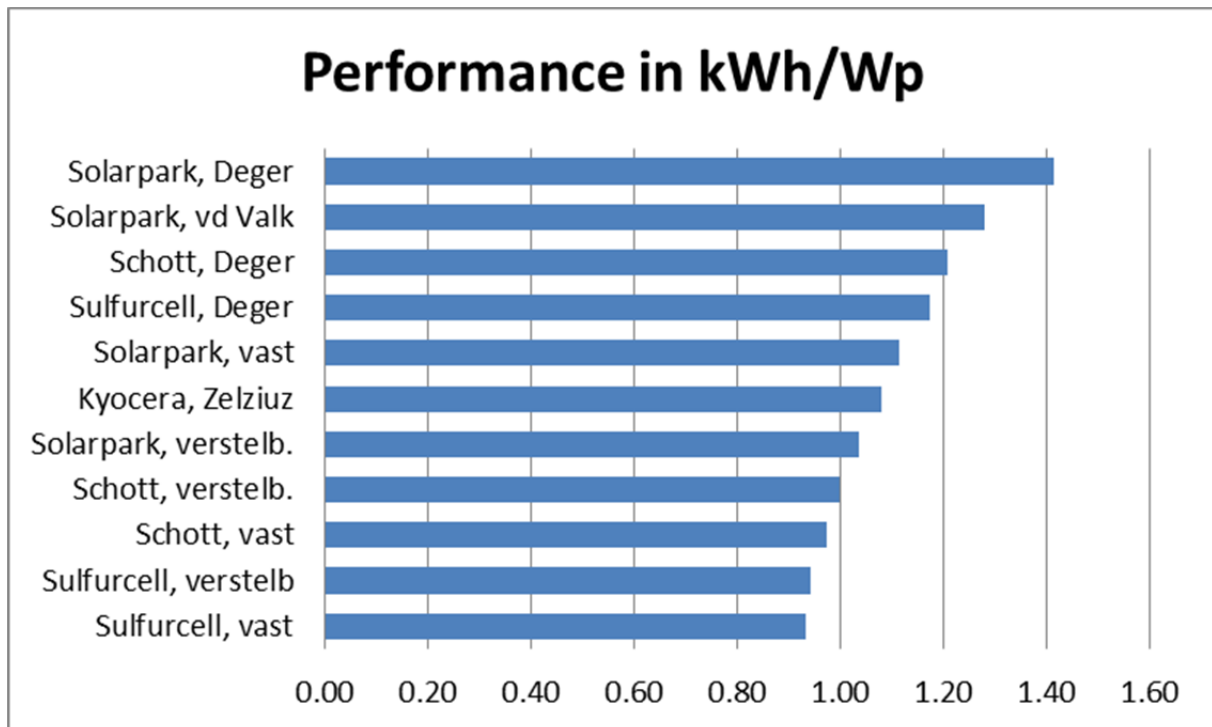
De Deger sun-trackers en de van der Valk solar-tracker gebruiken ook stroom om de zon te volgen. Achter de inverters van de Deger sun-trackers is daarom een verbruiksmeter geplaatst. Bij de van de Valk opstelling is het stroomverbruik zo laag ingeschat dat dit niet is gemeten.

Het stroomverbruik door de Deger sun-trackers is 0,6% van de door de Degers geproduceerde stroom.





In Figuur 5 wordt de performance van de verschillende systemen in kWh/Wp vergeleken. Solarpark panelen op een Deger sun-tracker gaven in de onderzochte periode de hoogste netto-opbrengst per geïnstalleerd vermogen, direct gevolgd door de Solarpark panelen op de van der Valk solar-tracker. Ook de Deger sun-trackers met de Schott en Sulfurcell panelen scoorden goed.



Figuur 5: Performance van de verschillende opstellingen op de Zonneweide van okt. 2011 t/m sept. 2012 in netto stroomopbrengst per geïnstalleerd vermogen (kWh/Wp)

Als we de performance van de verschillende typen panelen vergelijken leveren de polykristallijne panelen (Solarpark en Kyocera) een hogere stroomopbrengst per geïnstalleerd vermogen dan de dunne film panelen (Schott en Sulfurcell). Solarpark scoort iets beter dan Kyocera en Schott iets beter dan Sulfurcell.

Van de verschillende opstellingen behalen de Deger sun-trackers de beste resultaten, namelijk een gemiddeld 26% hogere netto stroomopbrengst dan de vaste opstellingen.

Met de van der Valk solar-tracker wordt een 15% hogere opbrengst behaald dan met de vaste opstelling.

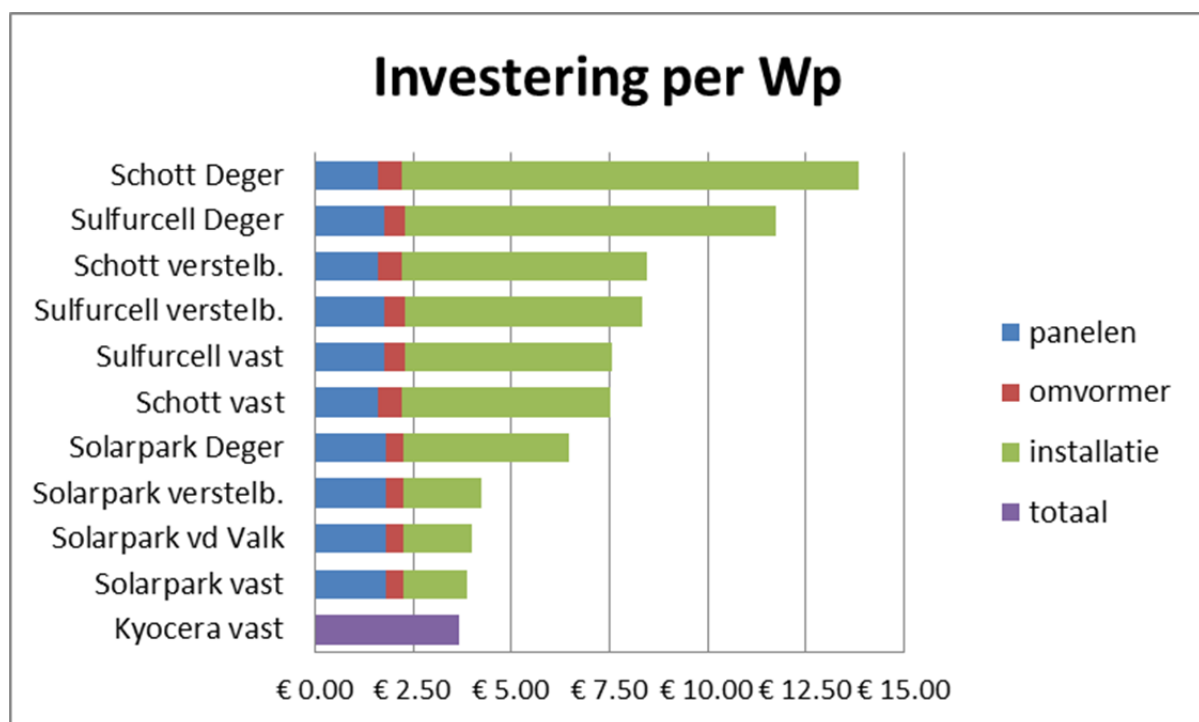
De variabele opstellingen (Schletter Vario Top) geven bij de Schott panelen een 2,6% hogere opbrengst dan vast, bij de Sulfurcell 1% hoger, maar bij de Solarpark panelen 7% lager dan vast. Bij de Solarpark panelen is er in de maanden november tot en met februari een beduidend lagere opbrengst in de variabele opstelling dan in de vaste opstelling. De andere typen panelen geven juist in deze wintermaanden een betere opbrengst bij een steilere hellingshoek. De Solarpark panelen in de variabele opstelling blijken in deze maanden in de late middag last te hebben van schaduwwerking van de vaste opstelling.



## 4 Rentabiliteit

### 4.1 Investering

De benodigde investeringskosten voor de verschillende systemen bestaan uit kosten voor de panelen en de inverters en de installatiekosten (montageframe/tracker, fundatie, bekabeling en arbeid). In Figuur 6 worden de investeringskosten van de verschillende opstellingen zoals die in de zomer van 2011 op de Zonneweide zijn geplaatst weergegeven. Omdat de opstellingen niet op een dak maar direct op de grond geplaatst zijn, moesten er stevige draagconstructies gemaakt worden, die een groot deel van de aanschaf bepalen. De systemen met polykristallijne panelen (Kyocera en Solarpark) blijken in aanschaf per Wattpiek goedkoper te zijn dan met dunne film panelen (Schott en Sulfurcell). Dit komt vooral doordat de dunne film panelen per Wattpiek zwaarder zijn. Wat betreft de opstellingen blijken de vaste opstellingen per Wattpiek de laagste aanschafwaarde te hebben, vervolgens de van der Valk, de verstelbare en ten slotte blijken de Degers per Wattpiek het duurst te zijn. De Deger sun-trackers zijn duur in aanschaf vanwege de draagconstructie, fundering en het aandrijfmechanisme.



Figuur 6: Vergelijking van de benodigde investering per Wattpiek van de verschillende systemen op de Zonneweide in 2011 met een onderverdeling naar panelen, omvormer en installatiekosten

Deze investeringskosten zijn gebaseerd op kleine installaties (minder dan 3,5 kWp) en het prijsniveau van de zomer van 2011. Door de hevige concurrentie op de PV markt zijn de prijsdalingen voor met name de panelen groot. De leveranciers hebben zomer 2012 actuele richtprijzen per Wp van een aantal PV systemen gegeven voor installaties met een vermogen tot 3,5 kWp, 20 kWp en 100 kWp, zie Tabel 3.



Tabel 3: Investering per Wattpiek voor verschillende PV systemen bij kleine, middelgrote en grote installaties in 2011 en 2012

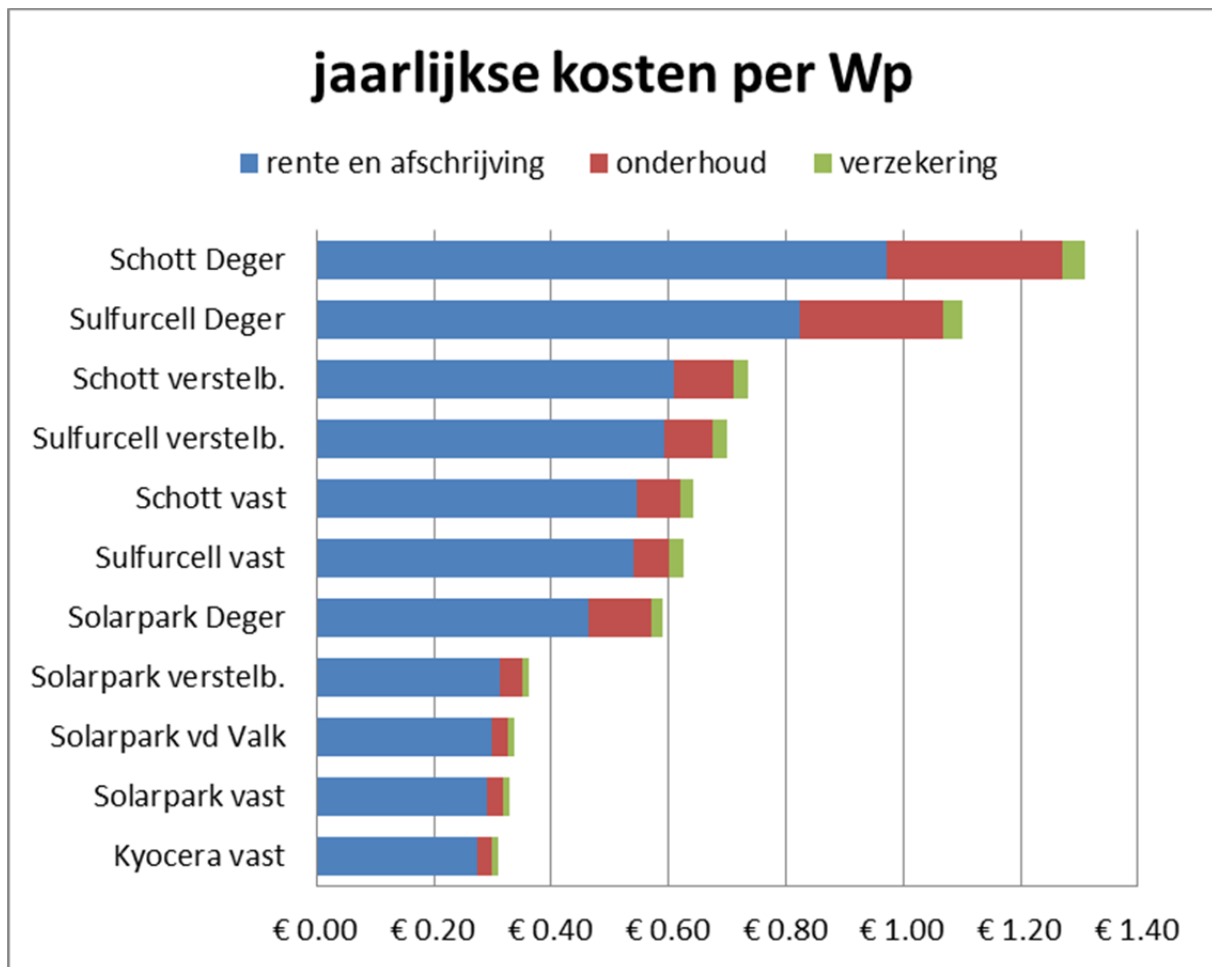
	< 3,5 kWp 2011	< 3,5 kWp 2012	20 kWp 2012	100 kWp 2012
Solarpark vast	€ 3.88	€ 2.75	€ 1.80	€ 1.65
Solarpark vd Valk	€ 4.01	€ 2.36	€ 1.82	€ 1.56
Kyocera vast (Zelziuz)	€ 3.66	€ 2.19	€ 1.63	€ 1.61

## 4.2 Jaarlijkse kosten

De jaarlijkse kosten bestaan uit rente- en afschrijvingskosten over de aanschafwaarde, onderhouds- en schoonmaakkosten voor de installatie en arbeidskosten voor het verzetten van de variabele opstellingen. De jaarlijkse rente is vastgesteld op 5.5%. De gehanteerde afschrijvingstermijn voor de panelen en installatie is 25 jaar en voor de inverter 10 jaar. De kosten voor onderhoud zijn gebaseerd op het onderhoudscontract met MV Solar, waarbij 60% van het bedrag aan de Degers is toegerekend en 40% aan de andere opstellingen. Voor het negen maal verzetten van de variabele opstellingen is gerekend met 0,3 uur per opstelling maal een uurtarief van €11.53 (KWIN 2012: laaggeschoolde arbeid). Voor de verzekering is gerekend met een premie van 2,95 ‰ per jaar over de aanschafwaarde ([www.SolarIF.nl](http://www.SolarIF.nl)).

In Figuur 7 is een vergelijking van de jaarlijkse kosten tussen de verschillende opstellingen weergegeven. De rente en afschrijvingskosten bepalen het grootste gedeelte van de jaarlijkse kosten. Hierdoor ontstaat dezelfde rangorde tussen de systemen als bij de vergelijking van de aanschafwaarde. De onderhoudskosten zijn bij de Degers het hoogst vanwege de functietesten en het smeren van de bewegende delen. Het onderhoud van de verstelbare opstellingen is hoger dan bij de vaste opstellingen, omdat hier de kosten van het negen maal per jaar verzetten van de hellingshoek in zijn opgenomen.

De jaarlijkse kosten zijn het laagst voor de polykristallijne panelen in de vaste of de van der Valk opstelling en het hoogst bij de dunne film panelen op de Degers.



Figuur 7: Vergelijking van de jaarlijkse kosten per Wattpiek van de verschillende systemen op de in 2011 geïnstalleerde Zonneweide met een onderverdeling naar de kosten voor rente en afschrijving, onderhoud en verzekering

Voor dezelfde installaties als in Tabel 3 zijn actuele kostenberekeningen gemaakt voor 2012, zie Tabel 4. Hierbij zijn de uitgangspunten zoals hiervoor beschreven, alleen is voor wat betreft het onderhoud uitsluitend gerekend met eenmaal per jaar wassen van de panelen á €0.0065 per Wp.

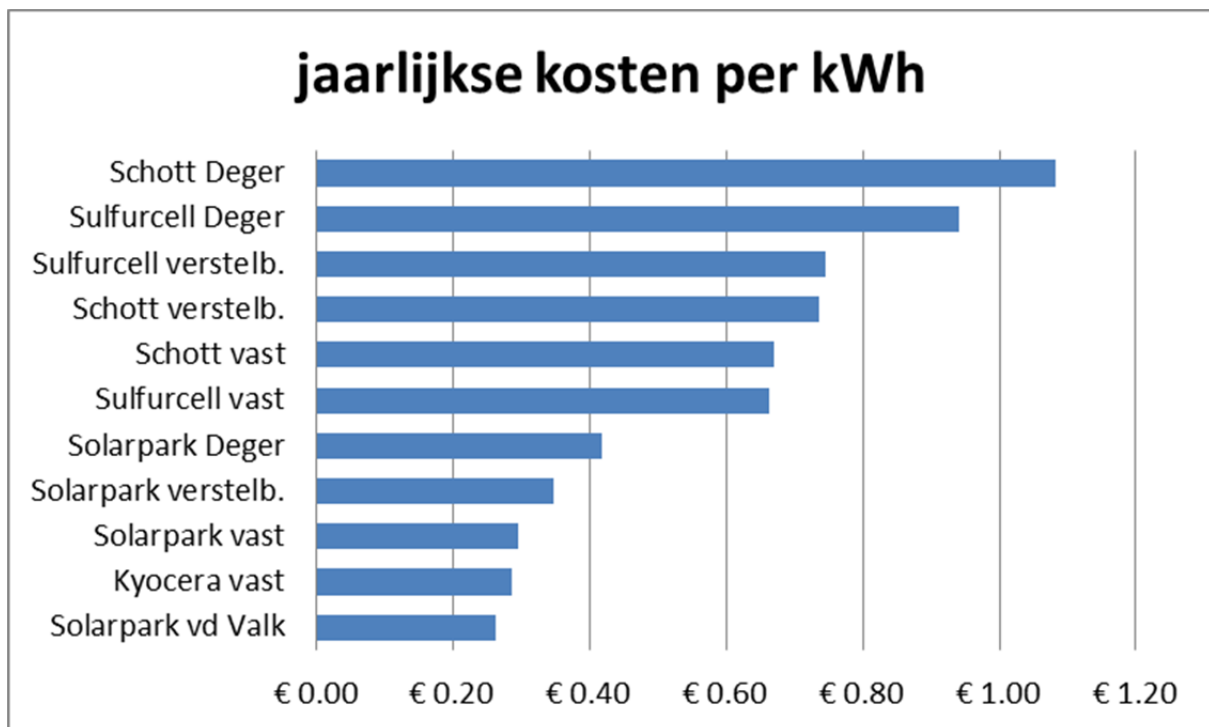
Tabel 4: Jaarlijkse kosten per Wattpiek voor verschillende PV systemen bij kleine, middelgrote en grote installaties in 2011 en 2012

	< 3,5 kWp 2011	< 3,5 kWp 2012	20 kWp 2012	100 kWp 2012
Solarpark vast	€ 0.33	€ 0.22	€ 0.15	€ 0.13
Solarpark vd Valk	€ 0.34	€ 0.19	€ 0.15	€ 0.13
Kyocera vast (Zelziuz)	€ 0.31	€ 0.18	€ 0.13	€ 0.13



### 4.3 Kostprijs per kWh

Op basis van het jaarresultaat over okt. 2011-sept. 2012 kan de kostprijs per geleverde kWh worden bepaald, zie Figuur 8 en Tabel 5. Door verschillen in performance van de verschillende systemen ontstaat er nu een andere rangorde dan bij de kosten per Wp (Figuur 7 en Tabel 4). De Solarpark panelen op de van der Valk solar-tracker blijken per kWh het minst te kosten, gevolgd door de Kyocera panelen op de vaste opstelling (van Zelziuz) en de Solarpark panelen op de vaste opstelling.



Figuur 8: Jaarlijkse kosten voor de in 2011 geïnstalleerde PV systemen op basis van de performance okt. 2011-sept.2012 (op basis van de investeringskosten in 2011)

Tabel 5: Jaarlijkse kosten per kWh voor verschillende PV systemen bij kleine, middelgrote en grote installaties in 2011 en 2012 op basis van de performance okt. 2011-sept.2012

	< 3,5 kWp 2011	< 3,5 kWp 2012	20 kWp 2012	100 kWp 2012
Solarpark vast	€ 0.30	€ 0.20	€ 0.14	€ 0.12
Solarpark vd Valk	€ 0.27	€ 0.15	€ 0.12	€ 0.10
Kyocera vast (Zelziuz)	€ 0.29	€ 0.17	€ 0.12	€ 0.12

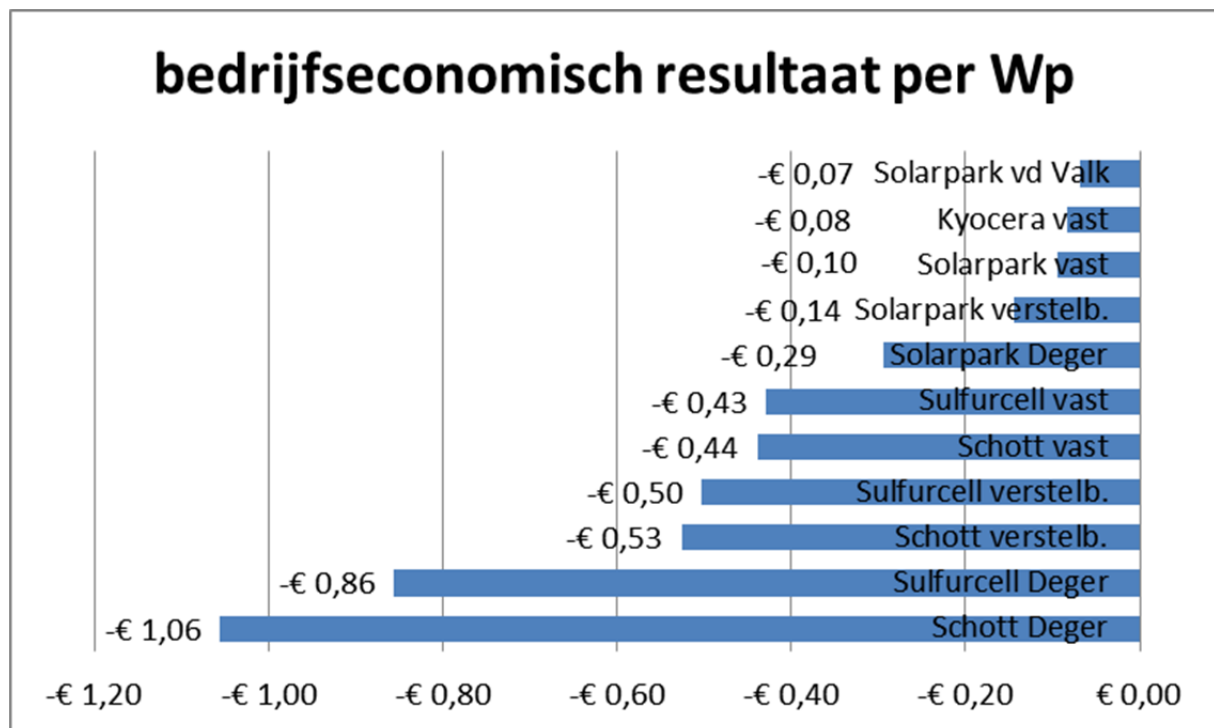


## 4.4 Rendement

Het rendement hangt nauw samen met de opbrengstprijis van de zelf opgewekte stroom. Bij stroomaansluitingen met een aansluitcapaciteit van maximaal 3x80A kan men, afhankelijk van de energieleverancier, de hoeveelheid opgewekte stroom meestal wel volledig salderen met het verbruik. Mits men niet meer produceert dan men verbruikt is de opbrengstprijis van de stroom dan gelijk aan de inkooprijis. Kleinverbruikers (<10.000 kWh/jr) besparen daarmee in 2012 ongeveer €0,21 per kWh. Bij een productie en verbruik van ongeveer 20.000 kWh ongeveer €0,15 per kWh.

Bij stroomaansluitingen met een grotere aansluitcapaciteit dan 3x80A mag niet gesaldeerd worden. Dan is de opbrengstprijis de teruglever vergoeding van de energieleverancier, dat is meestal de stroomrijis zonder belastingen van ca. €0,06 per kWh.

Van alle opstellingen op de zonneweide is het bedrijfseconomisch resultaat per Wp berekend door alle kosten per Wp (rente- en afschrijvingskosten over de aanschafwaarde, onderhouds- en schoonmaakkosten voor de installatie en arbeidskosten voor het verzetten van de variabele opstellingen) van de opbrengst per Wp af te trekken, uitgaande van een opbrengstprijis van €0,21 per kWh, zie Figuur 9. Hierbij is geen rekening gehouden met inflatie en/of een stijging van de stroomrijis.



Figuur 9: Bedrijfseconomisch resultaat voor de in 2011 geïnstalleerde PV systemen op basis van de performance okt. 2011-sept.2012



Bij geen van de opstellingen wordt een positief economisch resultaat behaald op basis van de investeringskosten zoals die in 2011 golden.

In Tabel 6 worden voor de best renderende opstellingen ook de bedrijfseconomische resultaten weergegeven bij het prijsniveau van zomer 2012 voor kleine, middelgrote en grote installaties bij opbrengstprijzen van resp. € 0,21, € 0,15 en € 0,06 per kWh. Wanneer gerekend wordt met prijspeil 2012 voor de PV installaties met een vermogen tot 3,5 kWp of 20 kWp zijn de Solarpark-vast, Solarpark-vd Valk en Kyocera-vast rendabel. Alle andere opstellingen zijn niet rendabel. Vanwege de lage terugleververgoeding bij grote installaties van 100 kWp zijn deze geen van alle rendabel.

*Tabel 6: Bedrijfseconomisch resultaat per Wp voor verschillende PV systemen bij kleine, middelgrote en grote installaties in 2011 en 2012 op basis van de performance okt. 2011-sept.2012*

	< 3,5 kWp 2011	< 3,5 kWp 2012	20 kWp 2012	100 kWp 2012
Solarpark vast	-€ 0.10	€ 0.01	€ 0.02	-€ 0.07
Solarpark vd Valk	-€ 0.07	€ 0.08	€ 0.04	-€ 0.05
Kyocera vast (Zelziuz)	-€ 0.08	€ 0.05	€ 0.03	-€ 0.07

In Tabel 7 is de terugverdientijd voor de verschillende systemen bepaald, op basis van de verschillende opbrengstprijzen behorend bij de verschillende vermogens. Bij de bepaling van de terugverdientijd wordt niet gerekend met rente en afschrijving, maar wordt berekend wanneer de eigen investering wordt terugverdiend. Er is hier rekening gehouden met 2% inflatie en 2% stijging van de energieprijzen per jaar (bovenop de inflatie).

Uit de tabel blijkt dat de investeringen in de 100 kWp installaties niet kunnen worden terugverdiend uitgaande van een terugleververgoeding van €0,06 in 2012. De kleine en middelgrote installaties worden wel binnen de afschrijvingstermijn van de panelen terugverdiend, uitgaande van saldeermogelijkheden bij een stroomprijs van resp. €0,21 en €0,06 per kWh. Dit geldt alleen voor de installaties uit de tabel, alle andere installaties worden niet terugverdiend.

*Tabel 7: Terugverdientijd (in jaar) voor verschillende PV systemen bij kleine, middelgrote en grote installaties in 2011 en 2012 op basis van de performance okt. 2011-sept.2012*

	< 3,5 kWp 2011	< 3,5 kWp 2012	20 kWp 2012	100 kWp 2012
Solarpark vast	23	14	13	- <sup>1</sup>
Solarpark vd Valk	19	11	12	-
Kyocera vast (Zelziuz)	22	12	12	-

<sup>1</sup> Wordt niet binnen 25 jaar (de afschrijvingstermijn van de zonnepanelen) terugverdiend.



## 4.5 Grondgebruik en omgevingsvergunning

Bij de rendabiliteitsberekeningen zijn geen kosten voor de grond meegenomen. Er is echter wel een groot verschil in grondgebruik tussen de verschillende typen opstellingen. Uitgaande van Solarpark panelen van 100 x 167,5 cm en een vermogen van 230 Wp per paneel, zijn de vaste opstelling en de van der Valk solar-tracker vergeleken qua vermogen per ha. Bij de opstellingen met een vaste hellingshoek is uitgegaan van rijen panelen die twee panelen hoog zijn en van een afstand tussen de rijen panelen van 9 meter van hart tot hart. In de rij kunnen alle panelen naast elkaar geplaatst worden. Bij de solar-trackers is uitgegaan van units van 8 panelen waarbij 2 panelen boven elkaar zijn geplaatst en er tussen de panelen 1 meter ruimte is. Ook hier is uitgegaan van een ruimte tussen de rijen van 9 meter. De 1 meter ruimte tussen de panelen is nodig om schaduwwerking van het naast liggende draaiende paneel te voorkomen. Hierdoor kan maar de helft van het vermogen van vaste opstellingen worden geplaatst. Met een vaste opstelling kan ongeveer 496 kWp per ha worden geïnstalleerd en met een solar-tracker ongeveer 243 kWp.

Bij veldopstellingen moet een omgevingsvergunning worden aangevraagd. PV-installaties zijn alleen vergunningsvrij als zij op een dak worden geplaatst ([www.rijksoverheid.nl](http://www.rijksoverheid.nl)). Ook de kosten voor het aanvragen van een omgevingsvergunning zijn niet meegenomen in voorgaande berekeningen.





## 5 Samenvatting en conclusies

De Zonneweide is een onderdeel van het project EnergieRijk. In dit project werken Wageningen UR en ENECO samen met bedrijfsleven, overheid en onderwijs aan de ontwikkeling van duurzame energieproducten en toepassingen van groene grondstoffen rekening houdend met economische, ecologische en sociale aspecten.

Op de Zonneweide worden verschillende typen zonnepanelen en verschillende opstellingen getest op performance en rendabiliteit. In dit rapport zijn de resultaten van oktober 2011 tot en met september 2012 weergegeven.

Het totale geïnstalleerde vermogen van de Zonneweide bedraagt 24,022 kWp. De bruto jaaropbrengst bedraagt 27.011kWh, waarmee de Zonneweide als geheel een performance van 1,12 kWh/Wp behaald heeft.

De volgende typen zonnepanelen zijn getest:

- polykristallijn silicium (Solarpark 230 Wp)
- polykristallijn silicium (Kyocera 240 Wp)
- dunne film silicium (Schott 97 Wp)
- dunne film CIS (Sulfurcell 55 Wp)

Deze zonnepanelen zijn getest volgens vier opstellingen:

- vaste opstelling: permanente hellingshoek van 36° op het zuiden
- Schletter Vario Top: maandelijks te verstellen hellingshoek van 10 tot 60°
- Deger sun-tracker: zonvolgsysteem over twee assen direct reagerend op de lichtintensiteit
- van der Valk solar-tracker: zonvolgsysteem onder een hellingshoek van 36° op het zuiden, dat draaiend over één as gedurende de dag de baan van de zon volgt.

Bij vergelijking van de performance van de verschillende typen panelen blijken de polykristallijne panelen (Solarpark en Kyocera) een hogere stroomopbrengst per geïnstalleerd vermogen te leveren dan de dunne film panelen (Schott en Sulfurcell). Solarpark scoort iets beter dan Kyocera en Schott iets beter dan Sulfurcell. Van de verschillende opstellingen behalen de Deger sun-trackers de beste resultaten, namelijk een gemiddeld 26% hogere netto stroomopbrengst dan de vaste opstellingen. Met de van der Valk Solar-tracker wordt een 15% hogere opbrengst behaald dan met de vaste opstelling. De variabele opstellingen (Schletter Vario Top) geven per type paneel een verschillend beeld: bij de Schott panelen een 2,6% hogere opbrengst dan vast, bij de Sulfurcell 1% hoger, maar bij de Solarpark panelen 7% lager dan vast.

Omdat de opstellingen niet op een dak maar direct op de grond geplaatst zijn, moesten er stevige draagconstructies gemaakt worden, die een groot deel van de totale investering bepalen. De systemen met polykristallijne panelen (Kyocera en Solarpark) blijken in aanschaf per Wattpiek goedkoper te zijn dan met dunne film panelen (Schott en Sulfurcell). Wat betreft de opstellingen blijken de vaste opstellingen per Wattpiek de laagste aanschafwaarde te hebben, vervolgens de van der Valk, de verstelbare en ten slotte blijken de Degers per Wattpiek het duurst te zijn. De Deger suntrackers zijn duur in aanschaf vanwege de draagconstructie, fundering en het aandrijfmechanisme.



Wat betreft de rentabiliteit van deze PV systemen in veldopstellingen blijkt dat toepassingen met polykristallijne panelen op een draagconstructie met een vaste hellingshoek van  $36^\circ$  of op een van der Valk solar tracker binnen 15 jaar kunnen worden terugverdiend. Dit geldt voor kleine (tot 3,5 kWp) tot middelgrote installaties (20 kWp) indien er gesaldeerd kan worden. Investerings in grote installaties (100 kWp) worden niet terugverdiend, vanwege de lage veronderstelde terugleververgoeding. Hierbij is geen rekening gehouden met grondkosten of met kosten voor een omgevingsvergunning, die bij veldopstellingen zal moeten worden aangevraagd. Dunne film panelen en veldopstellingen met een variabele hellingshoek of met een zonvolgsysteem van Deger zijn minder rendabel. De van der Valk solar-tracker is het meest rendabel, maar hiervan kan per oppervlakte eenheid ongeveer de helft van het aantal panelen geplaatst worden ten opzichte van een niet bewegende draagconstructie.

[www.acrres.nl](http://www.acrres.nl)



**WAGENINGENUR**  
*For quality of life*