

TNO-rapport

2002-DEG-R013

**Toepassingsmogelijkheden van PV in de
Glastuinbouw**

Datum 18 juli 2002
Auteur(s) ir. T. Ploeger (TNO Bouw)
ing. F.L.K. Kempkes (Imag)

Aantal pagina's 46
Aantal bijlagen
Opdrachtgever Productschap Tuinbouw
Projectnaam PV in de Glastuinbouw
Projectnummer 006.16863/01.01

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

Samenvatting

De Stuurgroep MJA-E heeft als doelstelling om voor de glastuinbouwsector in 2010 een aandeel van 4% van het totale energiegebruik in de vorm van duurzame energie te realiseren. Fotovoltaïsche zonne-energie (PV) kan daaraan een belangrijke bijdrage leveren.

Ten einde meer inzicht te verkrijgen in de toepassingsmogelijkheden van PV in de glastuinbouw en het totale landelijke potentieel is door TNO en IMAG in opdracht van het Productschap Tuinbouw en het ministerie van LNV een onderzoek gedaan. Hierbij wordt gekeken naar 3 karakteristieke glastuinbouwgewassen, namelijk tomaat, fresia en potplanten. Uit een voorafgaande studie bleken deze drie gewassen de hoogste potentie te hebben voor het toepassen van PV.

PV kan niet op het dak van de kas geplaatst worden, omdat hierdoor de lichtopbrengst in de kas beperkt dan wel te niet gedaan wordt. Daarom is onderzocht welke andere toepassingsgebieden mogelijk zijn om PV op te leggen.

De verschillende toepassingsmogelijkheden die onderzocht zijn:

- PV als afdekking van een waterbassin
- PV op de aarden wal van het bassin
- PV op het dak van bedrijfsgebouwen
- PV op het dak van de woongebouwen
- PV in de gevel van de kassen

De opbrengst van het beschikbare PV is afhankelijk van het beschikbaar oppervlak van de verschillende toepassingsgebieden bij de drie gewassoorten. De maximaal met PV inzetbare oppervlakten van de drie gewassoorten zijn nagenoeg gelijk aan elkaar. Het grootste aandeel van de voor PV beschikbare oppervlakte bestaat uit het mogelijk af te dekken waterbassin. Bij de tomatenteelt is het beschikbare oppervlak groter, omdat het (geïndexeerde) waterbassin bij deze teelt groter is.

Bij de tomatenteelt is de (jaarrond) vraag naar elektriciteit lager dan er (op jaarbasis) duurzaam opgewekt kan worden door het beschikbare PV oppervlak. Hierdoor is het dekkingspercentage hoger dan 100% namelijk: 104,1%. Het dekkingspercentage van de potplanten is 95,4%. De elektriciteitsvraag van de fresiateelt ligt hoog. De reden hiervoor is dat de grond van de fresia in de zomer gekoeld moet worden. Het dekkingspercentage over het hele jaar van de fresia is hierdoor 15,3%.

In de winter levert een PV-systeem niet voldoende duurzame elektriciteit. In de zomer levert een PV-systeem vooral in de middaguren meestal meer duurzame elektriciteit dan direct door het bedrijf gevraagd wordt.

Het percentage direct gebruikte duurzame elektriciteit is voor de tomatenteelt 39%, voor de potplantenteelt 40% en voor de fresiateelt 81% (bij de fresiateelt wordt in de zomermaanden juni tot en met augustus 71% van de totale elektriciteitsvraag ingezet). De resterende opbrengst van de PV wordt aan het net geleverd.

De drie gewassoorten, die representatief zijn voor de andere gewassoorten binnen de glastuinbouwsector, hebben een totale productie van duurzaam opgewekte elektriciteit van 158,8 GWh per jaar.

Het aandeel van 4% duurzame energie voor de glastuinbouwsector wordt alleen al door plaatsing van PV bij deze drie gewassoorten ruimschoots gehaald.

Het potentieel van PV voor alle gewassoorten binnen de glastuinbouwsector ligt dan ook vele malen hoger dan de 4% gesteld door de stuurgroep MJA-E.

De investeringskosten voor een PV-systeem zijn nu nog zo hoog dat een systeem niet zonder subsidies terug te verdienen is. Echter de verwachting is dat de prijs zal dalen door de verbeterde techniek, en door de steeds groter wordende productie van PV. Daarnaast is de verwachting dat de prijs van elektriciteit zal gaan stijgen. Door deze ontwikkelingen kan een PV-systeem binnen 10 jaar rendabel worden.

De investeringskosten van de tomatenteelt voor een PV systeem zijn hoger dan de andere twee teelten. Toch zal de aanschaf van een PV-systeem voor zowel de tomatenteelt als voor de potplantenteelt ongeveer even rendabel zijn. Dit komt omdat de resterende vraag van potplanten lager ligt en de hoeveelheid elektriciteit die wordt teruggeleverd aan het net ook lager ligt.

Bij de fresiateelt zal een PV-systeem als eerste kunnen gaan concurreren met de door het net geleverde elektriciteit. Dit komt omdat er een hoog percentage opgewekte elektriciteit door PV (in de zomermaanden) direct in het bedrijf gebruikt kan worden.

Het potentieel van PV binnen de glastuinbouwsector kan door het gebruik van PV op schaduwsschermen eenvoudig worden gehaald. De toepassingsmogelijkheden van PV op schaduwsschermen dienen daarom bij voorkeur onderzocht te worden.

Inhoudsopgave

1	Inleiding — 5
2	Fotovoltaïsche zonne-energie — 6
2.1	PV-materialen — 6
2.2	PV-bevestigingsmogelijkheden — 7
2.3	PV-randvoorwaarden — 8
2.4	PV-opbrengst — 9
2.5	Toekomstverwachtingen van PV — 10
2.6	Beleid — 10
3	Potentieel — 11
3.1	Uitgangspunten — 11
3.1.1	Gewassoorten — 11
3.1.2	Referentiejaar — 12
3.1.3	Gewassoort arealen — 12
3.1.4	Vergelijking van dit rapport en tussenrapportage van fase A. — 12
3.1.5	Dekking van de vraag — 12
3.1.6	Tabellen op jaarbasis — 12
3.2	Toepassingsmogelijkheden bedrijfsniveau — 13
3.2.1	Waterbassin (1) — 13
3.2.2	Woongebouw (2) — 15
3.2.3	Bedrijfsgebouw (3) — 16
3.2.4	Kas (4) — 17
3.3	Vraag/ aanbod elektriciteit per gewassoort — 18
3.3.1	Tomaat — 19
3.3.2	Fresia — 24
3.3.3	Potplanten — 27
3.4	Overzicht vraag en aanbod per bedrijf van de drie gewassoorten — 30
4	Landelijk potentieel — 32
4.1	PV-opbrengst — 32
4.2	Vermeden CO ₂ uitstoot — 32
4.3	Percentage duurzame energie — 33
5	Kosten - baten — 34
5.1	Investeringskosten — 34
5.2	Uitwerking kosten/ baten — 35
5.3	Discussie — 38
6	Conclusie — 41
7	Aanbevelingen — 44
8	Referenties — 45

1 Inleiding

De Stuurgroep MJA-E heeft als doelstelling om voor de glastuinbouwsector in 2010 een aandeel van 4% van het totale energiegebruik in de vorm van duurzame energie te realiseren. Fotovoltaïsche zonne-energie (PV) kan daaraan een belangrijke bijdrage leveren.

Ten einde meer inzicht te verkrijgen in de toepassingsmogelijkheden van PV in de glastuinbouw en het totale landelijke potentieel is door TNO en IMAG in opdracht van het Productschap Tuinbouw een onderzoek hiernaar gedaan. Hierbij wordt gekeken naar 3 karakteristieke glastuinbouwgewassen, namelijk tomaat, fnesia en potplanten. Uit een voorafgaande studie [10] bleken deze drie gewassen de hoogste potentie te hebben voor het toepassen van PV.

In hoofdstuk 2 wordt kort ingegaan op de eigenschappen en mogelijkheden van fotovoltaïsche zonne-energie.

In hoofdstuk 3 worden de verschillende toepassingsmogelijkheden op bedrijfsniveau uitgelicht. Per toepassingsgebied is onderzocht hoeveel m² PV-paneel mogelijk geïnstalleerd kan worden en wat de opbrengst hiervan is.

Daarna is de vraag naar elektriciteit van de drie karakteristieke gewassoorten vergeleken met het aanbod van zoninstraling.

In hoofdstuk 4 worden de resultaten van hoofdstuk 3 uitgewerkt. In dit hoofdstuk wordt gekeken naar het landelijke potentieel. In hoofdstuk 5 zijn de kosten en de baten beschreven.

In de afsluitende hoofdstukken worden conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.



Figuur 1 concentratiegebied van Nederlandse glastuinbouw

2 Fotovoltaïsche zonne-energie

PV is de afkorting van het engelse woord photovoltaic[1]. Het fysische proces waarmee een zonnecel licht omzet in elektriciteit heet fotovoltaïsche omzetting. Er zijn verschillende PV-materialen te onderscheiden. Voor de huidige toepassingen van zonnecellen is silicium als halfgeleider veruit het meest gangbaar. Het gaat dan om drie typen zonnecellen, namelijk:

- Monokristallijn silicium
- Polykristallijn (of multikristallijn) silicium
- Amorf silicium.

Hieronder worden de verschillende typen kort besproken

2.1 PV-materialen

Monokristallijn wordt gezaagd uit een monokristallijn blok silicium, de kleur is egaal antraciet of donkerblauw. Monokristallijne zonnecellen hebben een rendement van 15%. Dit rendement is op celniveau, een paneel heeft over het algemeen een rendement van 10% door de toevoeging van onder andere glas. De rest van het geabsorbeerde zonlicht wordt omgezet in warmte.

Polykristallijn (of multikristallijn) silicium wordt ook uit een blok silicium gezaagd, de kleur is blauw. Polykristallijn heeft een celrendement van 14%. Afhankelijke van het gekozen type betekent dit in Nederland een opbrengst van 70-80 kWh¹ per jaar per m² PV-systeem.

Amorf silicium, kan doordat dit materiaal niet uit een blok materiaal gezaagd hoeft te worden, in principe alle vormen bevatten. Dit materiaal wordt op een ondersteunend materiaal “opgedampt”. Het rendement is een stuk lager, namelijk 6 – 8%. Dit komt neer op een maximale opbrengst in Nederland van rond de 40 kWh per jaar per m².

Naast de materialen kan er onderscheid gemaakt worden tussen autonome en netgekoppelde PV-systemen.

Netgekoppelde systemen leveren het ongebruikte deel van de opgewekte stroom terug aan het elektriciteitsnet. Deze systemen zijn bedrijfszeker, doordat het elektriciteitsnet de stroomvoorziening kan opvangen als het systeem minder of geen stroom levert.

Autonome systemen zijn niet gekoppeld aan het elektriciteitsnet. Voor de tijdstippen dat de zon niet schijnt, dus het PV-systeem geen stroom levert, is een batterij of accu nodig. Die kan de perioden overbruggen dat er minder of geen stroom wordt opgewekt. Voordeel van autonome systemen is dat ze eenvoudig zijn te installeren. Een nadeel is de milieubelasting die de zuurhoudende accu's vormen. Of een autonome installatie rendabel is hangt af van het benodigde vermogen die nodig is en de afstand tot het elektriciteitsnet.

¹ Voor de berekeningen in dit rapport is uitgegaan van een maximale opbrengst van 75 kWh per m².

2.2 PV-bevestigingsmogelijkheden

Standaard zonnepanelen zijn verkrijgbaar met of zonder frame. [2]

Frameloze panelen, ook wel laminaten genoemd, kunnen worden behandeld als normale glazen ruiten. Deze kunnen op verschillende manieren bevestigd worden. Het bevestigingsprincipe berust hoofdzakelijk op een methode, zoals in figuur 2 geschetst. Een variant op deze laminaten zijn de doorzichtpanelen. Deze panelen zijn gespatieerd. Doordat de cellen een grotere onderlinge afstand van elkaar hebben, kan zonlicht door het glas schijnen.

Toepassingsmogelijkheden van deze frameloze panelen in de woning en utiliteitsbouw zijn bijvoorbeeld vervanging van glas en montage in een frame van profielen op het dak.



Figuur 2 schets van PV-laminaat.

Een zonnepaneel met een frame wordt een PV-module genoemd. Het frame kan uit aluminium of kunststof bestaan. Ook hiervan zijn vele uitvoeringen die uiteindelijk op het principe berusten, zoals hieronder is geschetst.

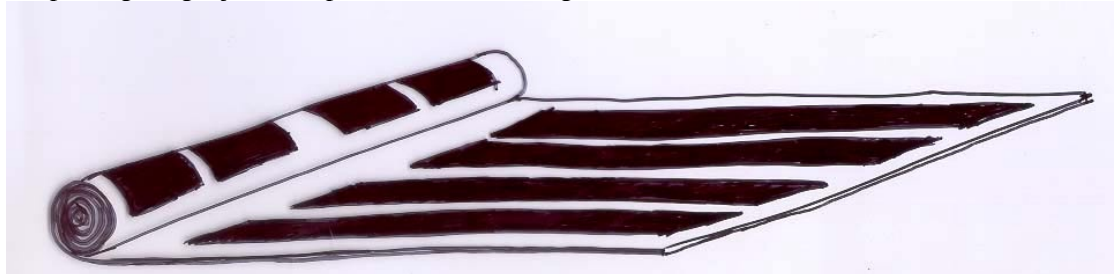
Toepassingsmogelijkheden: in of op het dakvlak en op het platte dak.



Figuur 3 schets van PV-paneel

Als laatste is er het flexibele systeem. Dit is alleen mogelijk met amorf silicium. Een voorbeeld is het PV-folie geproduceerd volgens een roll-to-roll principe.

Toepassingsmogelijkheden: plat dak en zonwering.



Figuur 4 schets van amorf silicium op rol

2.3 PV-randvoorwaarden

Om er zorg voor te dragen dat een PV-systeem ook het opgegeven rendement haalt, zijn er enkele randvoorwaarden.

A Beschaduwning

Een belangrijke randvoorwaarde is dat PV-systemen niet beschaduwd mogen worden, vooral niet met een scherpe slagschaduw. Een PV-paneel bestaat uit een aantal zonnecellen die meestal in serie, dus achter elkaar zijn geschakeld. Valt er geen licht op een van de cellen, dan reageert die cel als weerstand en zal geen stroom doorlaten. Hierdoor gaat de opbrengst van de hele serie verloren.

Behalve beschaduwning zijn er nog meer randvoorwaarden waaraan een PV-systeem moet voldoen, namelijk de architectonische randvoorwaarden, de bouwtechnische randvoorwaarden, de elektrotechnische randvoorwaarden en randvoorwaarden specifiek gericht op toepassing in de glastuinbouw. De architectonische randvoorwaarden zijn vooral gericht op de opbrengst van het systeem en de kwaliteit van de omgeving. De bouwtechnische randvoorwaarden hebben vooral met de veiligheid en het comfort te maken. De randvoorwaarden worden hieronder benoemd met enkele belangrijke facetten.

B Architectonische randvoorwaarden

Bij de vormgeving zal rekening gehouden moeten worden met de volgende aspecten:

- B1 Vlakverdeling/ plaatsing (op een plat dak, helling dak of gevel)
- B2 Doorvoeren en uitbouwen in het vlak
- B3 Combinatie van PV met bouwkundige elementen zoals trappenhuisen, zonwering en serres
- B4 Maatvoering
- B5 Kleurstelling
- B6 Ruimte voor omvormer en ventilatie
- B7 Bekabeling

C Bouwkundige randvoorwaarden

Een PV-systeem moet voldoen aan de eisen die de bouwregelgeving stelt.

- C1 Sterkte en veiligheid
- C2 Detaillering
- C3 Brandveiligheid
- C4 Waterdichtheid
- C5 Condensatievocht
- C6 Geluidsisolatie
- C7 Vervuiling

D Elektrotechnische randvoorwaarden

Bij het ontwerpen van een PV-systeem zijn er naast de bouwkundige randvoorwaarden ook elektrotechnische randvoorwaarden. In principe is de elektrotechnische installatie van een PV-systeem eenvoudig van opzet. De installatie bestaat uit PV-panelen, via kabels die aan elkaar gekoppeld zijn, de bekabeling naar een koppelkast en vervolgens naar een omvormer. Deze omvormer zet de elektriciteit van 12 of 24 volt naar 230 volt om. Veiligheid is hierbij een belangrijke randvoorwaarde.

E Glastuinbouw randvoorwaarden

- E1 Bij toepassing in of rond de kas mag er afhankelijk van het gewas geen tot (zeer)geringe lichtonderschepping plaatsvinden (1% regel)²
- E2 Geen emissie van gassen waarvoor het gewas een lage tolerantie grens heeft
- E3 Geen zware constructie aan / op de kas omdat daar de kas niet op berekend is, en bij aanpassing van de kas zal hierdoor de lichtonderschepping weer toenemen.

2.4 PV-opbrengst

Het is geen harde randvoorwaarde om een PV-systeem exact op het zuiden te oriënteren, maar om het rendement van het PV-systeem zo groot mogelijk te laten zijn is het belangrijk dat de oriëntatie van het systeem zo optimaal mogelijk is. In tabel 1 is een overzicht gegeven van opbrengstpercentages bij verschillende hellingshoeken en oriëntaties van het PV-systeem. Er blijkt een behoorlijke marge in hellingshoeken en oriëntaties te zijn, waarbij de opbrengst van het PV-systeem groter blijft dan 90% van dat bij optimale plaatsing (zie tabel, dikgedrukte percentages). De optimale hoek, dus voor een maximale opbrengst voor het Nederlandse klimaat, is 36° en met een oriëntatie op het zuiden.

Tabel 1 opbrengst van PV-systemen als percentage van het maximaal haalbare afhankelijk van de hellingshoek en oriëntatie [18]

Oriëntatie hellingshoek	Zuid	Zuid west	West	Noord	Oost	Zuid oost
90° verticaal	80%	75%	60%	30%	60%	70%
80°	85%	80%	65%	35%	65%	80%
70°	90%	85%	70%	40%	70%	85%
60°	95%	90%	75%	45%	75%	90%
50°	100%	95%	80%	50%	80%	95%
40°	100%	100%	85%	60%	80%	95%
30°	100%	100%	85%	70%	85%	95%
20°	100%	95%	90%	80%	90%	95%
10°	95%	95%	90%	85%	90%	95%
0°	87%	87%	87%	87%	87%	87%

² 1% minder licht in de kas betekent 1% minder productie

2.5 Toekomstverwachtingen van PV

In laboratoria en proefproductielijnen wordt hard gewerkt aan de ontwikkeling van nieuwe PV-technologieën. De 'dunne film' zonnecel is een van deze nieuwe technologieën. Deze 'dunne film' zonnecellen hebben een laag gewicht, zijn flexibel en door het gebruik van relatief weinig silicium kunnen kostprijsverlagingen plaatsvinden. Verder zijn er organische cellen in ontwikkeling die gebruik maken van lichtabsorptie in organisch materiaal (kleurstof). De voornaamste drijfveer achter deze ontwikkeling is de noodzaak tot verdere kostprijsverlaging. Een andere ontwikkeling op het gebied van PV-technologieën zijn gekoelde zonnepanelen. Het rendement van zonnepanelen neemt toe naarmate de omgevingstemperatuur lager is, tevens kan de warmte die bij het koelen vrijkomt benut worden. Om amorf silicium sneller en goedkoper te produceren wordt er onder de projectnaam Helianthos een onderzoek uitgevoerd waarbij de cellen worden gemaakt volgens een roll-to-roll proces. Hierbij wordt een laag amorf silicium tijdens het productieproces op een folie opgedampt. Het eindproduct is dan ook een PV-folie, die op een plat dak neer gelegd kan worden of op een gebogen vlak (bijvoorbeeld een geluidswal) kan worden gelijmd.

De kosten voor een PV-systeem zijn nu nog zo hoog dat een systeem niet zonder subsidies terug te verdienen is. Echter de verwachting is dat de prijs zal dalen door de verbeterde techniek, en de grotere productie. Daarnaast is de verwachting dat de prijs van elektriciteit zal gaan stijgen. Zie ook hoofdstuk 4.4 Uitwerking kosten/ baten.

2.6 Beleid

Nederland algemeen [3]

Bij autonome (d.w.z. niet op het elektriciteitsnet aangesloten) systemen is PV voor veel toepassingen nu al een rendabele optie. Naar schatting bedraagt het potentieel van autonome toepassingen op lange termijn (10 jr) maximaal 100 MWp, (Mega Watt Piek) terwijl het maximale potentieel aan netgekoppelde systemen ca. 30 GWp bedraagt. De doelstelling van het Actieprogramma Duurzame Energie is, om in 2020 te komen tot 1450 MWp, ofwel 10 PJ aan uitgespaarde fossiele brandstof. In 2020 zouden er dan ca. 14,5 miljoen m² aan zonnepanelen geïnstalleerd dienen te zijn. In het jaar 2000 bedroeg het gezamenlijk vermogen van de netgekoppelde zonne-energie in Nederland 8 MW, dit komt neer op ongeveer 0.08 miljoen m².

Glastuinbouw

PV vormt een belangrijk potentieel in de opwekking van duurzame energie. Inzet van deze vorm van duurzame energie kan een bijdrage leveren aan de door de Stuurgroep MJA-E gestelde doelstelling voor de glastuinbouwsector, om in 2010 te komen tot een aandeel van 4% duurzame energie op het totale energiegebruik van deze branche. Voor 2000 wordt geraamd dat het energiegebruik in de glastuinbouw sector 128,7 PJ is geweest. Een lichte daling ten opzichte van 1999 (132,5 PJ). Het elektriciteitsaandeel hiervan was $1350 * 10^6$ kWh, met een stijgende tendens in de laatste jaren.[9]

3 Potentieel

Potentieel: wat is per gewassoort het totaal voor PV beschikbare oppervlak en de daaraan gekoppelde totale elektriciteitopbrengst?

3.1 Uitgangspunten

Voorafgaand aan dit rapport is een inventarisatie gedaan [10]. In de hierover verschenen tussenrapportage zijn een aantal uitgangspunten geformuleerd en zijn conclusies getrokken die ook voor dit onderzoek van belang zijn.

3.1.1 Gewassoorten

De drie gewassoorten die in dit rapport worden toegelicht bleken uit fase A, Inventarisatie voor de toepassing van PV, het meest interessant te zijn. De conclusies zijn:

- Verwacht wordt dat daken van bedrijfsgebouwen en waterbassins op glastuinbouwbedrijven als eerste in aanmerking komen voor plaatsing van een PV-systeem. De inzet van PV op andere plaatsen binnen een glastuinbouwbedrijf (gevel, schermen) zal in de vervolgfase van dit project aandacht krijgen.
- De elektriciteitsvraag voor teelten in de glastuinbouw is sterk verschillend. De toepassing van assimilatiebelichting en grondkoeling heeft tot gevolg dat het totale elektriciteitsverbruik vele malen hoger wordt. Indien assimilatiebelichting en grondkoeling echter buiten beschouwing worden gelaten ligt de elektriciteitsvraag gedurende het jaar op een vrij constant niveau (0,6 – 0,9 W/m²).
- De verhouding straling (elektriciteitsproductie met PV)/elektriciteitsvraag is in de glasgroenten- en potplantenteelt in de winter relatief laag en in de zomer relatief hoog.
- Een eerste verkenning wijst uit dat bij inzet van PV op het dak van bedrijfsgebouwen en boven waterbassins op glasgroente bedrijven (tomaat en radijs) per jaar middels PV meer elektriciteit kan worden opgewekt dan er op het bedrijf is benodigd. In de potplantenteelt is de elektriciteitsproductie van een eigen PV-systeem bijna voldoende om aan de totale elektriciteitsvraag te kunnen voldoen. In de rozen- en fresiateelt worden bijdragen verwacht van resp. 5 en 17% van de jaarlijkse elektriciteitsbehoefte.
- Op basis van de synchroniteit van vraag en aanbod van elektriciteit en de dekkinggraad van de jaarlijkse elektriciteitsbehoefte wordt voor de in deze studie opgenomen gewassen de volgende globale rangorde met afnemend perspectief voor toepasbaarheid van PV verwacht: fresia, tomat, potplanten, radijs en roos.
- Ten einde een goed inzicht te krijgen in de toepassingskansen voor PV in de glastuinbouw is verdere detaillering van een aantal technische (beschikbare systemen en rendementen) en economische aspecten (investering en kosten) van PV-systemen gewenst.

Op basis van deze conclusies is voor verdere uitwerking van de fresia (snijbloem), tomat (glasgroente) en de potplanten gekozen. Bij de potplanten kan daarbij gedacht worden aan bloeiende- en bladpotplanten. Perkplanten zijn niet interessant voor dit onderzoek, omdat deze groep zich kenmerkt door een lage energie-input en een niet jaarrond cyclus. Een groot deel van deze bedrijven ligt een deel van het jaar leeg. De belangrijkste teeltperiode ligt bij deze bedrijven in de eerste 5 maanden van het jaar, omdat het afzetseizoen zich concentreert in de periode half april, half juni.

3.1.2 *Referentiejaar*

Voor de berekeningen in de rapportage van fase A is gebruik gemaakt van het SEL-jaar[16]. Ook in dit onderzoek is daarom van dit selectiejaar uitgegaan. Het SEL jaar is een selectie van complete bestaande maanden uit de periode 1971 tot en met 1980 gemeten door het KNMI op het meteorologisch station De Bilt, die representatief zijn voor het weer in de betreffende maand. Zo is het oktober en november klimaat in het SEL jaar respectievelijk van 1980 en 1971.

Het SEL jaar is op uurbasis [4]. Hierdoor is er een goede mogelijkheid om de vraag naar elektriciteit, die op een dag sterk uiteen kan lopen, te vergelijken met het aanbod van zonninstraling

3.1.3 *Gewassoort arealen*

De drie gewassoorten die in dit rapport behandeld worden hebben verschillende totale teelt oppervlakten, ook wel arealen genoemd³. Dit is in tabel 2 terug te vinden.

Tabel 2 *arealen in ha per gewassoort in 2000 [11]*

Gewascategorie	Gewassoort	Areaal (ha)
<i>Glasgroenten</i>	Tomaat	1134
<i>Snijbloemen</i>	Fresia	283
<i>Potplanten</i>	Bloei en blad	1177

3.1.4 *Vergelijking van dit rapport en tussenrapportage van fase A.*

De in fase A uitgevoerde berekeningen zijn met het kassimulatie model KASPRO uitgevoerd. Dit model is in verband met veranderende IT inzichten in 2001 omgebouwd van een mainframe infrastructuur (VAX-VMS) naar een pc infrastructuur. Tijdens deze ombouw zijn een aantal verfijningen en verbeteringen in het model en de modelstructuur doorgevoerd. Als gevolg hiervan is het dus mogelijk en zelfs te verwachten dat er afwijkende maar nauwkeuriger resultaten ontstaan indien deze vergeleken worden met resultaten van voor 2001. De oude berekeningen uit fase A kunnen niet meer herhaald worden. Daarom zijn de in fase A (tussenrapportage) uitgevoerde berekeningen op het gebied van uurlijkse elektriciteitsverbruik en straling opnieuw uitgevoerd.

3.1.5 *Dekking van de vraag*

Het is belangrijk dat de door de zon opgewekte elektriciteit zo efficiënt mogelijk wordt gebruikt. Dit kan worden bereikt door deze elektriciteit niet eerst aan het net te leveren, en daarna terug te vragen, maar door deze elektriciteit zoveel mogelijk direct te gebruiken. Een uitgangspunt van dit onderzoek is dan ook te kijken naar PV-opbrengst die direct kan worden benut om de vraag naar elektriciteit per gewassoort te dekken.

3.1.6 *Tabellen op jaarbasis*

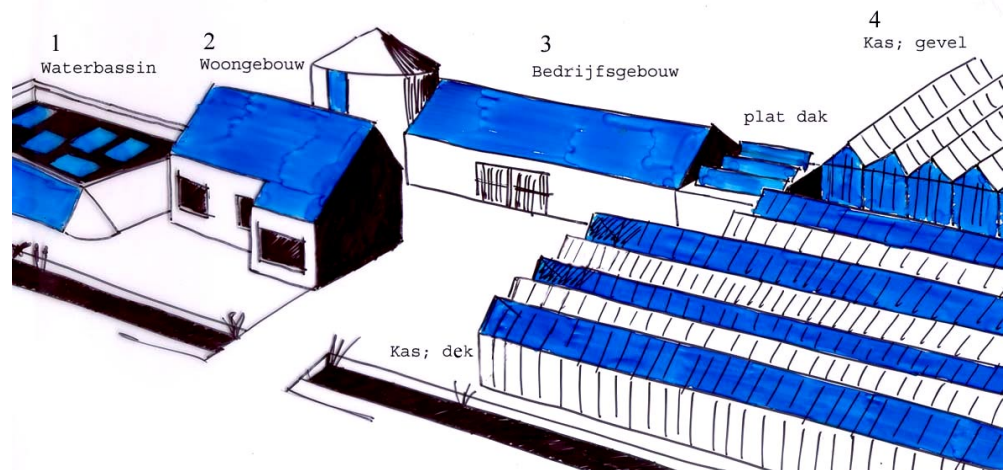
Alle gegevens die in de tabellen in de hierop volgende paragrafen worden genoemd zijn op jaarbasis tenzij anders vermeld.

³ Een areaal wordt uitgedrukt in hectare = 100 * 100 meter.

3.2 Toepassingsmogelijkheden bedrijfsniveau

Er zijn voor de glastuinbouw verschillende mogelijkheden om PV toe te passen. Belangrijk is dat aan de randvoorwaarden (zie paragraaf 2.3) wordt voldaan. Onderstaande schets geeft een indicatie van de mogelijkheden.

In de volgende paragrafen wordt vervolgens per toepassingsmogelijkheid kort ingegaan.



Figuur 5 toepassingsmogelijkheden PV op bedrijfsniveau

3.2.1 Waterbassin (1)

Een waterbassin wordt gebruikt om regenwater op te vangen, dat wordt ingezet bij de watervoorziening van de kasteelt. Uitgegaan wordt van een aarden waterbassin met zodanige opslagcapaciteit, dat ongeveer driekwart van de waterbehoefte gedurende de teelt met behulp van regenwater gedekt kan worden. [12]

Toepassing:

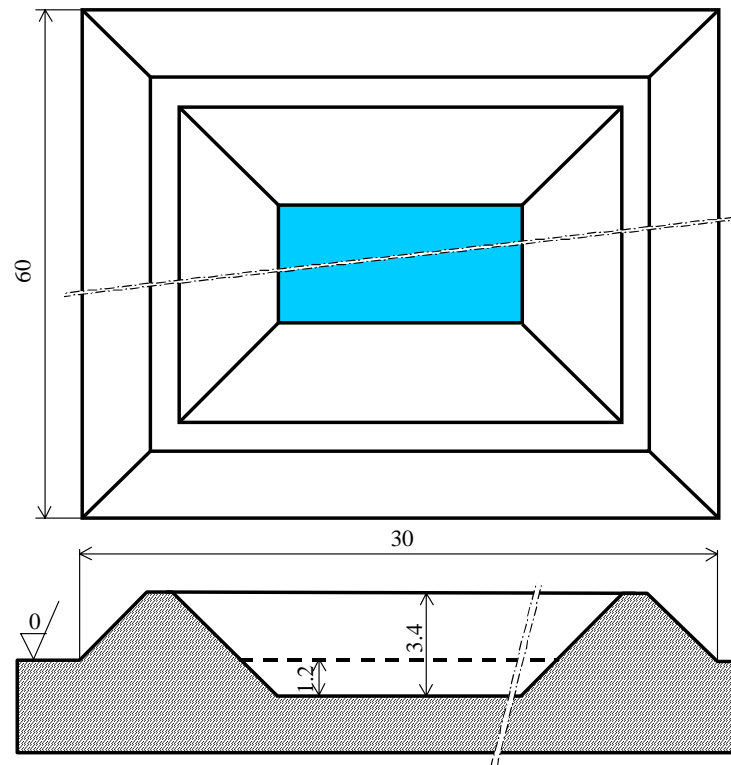
1 PV als afdekking van het waterbassin. Om algengroei te voorkomen worden waterbassins regelmatig afgedekt. Dit zou met behulp van een PV-systeem kunnen. Om dit te realiseren kan een constructie systeem worden ontworpen om deze panelen boven het waterbassin te dragen. Daarnaast kan gedacht worden aan een systeem waarbij de PV-panelen op het water kunnen drijven. Bij een constructie boven / over het bassin kan ongeveer 80%⁴ van het grondoppervlak gebruikt worden voor PV-dekking. Bij het drijvende systeem kan ongeveer 40% van het grondoppervlak bedekt worden. Dit percentage ligt veel lager, omdat er rekening mee gehouden moet worden dat het systeem niet de wal mag beschadigen door golfslag. Zie figuur 6.

In dit rapport is uitgegaan van het constructiesysteem boven het bassin, omdat er met dit systeem een groter oppervlakte met PV gedekt kan worden, dan bij een drijvend systeem. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met het feit dat dit constructiesysteem een duurere oplossing is dan een drijvend systeem.

2 PV tegen de aarden wal (dijk) van het bassin. Doordat de aarden wal schuine kanten heeft, kan tegen gunstig georiënteerde zijden PV geplaatst worden. Aandachtspunt is de beschaduwing.

⁴ Dit is afhankelijk van de maten van de bassins

Er moet rekening gehouden worden met de mogelijkheden om de waterbassins te vervangen, reinigen of te repareren. Een elektrisch systeem dat daarvoor gedemonteerd zou moeten worden is daarbij niet acceptabel. [5]



Figuur 6 opbouw van een waterbassin met een grondoppervlak van 60 x 30 m. Het blauwe/donkere vlak is hierbij het maximaal mogelijke oppervlak van een drijvend PV systeem

1 Beschikbaar oppervlak, PV als afdekking bassin:

De overheid en de glastuinbouw zijn in het convenant Glastuinbouw en Milieu (GLAMI) en de daarbij opgestelde Integrale Milieu Taakstelling (IMT) overeengekomen dat voor een tomaatbedrijf een waterbassin met een inhoud van 1.500 m³ per ha als norm aangehouden moet worden, hiermee kan ongeveer 60 a 70% van de waterbehoefte gedekt worden. Voor de andere teelten is de gekozen bassininhoud op grond van de gewasverdamping hieraan gerelateerd.

In tabel 3 is een overzicht gegeven van de benodigde grondoppervlakken van de waterbassins voor de verschillende teeltgewassen.

Uitgangspunten

- Bedrijfsoppervlakte van 2 ha
- Aantal bedrijven = totaal arealen/ 2ha
- Aarden waterbassin
- Verdamping op jaarbasis
- Netto PV oppervlak is 80% van het grondoppervlak
- Het bassin is 100% van de tijd afgedekt.
- PV-opbrengstpercentage is 87% van 75 kWh/m² per jaar in Nederland (zie tabel 1, paragraaf 2.4)

Tabel 3 gewasverdamping, de inhoud, oppervlakte en voor PV beschikbaar oppervlak van waterbassin voor de drie gewassoorten.

Gewassoort	Gewasverdamping (kg/m ²)	Bassininhoud (m ³)	Grondoppervlakte bassin (m ²)	PV oppervlak (m ²)	Aantal bedrijven
<i>Tomaat</i>	800	3.300	1.800	1.440	567
<i>Fresia</i>	500	2.200	1.350	1.080	141
<i>Potplanten</i>	500	2.200	1.350	1.080	588

Tabel 4 PV-oppervlak en opbrengst bij PV als afdekking van bassins (landelijk potentieel)

Gewassoort	Totale oppervlakte PV-bassin (m ²)	Totale opbrengst (MWh)/j
<i>Tomaat</i>	816.480	53.275
<i>Fresia</i>	152.820	9.972
<i>Potplanten</i>	635.580	41.471
Totaal	1.604.880	104.718

2 Beschikbaar oppervlak: PV tegen de aarden wal.

Uitgangspunten

- Bedrijfsoppervlakte van 2 ha
- De lengte is gelijk aan de breedte van de aarden wal
- De wal opbouw staat onder een hoek van 45⁰.
- De wal is 2,2 meter hoog, de PV-panelen zitten op het hoogste gedeelte. Uitgegaan is van een PV-paneel van 1300 mm hoog.
- Een van de vier zijden van het waterbassin is geschikt voor toepassing van een PV-systeem.
- Aantal bedrijven = totaal arealen/ 2ha
- PV-opbrengstpercentage is 100% van 75 kWh/m² per jaar in Nederland (zie tabel 1, paragraaf 2.4)

Tabel 5 gegevens oppervlakte aarden wal voor de drie gewassoorten en de uitkomsten in totalen m² en MWh

Gewas-soort	Grondoppervlakte bassin (m ²)	Oppervlakte per bedrijf (m ²)	Aantal bedrijven	Totale oppervlakte PV-wal (m ²)	Totale opbrengst (MWh)/j
<i>Tomaat</i>	1.800	55	567	31.242	2.343
<i>Fresia</i>	1.350	47.8	141	6.764	507
<i>Potplanten</i>	1.350	47.8	588	28.130	2.110
				66.136	4.960

3.2.2 Woongebouw (2)

Vaak wordt er ook op het bedrijfsterrein gewoond, zodat ervan uit gegaan kan worden dat het dak van het woonhuis benut kan worden voor PV. Er wordt in dit onderzoek uitgegaan van een vrijstaande woning met een dakoppervlak van 65 m² per bedrijf. Onderlinge verschillen tussen de drie verschillende gewassen zijn niet te verwachten.

Toepassing:

1 Schuin dak. Als gangbare dakhelling van woongebouwen wordt uitgegaan van 40° . Verondersteld is dat 40% van het totale dak zo georiënteerd is dat het in aanmerking komt voor de toepassing van een PV-systeem. Hierbij wordt uitgegaan van een gemiddeld opbrengstverlies van het PV-systeem van 10%⁵. Het voor PV-inzet geschikte dakoppervlakte bedraagt dus 26 m^2 per bedrijf.

Uitgangspunten

- aantal bedrijven = areaal/ 2ha
- PV-opbrengstpercentage is 100% van 75 kWh/m^2 per jaar in Nederland (zie tabel 1, paragraaf 2.4)

Tabel 6 oppervlakten en elektriciteitsopbrengst PV op woongebouwen voor de drie gewassoorten (landelijk potentieel)

Gewassoort	Aantal bedrijven	Totale oppervlakte PV-dak (m^2)	Totale opbrengst (MWh)/j
<i>Tomaat</i>	567	14.742	1.106
<i>Fresia</i>	141	3.679	276
<i>Potplanten</i>	588	15.301	1.147
Totaal		33.722	2.529

3.2.3 *Bedrijfsgebouw (3)*

De functies die in een bedrijfsgebouw vaak zijn ondergebracht zijn: kantine, ketelhuis, opslag en verwerking van producten.

Uitgegaan wordt dat glastuinbouwbedrijven met een kasoppervlak van 1-2 ha de oppervlakte van de bedrijfsgebouwen ongeveer 4% van de kasoppervlakte bedraagt [17]. Dit komt neer op 800 m^2 voor een bedrijf met een oppervlak van 2 ha.

Toepassing:

1 Schuin dak. Als gangbare dakhelling van de bedrijfsgebouwen wordt uitgegaan van 22° . Verondersteld is, dat 40% van het totale dak zodanig georiënteerd is dat het in aanmerking komt voor de toepassing van een PV-systeem. Hierbij wordt uitgegaan van een gemiddeld opbrengstverlies van het PV-systeem van 10% (zie paragraaf 2.1). Het voor PV-inzet geschikte dak oppervlak op 345 m^2 . In de berekeningen is uitgegaan van deze oppervlakte.

Uitgangspunten

- aantal bedrijven = areaal/ 2ha
- PV-opbrengstpercentage; van de 40% bruikbare dakoppervlakte is 67,5% op het zuiden gericht (100% PV-opbrengst) en de overige bruikbare dakoppervlakte heeft een opbrengstpercentage van 90% van 75 kWh/m^2 per jaar in Nederland (zie tabel 1, paragraaf 2.4)
- dakoppervlakte geschikt voor PV is 345 m^2

⁵ Naast de hellingshoek is de oriëntatie ten opzichte van het zuiden ook van invloed op het rendement van een PV systeem.

Tabel 7 oppervlakten en elektriciteitsopbrengst PV op bedrijfsgebouwen voor de drie gewassoorten (landelijk potentieel)

Gewassoort	Aantal bedrijven	Totale oppervlakte PV-dak (m ²)	Totaal opbrengst (MWh)/j
<i>Tomaat</i>	567	195.615	14.194
<i>Fresia</i>	141	48.818	3.542
<i>Potplanten</i>	588	203.033	14.733
Totaal		447.465	32.469

3.2.4 Kas (4)

De toepassing van fotovoltaïsche zonne-energie bij een kas roept vraagtekens op omdat 1% minder lichtopbrengst op gewasniveau globaal 1% minder productie betekent. Vooral bij de toepassing in het kasdek zal daarom een permanent PV-systeem ongewenst zijn. Wel kan gedacht worden aan een flexibel systeem zoals scherm.

Toepassing:

- 1 Kasgevel; toepassing van PV bij de kasgevel kan interessant zijn. Gekeken moet worden wat de verminderde zoninstraling bij toepassing van een PV kasgevel, waarbij ook aan gedeeltelijke bekleding met PV gedacht kan worden, bijvoorbeeld tot de eerste gording voor een effect heeft op het gewas in de kas.
- 2 Schaduwscherm; bij potplanten (zowel blad als bloei) wordt vaak gebruik gemaakt van een schaduwscherm. Dit is om het gewas te beschermen tegen de felle zoninstraling. Omdat de huidige moderne scherminstallatie, in opgevouwen toestand (indien buiten gebruik), 3% minder lichtopbrengst geeft, is het van belang dat een scherm met PV in opgevouwen toestand ook niet meer dan 3% lichtverlies geeft. De verwachting is dat het binnen tien jaar mogelijk is om amorf silicium op een scherm op te dampen. Dit heeft als grote voordeel dat wanneer er geschermd moet worden, de zon schijnt en dus de invallende zoninstraling kan worden opgevangen door het amorfe PV systeem. Het is een interessante optie, omdat hiermee grote oppervlakten gedekt kunnen worden. Uitgaande van een transmissieverlies van de kasdekconstructie van 70%, een opbrengstrendement van 6% en een schermfactor van 50% kan ca 20 kWh/m² per jaar opgewekt worden⁶. Voor de totale potplantenteelt met een areaal van 1177 ha komt dit globaal neer op een landelijk potentieel van 230.000 MWh. Maar omdat deze ontwikkeling nog in de ontwerpfase is en pas over enkele jaren productierijp kan zijn, is PV in een scherm als toepassingsgebied in dit onderzoek niet meegenomen.

2 Beschikbaar oppervlak bij kasgevel toepassing

Uitgangspunten:

- PV-panelen tot de eerste gording. (uitgaande van PV paneel grootte van 1300 mm)
- Bedrijfs grootte is 2 ha
- Kasgevel is 140 meter lang per bedrijf (uitgaande van vierkant gevormd bedrijf met een kas van 2 ha)
- Een van de vier gevels van kas is geschikt voor toepassing van een PV-systeem.
- Aantal bedrijven = arealen/ 2ha
- PV-opbrengstpercentage is 80% van 75 kWh/m² per jaar in Nederland (zie tabel 1, paragraaf 2.4)

⁶ per m² maximaal haalbaar = Som(globale instraling tijdens gesloten scherm) * transmissie * rendement PV * schermfactor/ 1000

Tabel 8 oppervlakte en opbrengst PV bij kasgevel voor de drie gewassoorten (landelijk potentieel)

Gewassoort	Geveleppervlakte (m ²)	Aantal bedrijven	Totale oppervlakte PV in kasgevel (m ²)	Totale opbrengst (MWh)/j
<i>Tomaat</i>	182	567	103.194	6.192
<i>Fresia</i>	182	141	25.753	1.545
<i>Potplanten</i>	182	588	107.107	6.426
Totaal			798.952	14.163

Tabel 9 totale potentiële opbrengsten (kasgevel, bedrijfsgebouw, woning en bassin) van de drie gewassoorten in MWh, vergeleken met de opbrengst van amorf silicium op een schaduw scherm (zie paragraaf 3.2.4)

Gewassoort	Totale opbrengst PV (MWh)	Opbrengst PV op schaduw scherm (MWh)/j
<i>Tomaat</i>	77.110	
<i>Fresia</i>	15.842	
<i>Potplanten</i>	65.888	230.000
Totaal	158.840	230.000

Uit tabel 9 blijkt dat de toepassing van PV-systemen in schaduw schermen een zeer groot potentieel heeft.

3.3 Vraag/ aanbod elektriciteit per gewassoort

De drie verschillende gewassoorten kennen een verschillende vraag naar elektriciteit. Ook het mogelijk te installeren PV-oppervlak verschilt per gewassoort. In de onderstaande paragrafen is per gewassoort de gemiddelde maandelijkse vraag naar elektriciteit op uurbasis vergeleken met de mogelijke PV-opbrengst en de gewenste PV-opbrengst in kWh.

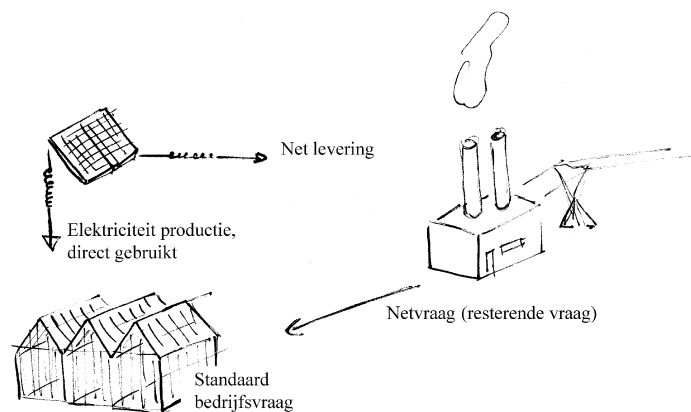
Om een duidelijk beeld te verkrijgen is gekeken naar een bedrijf van 2 ha, waarvan de jaarlijkse vraag naar elektriciteit bekend is.

Er wordt steeds een onderscheid gemaakt tussen PV gewenst en PV beschikbaar.

PV gewenst = de oppervlakte en de daaruit volgende opbrengst, *wat nodig is om aan de elektriciteitsvraag van het bedrijf te voldoen, zodat op jaarrondbasis de productie gelijk is aan de elektriciteitsvraag.*

PV beschikbaar = de oppervlakte en de daaruit volgende opbrengst, *wat per bedrijf in totaal geplaatst kan worden op de verschillende toepassingsgebieden, zie paragraaf 3.2.*

Voor de overige termen, zie figuur 7.

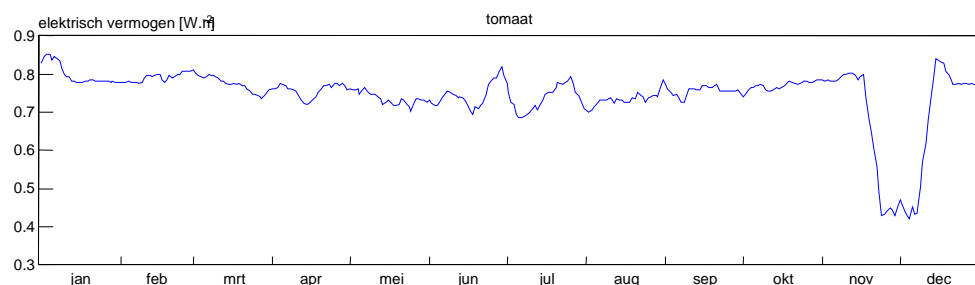


Figuur 7 overzicht gebruikte termen

3.3.1 Tomaat

Tomaat vraag:

De tomaat heeft een vrijwel constante vraag naar elektriciteit met een gemiddelde van $0,75 \text{ W/m}^2$. Zie onderstaande grafiek. Tussen november en december is de vraag klein, dit komt omdat dan de teelt gewisseld wordt (er is geen gewas in de kas) en er zodoende niet of weinig gestookt hoeft te worden. Fesia en potplanten worden jaarrond geteeld en kennen een dergelijke terugval in het vraag patroon dan ook niet.



Figuur 8 jaarverloop van de daggemiddelde elektriciteitsvraag per m² bedrijfsoppervlak voor een tomatenteelt

De vraag naar elektriciteit van een tomatenteelt kent geen echte pieken. De maximale (op uurbasis gemiddelde) vraag is: $0,96 \text{ W/m}^2$ de minimale vraag is: $0,41 \text{ W/m}^2$.

PV gewenst:

De totale elektriciteitsvraag van de tomatenteelt is $6,53 \text{ kWh}$ per m² bedrijfsoppervlak op jaarbasis. Voor een tomatenbedrijf met een oppervlakte van 2 ha betekent dit een elektriciteitsvraag van 130.600 kWh per jaar. Uitgaande van een PV-opbrengst van 75 kWh/m^2 in Nederland, komt dit neer op een benodigd oppervlak van minimaal 1741 m^2 PV. In tabel 10 is te zien dat er voldoende oppervlakte mogelijk is.

PV beschikbaar:

De landelijke hoeveelheid voor PV beschikbare oppervlakte per gewassoort is in de vorige paragraaf uitgewerkt. In tabel 10 is de hoeveelheid beschikbare oppervlakte per gewassoort per bedrijf van 2 ha uitgewerkt.

Tabel 10 beschikbare PV-oppervlakte en opbrengst voor een tomatenbedrijf van 2 ha

Toepassingsmogelijkheid	PV beschikbare oppervlakte (m ²)	PV-opbrengst (kWh)
<i>PV als afdekking bassin</i>	1440	93.960
<i>PV tegen aarden wal</i>	55	4.125
<i>PV op woongebouwen</i>	26	1.950
<i>PV op bedrijfsgebouwen</i>	345	25.034
<i>PV in de kasgevel</i>	182	10.920
Totaal beschikbaar	2.048	135.997⁷
Totaal gewenst	1.741	130.600

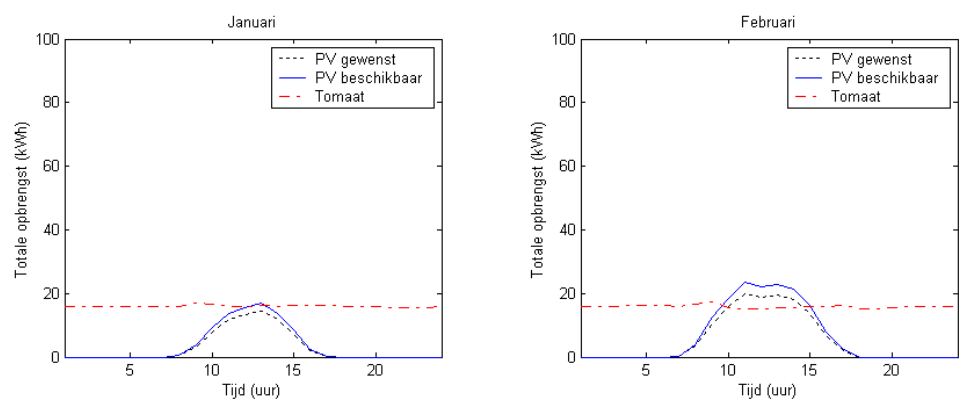
Deze gegevens zijn in figuur 9 verwerkt.

Toelichting figuren 9, 12 en 14

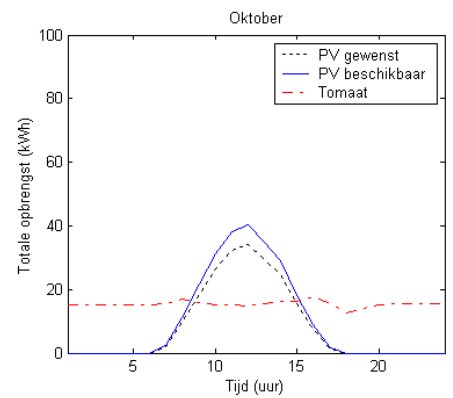
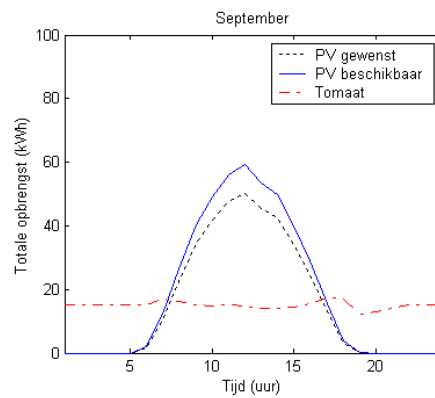
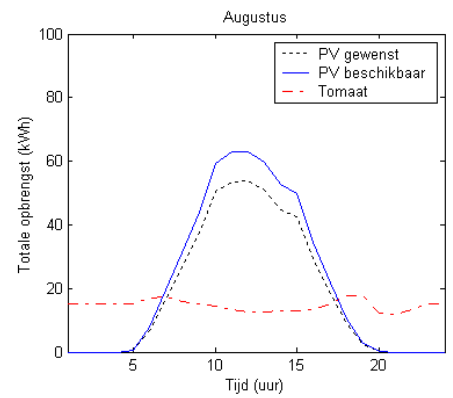
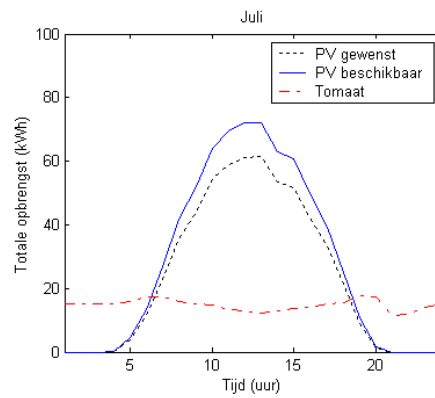
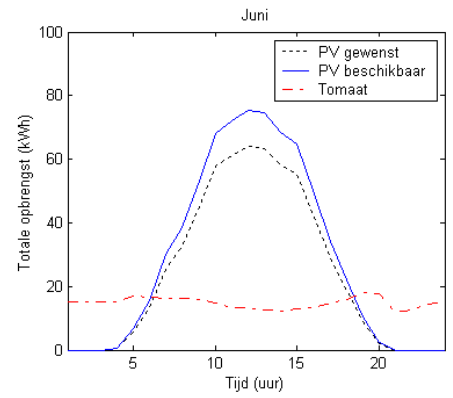
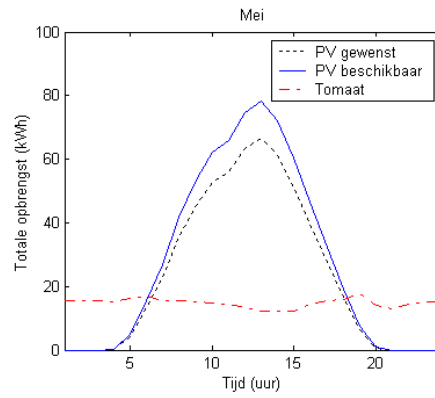
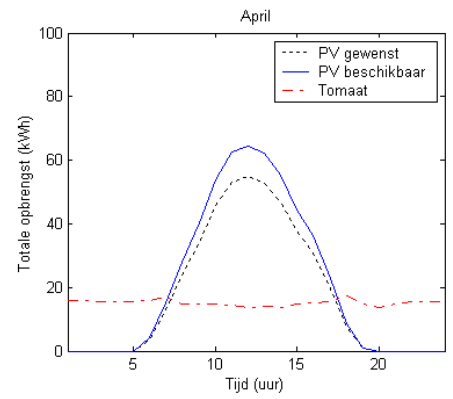
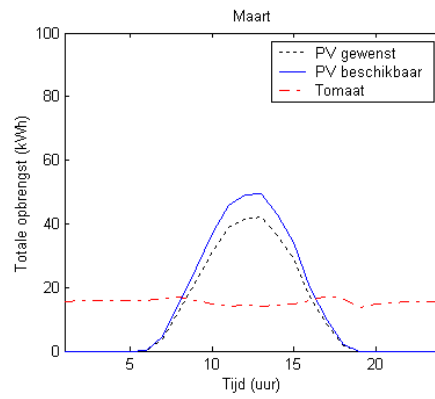
Per gewassoort is uitgerekend wat de maandgemiddelde elektriciteitsvraag en PV-opbrengst per uur van de dag voor het bedrijf van 2 ha is. Figuur 9 zoomt in op de tomaat. De figuur is opgedeeld in 12 maanden. Iedere maand kent drie lijnen. Een rode lijn (— · —) staat voor de **bedrijfsvraag lijn**, de blauwe lijn (—) staat voor de **PV-beschikbaarheid lijn** en de zwarte lijn (- -) staat voor de **PV-gewenst lijn**.

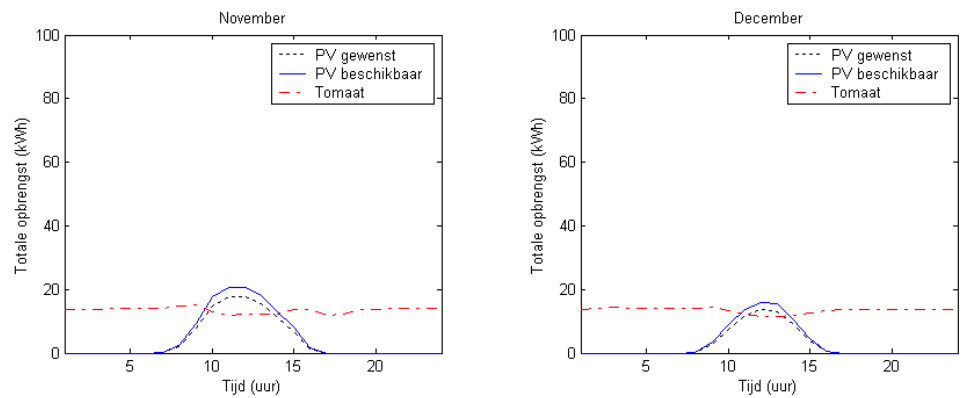
In paragraaf 3.2 is onderzocht hoeveel vierkante meter PV in een bedrijf van 2 ha kan worden gerealiseerd. Dit is PV-beschikbaar. Het bedrijf voor de fresa-teelt heeft een grotere vraag dan dat er PV gerealiseerd kan worden, dit is PV-gewenst. Deze lijn loopt parallel aan PV-beschikbaar en geeft een beeld van hoe groot het verschil tussen PV-gewenst en PV-beschikbaar is. Voor het tomatenbedrijf is PV-beschikbaar groter dan PV-gewenst! PV beschikbaar wordt vergeleken met de bedrijfsvraag (rode lijn), die over het algemeen vrij constant is, behalve bij de fresa-teelt.

De waarden die uit de figuren naar voren komen zijn samengevat in de tabellen. Na iedere figuur staat een tabel. De termen die in de tabel voorkomen zijn de oppervlakten in de figuren, zie ook toelichting na figuur 9.



⁷ Bij PV gewenst is uitgegaan van de optimale hoek en orientatie op het zuiden, en bij PV beschikbaar is rekening gehouden met de verschillende orientaties en hoeken. Hierdoor zal ondanks dat het beschikbare oppervlakte groter is, de opbrengst lager zijn dan bij PV gewenst vanuit is gegaan, zie tabel 14.





Figuur 9 maandgemiddelde elektriciteitsvraag en PV-opbrengst per uur van de dag voor een tomaten bedrijf van 2 ha

Toelichting tabellen 11, 13 en 15

De waarden in de tabellen komen uit de oppervlakten die in de maandgrafieken in figuur 9, 11 en 13 te berekenen zijn.

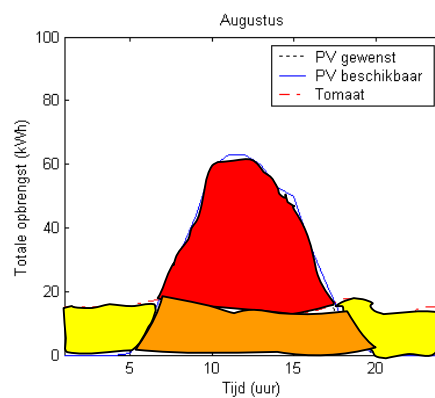
Er zijn in de tabellen 4 waarden opgenomen, te weten:

Bedrijfsvraag: oppervlakte van geel en oranje (figuur 10)

Geproduceerd: oppervlakte van rood en oranje (figuur 10)

Netvraag: Oppervlakte van geel (figuur 10)

Netlevering: Oppervlakte van rood (figuur 10)



Figuur 10, verschillende oppervlakten

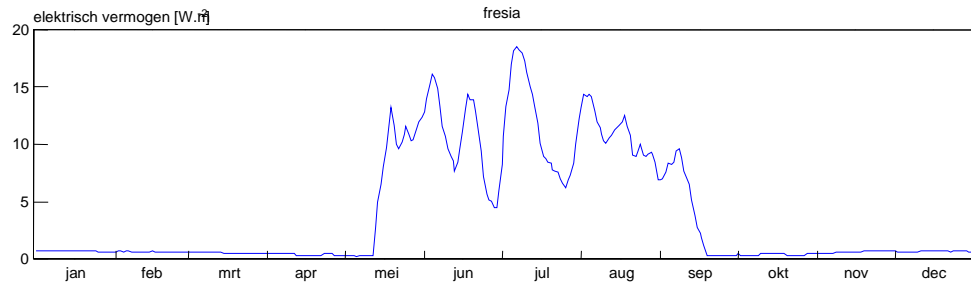
Tabel 11 de totale elektriciteitsvraag en duurzaam opgewekte elektriciteit, uitgaande van PV beschikbaar, de resterende netvraag en de resterende elektriciteit aan het net geleverd per maand voor een tomatenbedrijf van 2 ha

Maand	bedrijfsvraag (MWh)	geproduceerd (MWh)	netvraag (MWh)	netlevering (MWh)
<i>Januari</i>	11,6	2,6	9,1	0,028
<i>Februari</i>	11,6	4,6	7,9	1,0
<i>Maart</i>	11,3	10,2	6,7	5,7
<i>April</i>	11,1	15,2	5,8	9,9
<i>Mei</i>	10,8	20,3	4,7	14,1
<i>Juni</i>	10,8	20,9	4,5	14,6
<i>Juli</i>	10,8	20,2	4,6	14,0
<i>Augustus</i>	10,7	15,8	5,3	10,4
<i>September</i>	11,0	13,3	5,9	8,2
<i>Oktober</i>	11,2	7,3	7,2	3,2
<i>November</i>	9,9	3,4	7,5	0,9
<i>December</i>	9,9	2,2	7,9	0,3
Totaal (MWh)	130,6	136,0	77,1	82,3

3.3.2 Fresa

Fresa vraag:

In figuur 11 is te zien dat de fresiateelt, net als de tomatenteelt in de wintermaanden een kleine vraag heeft. Echter in de zomermaanden wordt de vraag groter omdat de grond in de zomer gekoeld moet worden. Deze koelvraag is vooral na de middag het grootst. De koelvraag loopt dan ook parallel met de buiten temperatuur. De fresiateelt heeft een gemiddelde vraag naar elektriciteit van $4,18 \text{ W/m}^2$, zie figuur 11.



Figuur 11 jaarverloop van de daggemiddelde elektriciteitsvraag per m^2 bedrijfsoppervlak voor een fresiateelt

PV gewenst:

De maximale (op uurbasis gemiddelde) elektriciteitsvraag is: $30,47 \text{ W/m}^2$ de minimale vraag is: $0,14 \text{ W/m}^2$.

De totale elektriciteitsvraag van de fresiateelt is $36,58 \text{ kWh}$ per m^2 bedrijfsoppervlak per jaar. Voor een bedrijf van 2 ha betekent dit een elektriciteitsvraag van 731.600 kWh . Uitgaande van een PV-opbrengst van 75 kWh/m^2 in Nederland, komt dit neer op een benodigd oppervlak van minimaal 9755 m^2 PV. In tabel 12 is te zien dat dit oppervlak veel groter is dan het beschikbare oppervlak.

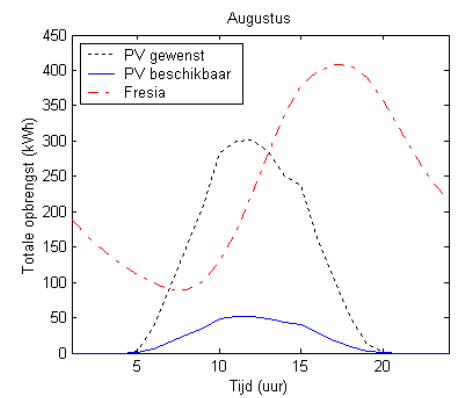
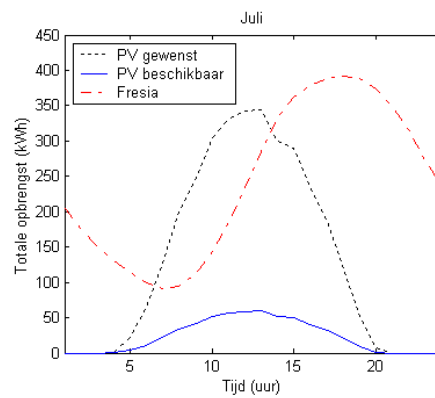
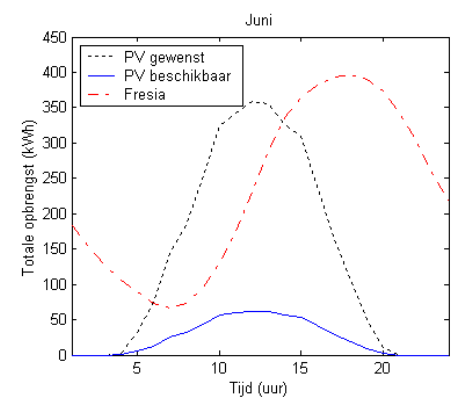
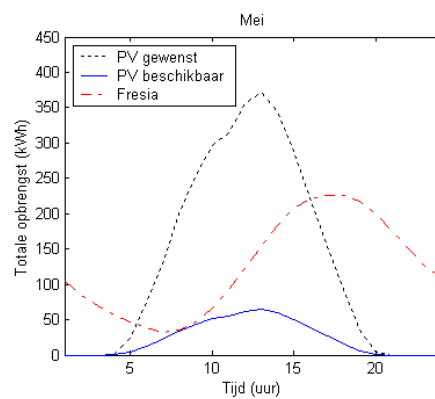
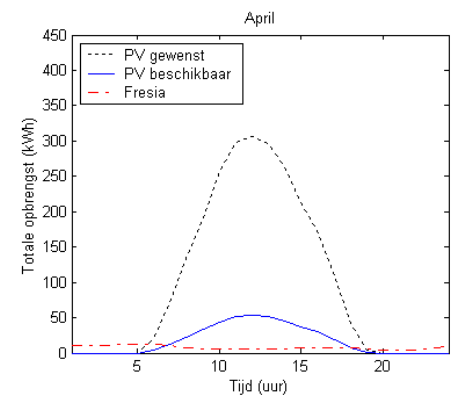
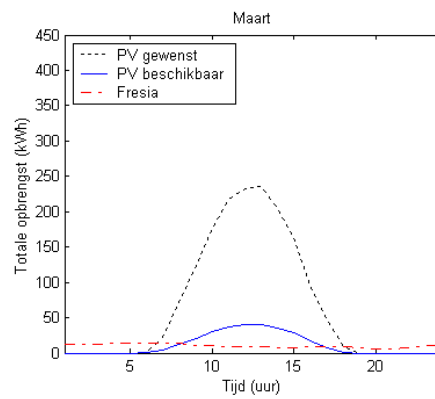
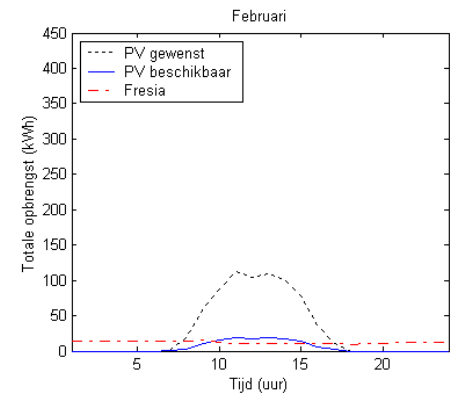
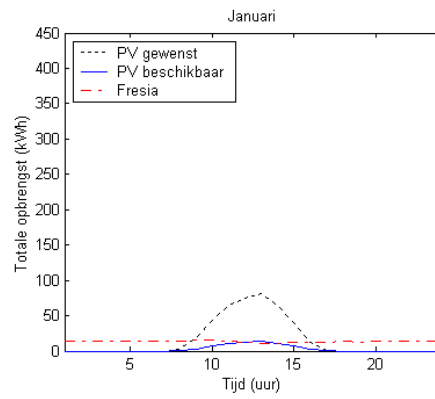
PV beschikbaar:

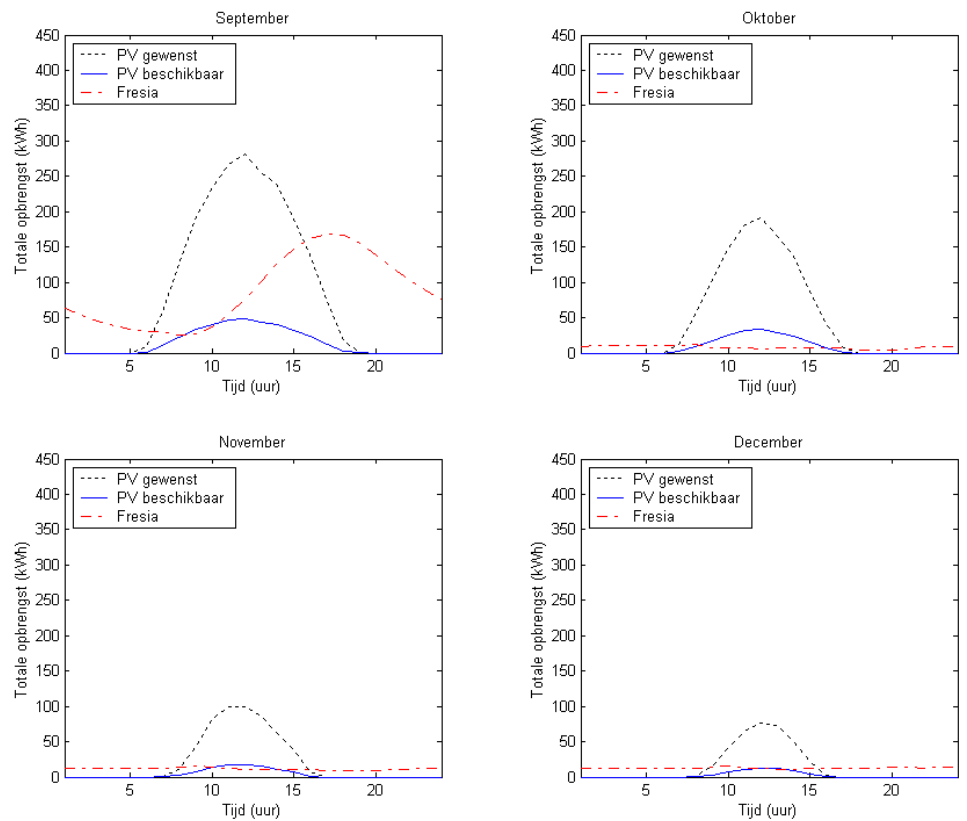
In tabel 12 is de hoeveelheid beschikbare oppervlakte per gewassoort per bedrijf van 2 ha uitgewerkt.

Tabel 12 beschikbare PV-oppervlakte en elektriciteitsopbrengst voor een fresiabedrijf van 2 ha

Toepassingsmogelijkheid en bedrijfsniveau	PV beschikbare oppervlakte (m^2)	PV-opbrengst (kWh)
<i>PV als afdekking bassin</i>	1.080	70.470
<i>PV tegen aarden wal</i>	48	3.585
<i>PV op woongebouwen</i>	26	1.950
<i>PV op bedrijfsgebouwen</i>	345	25.034
<i>PV in de kasgevel</i>	182	10.920
Totaal beschikbaar	1.681	111.959
Totaal gewenst	9.755	731.600

In figuur 12 zijn per maand de gemiddelde elektriciteitsvraag en PV-opbrengst per uur van de dag voor een fresiabedrijf van 2 ha weergegeven.





Figuur 12 maandgemiddelde elektriciteitsvraag en PV-opbrengst per uur van de dag voor een fresiabedrijf van 2 ha

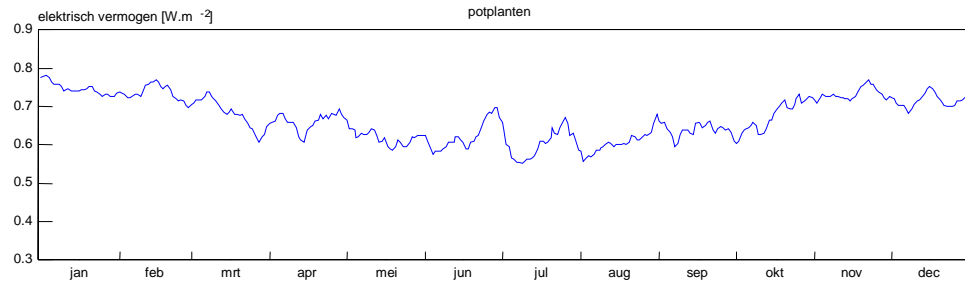
Tabel 13 de totale elektriciteitsvraag en duurzaam opgewekte elektriciteit, uitgaande van PV beschikbaar, de resterende netvraag en de resterende elektriciteit aan het net geleverd per maand voor een fresiabedrijf van 2 ha

Maand	bedrijfsvraag (MWh)	geproduceerd (MWh)	netvraag (MWh)	netlevering (MWh)
Januari	9,6	2,1	7,8	0,1
Februari	8,9	3,8	6,1	1,1
Maart	7,4	8,4	4,4	5,4
April	5,7	12,5	3,1	9,8
Mei	90,9	16,5	74,3	0
Juni	168,9	17,2	151,7	0
Juli	176,8	16,6	160,1	0
Augustus	171,9	13,0	158,9	0
September	63,0	10,9	52,5	0,2
Oktober	5,7	5,9	3,8	3,8
November	8,4	2,8	6,1	0,5
December	9,4	1,8	7,6	0,1
Totaal (MWh)	731,6	112,0	636,4	21,0

3.3.3 Potplanten

Potplanten vraag:

In figuur 13 is net als de tomatenteelt een kleine constante vraag naar elektriciteit te onderscheiden. De potplantenteelt heeft een redelijk constante vraag naar elektriciteit met een gemiddelde van $0,67 \text{ W/m}^2$.



Figuur 13 jaarverloop van de daggemiddelde elektriciteitsvraag per m^2 bedrijfsoppervlak voor een teelt van potplanten

PV gewenst:

De maximale (op uurbasis gemiddelde) elektriciteitsvraag is: 1.04 W/m^2 de minimale vraag is: $0,18 \text{ W/m}^2$.

De totale elektriciteitsvraag per jaar van de potplantenteelt is $5,87 \text{ kWh}$ per m^2 bedrijfsoppervlakte per jaar. Voor een bedrijf van 2 ha betekent dit een elektriciteitsvraag van 117.400 kWh . Uitgaande van een PV-opbrengst van 75 kWh/m^2 in Nederland, komt dit neer op een benodigd oppervlak van minimaal $1565 \text{ m}^2 \text{ PV}$.

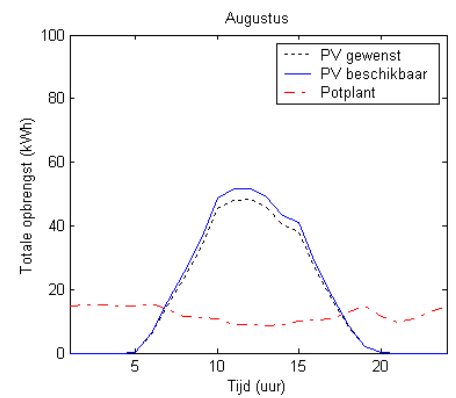
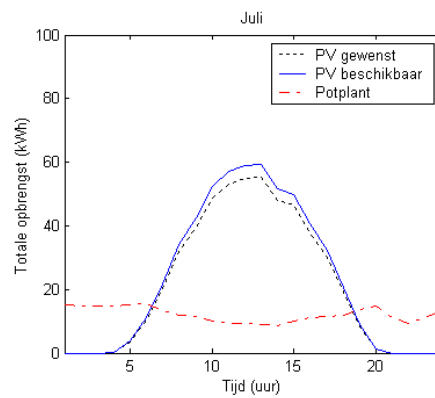
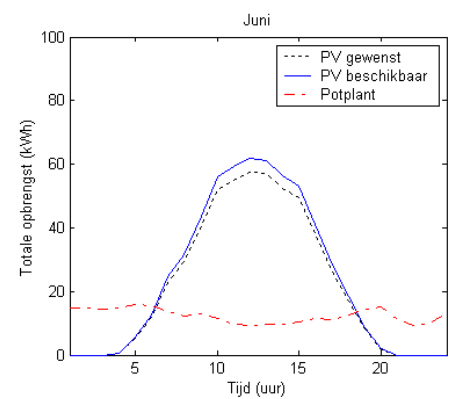
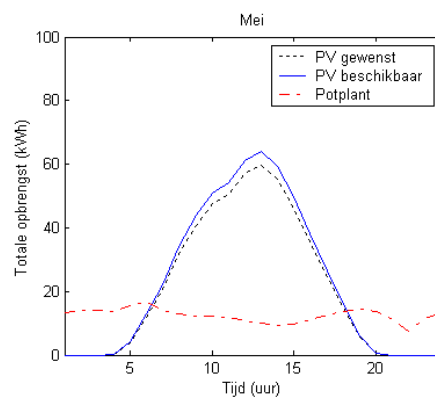
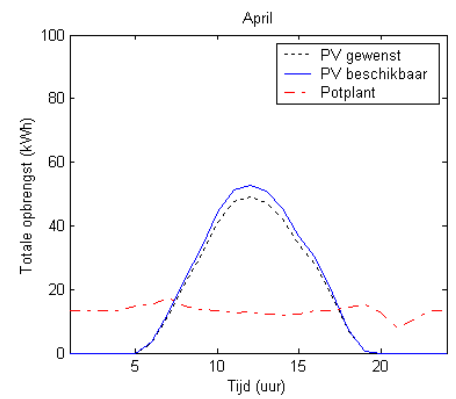
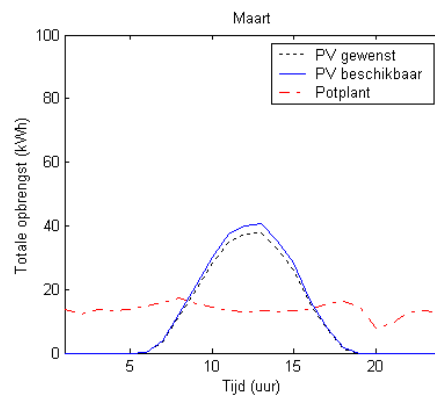
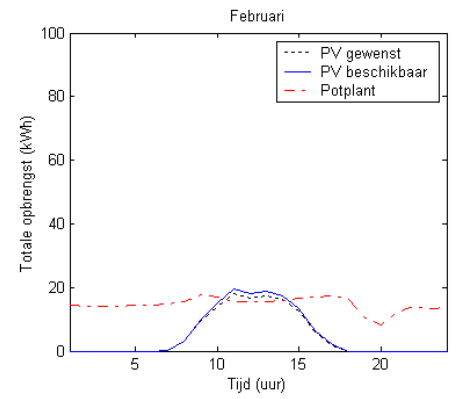
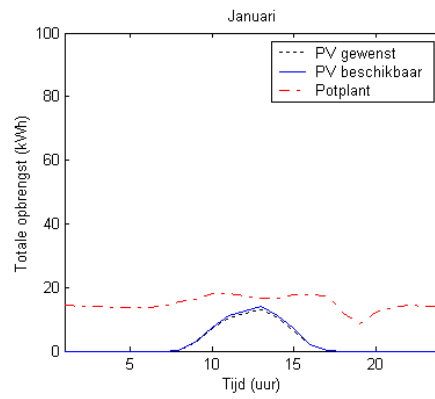
PV beschikbaar:

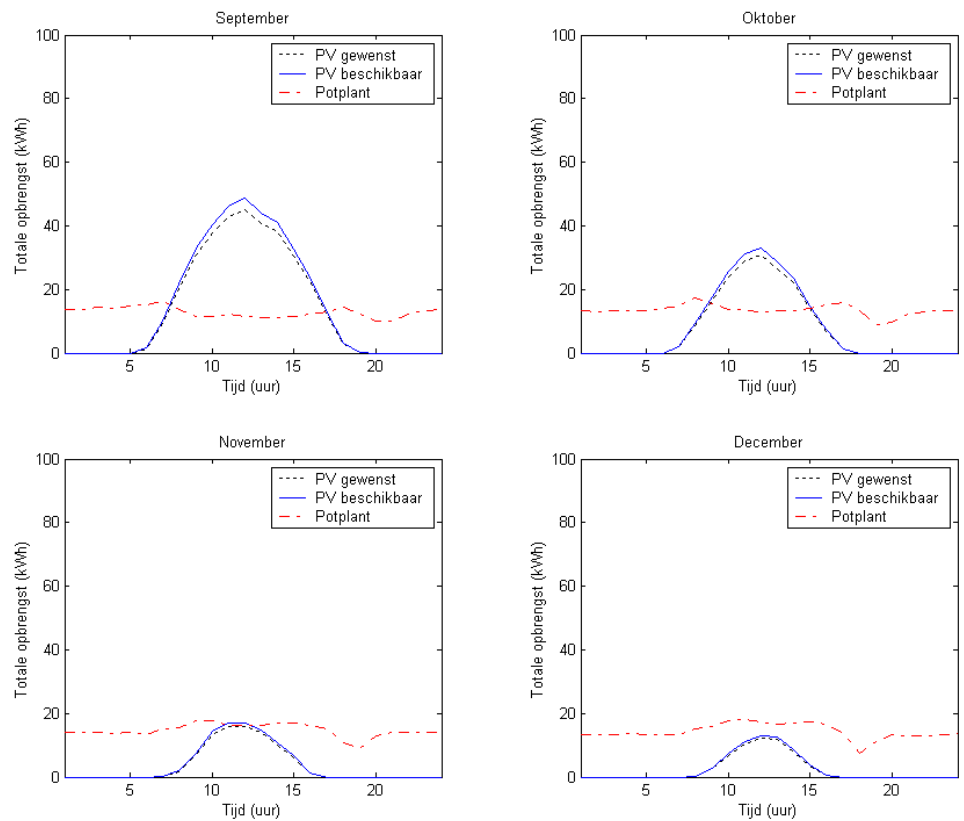
In tabel 14 is de beschikbare oppervlakte per toepassingsmogelijkheid voor een potplantenbedrijf van 2 ha uitgewerkt.

Tabel 14 beschikbare PV-oppervlakte en opbrengst voor een potplantenbedrijf van 2 ha

Toepassingsmogelijkheid en bedrijfsniveau	PV beschikbare oppervlakte (m^2)	PV-opbrengst (kWh)
<i>PV als afdekking bassin</i>	1.080	70.470
<i>PV tegen aarden wal</i>	47,8	3.585
<i>PV op woongebouwen</i>	26	1.950
<i>PV op bedrijfsgebouwen</i>	345	25.034
<i>PV in de kasgevel</i>	182	10.920
Totaal beschikbaar	1.681	111.959
Totaal gewenst	1.565	117.400

In figuur 14 zijn per maand de gemiddelde elektriciteitsvraag en PV-opbrengst per uur van de dag voor een potplantenbedrijf van 2 ha weergegeven





Figuur 14 voor iedere maand de gemiddelde elektriciteitsvraag en PV-opbrengst per uur van de dag voor een potplantenbedrijf van 2 ha

Tabel 15 de totale elektriciteitsvraag en duurzaam opgewekte elektriciteit, uitgaande van PV beschikbaar, de resterende netvraag en de resterende elektriciteit aan het net geleverd per maand voor een potplantenbedrijf van 2 ha

Maand	bedrijfsvraag (MWh)	geproduceerd (MWh)	netvraag (MWh)	netlevering (MWh)
Januari	10,9	2,1	8,8	0
Februari	10,7	3,8	7,3	0,3
Maart	9,9	8,3	5,8	4,3
April	9,7	12,5	5,0	7,8
Mei	9,1	16,5	4,1	11,5
Juni	9,1	17,2	4,1	12,2
Juli	8,8	16,6	4,2	12,0
Augustus	8,9	13,0	4,8	9,0
September	9,4	10,9	5,3	6,8
Oktober	9,8	5,9	6,3	2,4
November	10,7	2,8	7,9	0,04
December	10,4	1,8	8,6	0
Totaal (MWh)	117,4	112,0	72,2	66,3

3.4 Overzicht vraag en aanbod per bedrijf van de drie gewassoorten

De drie verschillende gewassoorten kennen ieder een eigen ‘standaard’-vraag naar elektriciteit uitgaande van een bedrijfsgrootte van 2 ha.

In tabel 16 staat de vraag per bedrijf van 2 ha tegenover de beschikbare opbrengst van PV op de verschillende toepassingsgebieden.

Tabel 16 ‘standaard’ elektriciteits-vraag vergeleken met de beschikbare opbrengst per bedrijf van 2 ha in kWh per jaar van de drie gewassoorten

Gewassoort	Bedrijfsvraag (MWh)	Aanbod per bedrijf (MWh)				Totaal
		Bassin	Woon-gebouw	Bedrijfs-gebouw	Kas-gevel	
<i>Tomaat</i>	130,6	98,1	2,0	25,0	10,9	136,0
<i>Fresia</i>	731,6	74,1	2,0	25,0	10,9	112,0
<i>Potplanten</i>	117,4	74,1	2,0	25,0	10,9	112,0

*Dekkingsgraad*⁸ per gewassoort:

Tomaat: 104,1%

Fresia: 15,3%

Potplanten: 95,4%

Deze getallen verschillen met de uitkomsten van fase A (tussenrapportage). Dit verschil heeft een aantal oorzaken:

- Er is uitgegaan van 40% geschikt dakoppervlak van de bedrijfsgebouwen i.p.v. 50%.
- Er is nu ook rekening gehouden met meer mogelijke toepassingsgebieden zoals het dak van de woning en kasgevel.
- Er is rekening gehouden met een kleiner bruikbaar oppervlakte van het waterbassin.
- Er is rekening gehouden met verschillende opbrengstpercentages van PV-panelen, omdat ze niet onder een ideale hoek zijn geplaatst.
- Er is gewerkt met een verbeterde versie van simulatieprogramma KASPRO (zie 3.1.5).
- Er is geen onderscheid meer gemaakt tussen potplanten warm of koud, waardoor de verdamping hoger is uitgekomen. Hierdoor is het bassin vergroot, om aan de gestelde norm van 70% dekking van de gietwatervraag met behulp van regenwater te voldoen, en zo ook het mogelijk te installeren PV-oppervlak op de waterbassins.

In tabel 16 is gekeken naar het aanbod van elektriciteit opgewekt met een PV-systeem op jaarbasis bij de verschillende toepassingsgebieden.

In tabel 17 is er onderscheid gemaakt tussen de resterende vraag naar elektriciteit en de elektriciteit die kan worden teruggeleverd aan het net (zie figuur 7).

Met *resterende vraag* wordt bedoeld, die vraag naar elektriciteit die niet direct door het PV- systeem opgewekt kan worden en aan het net wordt gevraagd.

In de middaguren wordt er meer elektriciteit opgewekt dan direct door de vraag gedekt wordt, deze ‘extra’ elektriciteit kan aan het net geleverd worden. Dit wordt in dit rapport *teruggeleverde elektriciteit* genoemd.

⁸ *Dekkingsgraad* = totale aanbod per bedrijf/ bedrijfsvraag * 100%

In hoofdstuk 4 worden deze gegevens gebruikt om de kosten en baten van een PV systeem te berekenen.

Tabel 17 *elektriciteitsvraag en duurzaam opgewekte elektriciteit, de netvraag en de teruglevering aan het openbare elektriciteitsnet en de direct gebruikte duurzaam opgewekte elektriciteit van de drie gewassoorten per bedrijf van 2 ha*

Gewassoort	Elektriciteit geproduceerd (MWh)	Standaard vraag (MWh)	Resterende netvraag (MWh)	Teruglevering aan het net (MWh)	Direct gebruikte elektriciteit (MWh)
<i>Tomaat</i>	136,0	130,6	77,1	82,3	53,5
<i>Fresia</i>	112,0	731,6	636,4	21,0	95,2
<i>Potplanten</i>	112,0	117,4	72,2	66,3	45,2

Het percentage direct gebruikte elektriciteit⁹ is:

Tomaat 39,3%
 Fresia 85,0%
 Potplanten 40,4%

De reden waarom het percentage direct gebruikt van de fresia zo hoog is, komt omdat wanneer de opbrengst hoog is (middaguren in de zomer), de vraag naar koeling ook hoog is (zie figuur 12).

⁹ Elektriciteit direct gebruikt / geproduceerde elektriciteit

4 Landelijk potentieel

4.1 PV-opbrengst

In hoofdstuk 3 is van de verschillende toepassingsgebieden een overzicht verkregen van de beschikbare oppervlakken voor te plaatsen PV.

Bij de opbrengst van deze PV-systemen is uitgegaan van een maximale PV-systeem opbrengst van 75 kWh/ m² per jaar.

Tabel 18 landelijk potentieel per gewassoort en toepassingsgebied aan elektriciteitsproductie met behulp van PV-systemen

Gewassoort	Water-bassin (MWh)	Wal bassin (MWh)	Woon-gebouw (MWh)	Bedrijfs-gebouw (MWh)	Kasgevel (MWh)	Totale opbrengst (MWh)/j
<i>Tomaat</i>	53.275	2.341	1.106	14.194	6.192	77.110
<i>Fresia</i>	9.972	507	276	3.242	1.545	15.842
<i>Potplanten</i>	41.471	2.110	1.147	14.733	6.426	65.888
Totaal	104.718	4.960	2.529	32.469	14.163	158.840

Deze totale opbrengst van 158.840 MWh per jaar komt overeen met het gemiddelde elektriciteitsverbruik van ongeveer **50.000** woningen.

4.2 Vermeden CO₂ uitstoot

De laatste jaren neemt het kooldioxidegehalte (CO₂) in de atmosfeer sterk toe.[8] Dat komt enerzijds door het op grote schaal verbranden van fossiele brandstoffen (zoals aardolie, kolen en gas) en anderzijds door een afname van de hoeveelheid plankton, bossen en oerwoud. De toename van CO₂ in de atmosfeer, samen met de toename van bepaalde andere gassen, heeft mogelijk een stijging van de temperatuur op aarde tot gevolg.

Om dit broeikaseffect tegen te gaan zijn in december 1997 in Kyoto afspraken gemaakt over de verdere reductie van CO₂-uitstoot.

Door het toepassen van duurzame energie zoals PV wordt de uitstoot van CO₂ door elektriciteitscentrales vermeden.

Bij de productie van elektriciteit, is de CO₂ uitstoot per kWh geleverd bij de verbruiker, in 2000 geschat op ongeveer 0,6 kg CO₂. Naar verwachting loopt dit terug tot ca. 0,35 kg CO₂ in 2020. [20]

In tabel 19 is uitgegaan van 0,6 kg CO₂ uitstoot per kWh.

Tabel 19 landelijk potentieel vermeden CO₂ uitstoot per toepassingsgebied per jaar van de drie gewassoorten in tonnen

Gewassoort	Water-bassin	Wal bassin	Woon-gebouw	Bedrijfs-gebouw	Kasgevel	Totaal
<i>Tomaat</i>	31.965	1405	664	8.516	3.715	46.266
<i>Fresia</i>	5983	304	165	1.945	927	9.505
<i>Potplanten</i>	24.883	1.266	688	8.840	3.856	39.533
Totaal	62.831	2.976	1.517	19.481	8.498	95.304

ter vergelijking: [19]

De CO₂ emissies door verbranding van fossiele brandstoffen in Nederland voor huishoudens is gelijk aan 24.800 Kiloton CO₂ /jaar.

4.3 Percentage duurzame energie

Het totale energiegebruik van de glastuinbouw is¹⁰:
1.371,5 GWh

Elektriciteitsgebruik van de teelten tomaat, potplanten en fresia samen¹¹:
246,7 GWh

Maximale productie duurzame elektriciteit van de drie gewassoorten is gezamenlijk (4.1):
158,8 GWh

Maximale percentage duurzame opgewekte elektriciteit bij deze drie gewassoorten:
64%

Percentage duurzaam opgewekte elektriciteit bij inzet van maximale PV-capaciteit bij de drie gewassoorten over hele glastuinbouwsector:
11,6%

¹⁰ In [9] wordt geschreven dat in de productieglastuinbouw met een oppervlakte van 10.159 ha. gemiddeld 13,5 kWh/m² per jaar wordt gebruikt, met in de laatste jaren een stijgende tendens. Berekening: 13,5 kWh/m² * 10159 ha. * 10000m²/ha = 1,3715e+012 Wh ==> 1.371,5 GWh (GWh = GigaWatt hour)

¹¹ Per gewassoort het areaal (3.1.3) * 10.000 * totaal elektriciteitsverbruik per gewassoort/m² (3.3)

5 Kosten - baten

Door de standaard kosten aan elektriciteit te vergelijken met de kosten voor een PV-systeem kan een duidelijk inzicht worden verkregen voor een kosten baten analyse.

Er spelen een aantal factoren een belangrijke rol in de bepaling van de kosten en baten. Twee daarvan zijn de terugleververgoedingen en de subsidies die je bij installatie van een PV-systeem kan krijgen.

5.1 Investeringskosten

PV-systemen zijn relatief kostbaar. Investeringskosten voor netgekoppelde multikristallijn PV-systemen bedragen ongeveer € 700,- voor een paneeloppervlak van 1 m². Een autonoom systeem is door het gebruik van accu's uiteraard duurder. Voor een systeem met hetzelfde paneeloppervlak zijn de investeringskosten ongeveer € 1.400,-. Ondanks deze relatief hoge kosten kan een autonoom PV-systeem bij afwezigheid van een elektriciteitsnet of -aansluiting een kosteneffectief alternatief zijn voor (duurzame) elektriciteitsopwekking. De investeringskosten zijn sterk afhankelijk van de specifieke toepassingen en zullen dalen in de toekomst.[13]

Er zijn meerdere mogelijkheden om de prijs van een PV paneel uit te rekenen. Een andere mogelijkheid is uit te gaan van kosten per Wp (Watt-piek)¹². Een PV-paneel van 1 m², levert ongeveer 110 Wp. Uitgaande van het feit dat 1 Wp tussen de € 4,- en € 8,- kost, betekent dit een prijs per m² van 110 * € 4,- á € 8,- = tussen de € 440,- en € 880,- [14].

Voor dit onderzoek zijn we uitgegaan van een prijs van € 700,- per m² paneel. Deze prijs wordt vaak gehanteerd en ligt tussen de maximale en minimale kosten bij een berekening in Watt piek in. Dit is inclusief de kosten voor de inverter, het monteren, bekabeling enz.

Tabel 20 investeringskosten PV voor een bedrijf van 2 ha voor de drie gewassoorten

Gewassoort	PV-oppervlak beschikbaar (m ²)	Totale kosten PV-systeem (EURO)
<i>Tomaat</i>	2.048	1.433.670
<i>Fresia</i>	1.681	1.176.560
<i>Potplanten</i>	1.681	1.176.560

¹² Het piekvermogen is het maximale elektrische vermogen dat een PV-paneel kan leveren; dat maximum wordt bereikt bij volle zon.

Financiële ondersteuning:

Omdat de prijzen van de PV-panelen nog zo hoog zijn, dat ze niet binnen redelijke termijn terugverdiend kunnen worden, stimuleert de overheid de toepassing van PV in financiële zin met fiscale regelingen en subsidies. Het onderstaande overzicht geeft een globale indruk van mogelijke fiscale regelingen voor het jaar 2002.

- EIA/VAMIL-lease
- EIA, Energie-Investeringsaftrek
- MIA, Milieu-Investeringsaftrek
- VAMIL, willekeurige afschrijving
- Groenprojecten
- CO₂-reductieplan

Het beleid van energiebedrijven en gemeenten is ook gericht op het bieden van financiële middelen voor de aanschaf van PV-systemen, maar dit verschilt per energiebedrijf en gemeente. Energiebedrijf en gemeente werken vaak samen bij het toepassen van PV-systemen in nieuwbouwprojecten.

Tabel 21 kosten PV-systeem na aftrek mogelijke fiscale regelingen en eventuele subsidies voor de drie gewassoorten

Gewassoort	Kosten PV-systeem	Mogelijke subsidie bijdrage	Kosten PV-systeem na aftrek subsidies (EURO)
<i>Tomaat</i>	1.433.670	+/- 25%	1,075,253
<i>Fresia</i>	1.176.560	+/- 25%	882,420
<i>Potplanten</i>	1.176.560	+/- 25%	882,420

5.2 Uitwerking kosten/ baten

In paragraaf 5.1 zijn de mogelijkheden bekeken om duurzame energie, en PV-systemen in het bijzonder, haalbaar te maken. In deze paragraaf worden deze gegevens gebruikt om de terugverdienmogelijkheden van PV bij de drie gewassoorten per bedrijf van 2 ha globaal te bekijken in de huidige situatie en in 2010, zie tabel 22.

Er moet rekening mee worden gehouden dat tabel 22, wat betreft het toekomstperspectief een globale inschatting geeft.

In de tabel wordt onderscheid gemaakt tussen de kosten van de situatie zonder PV-systeem en de situatie met een PV-systeem, zie ook figuur 15. Er is uitgegaan van een levensduur van 25 jaar van het PV-systeem. Samen met de rente e.d. is daarmee uitgerekend wanneer een PV-systeem rendabel is. Dat wil zeggen, dat het systeem inclusief kapitaallasten zich binnen die 25 jaar terugverdiend.

In de een na laatste kolom zijn de kosten van de baten afgetrokken. Hoe groter het positieve saldo is, hoe rendabeler de investering in een PV-systeem is.

voetnoten bij tabel 22

1. kWh-prijs = € 0,18
2. Uitgaande van gemiddeld 25% subsidie via fiscale regelingen zoals Vamil en EIA
3. Annuïteitenberekening gebaseerd op:
- afschrijffperiode van 25 jaar
- rente van 3% (groenfinanciering)
4. Het deel van de door het PV-systeem geleverde elektriciteit die direct in het bedrijf wordt benut
5. Jaarlijkse elektriciteitsvraag - resterende vraag
- kWh-prijs resterende vraag = € 0,18
- kWh-prijs teruggeleverd = € 0,032 [15]
6. verschil in jaarlijkse elektriciteitskosten in een situatie zonder PV – ten opzichte van een situatie met PV
7. Jaarlijkse kosten - baten (Jaarlijkse baten - kosten) / totale investering
8. kWh-prijs = € 0,27 (toename van 5% per jaar)
9. 50% lager dan in 2002 (daling ca. 8% per jaar)
10. kWh-prijs resterende vraag = € 0,27 (toename van 5% per jaar)
11. kWh-prijs teruggeleverd = € 0,047 (toename van 5% per jaar)

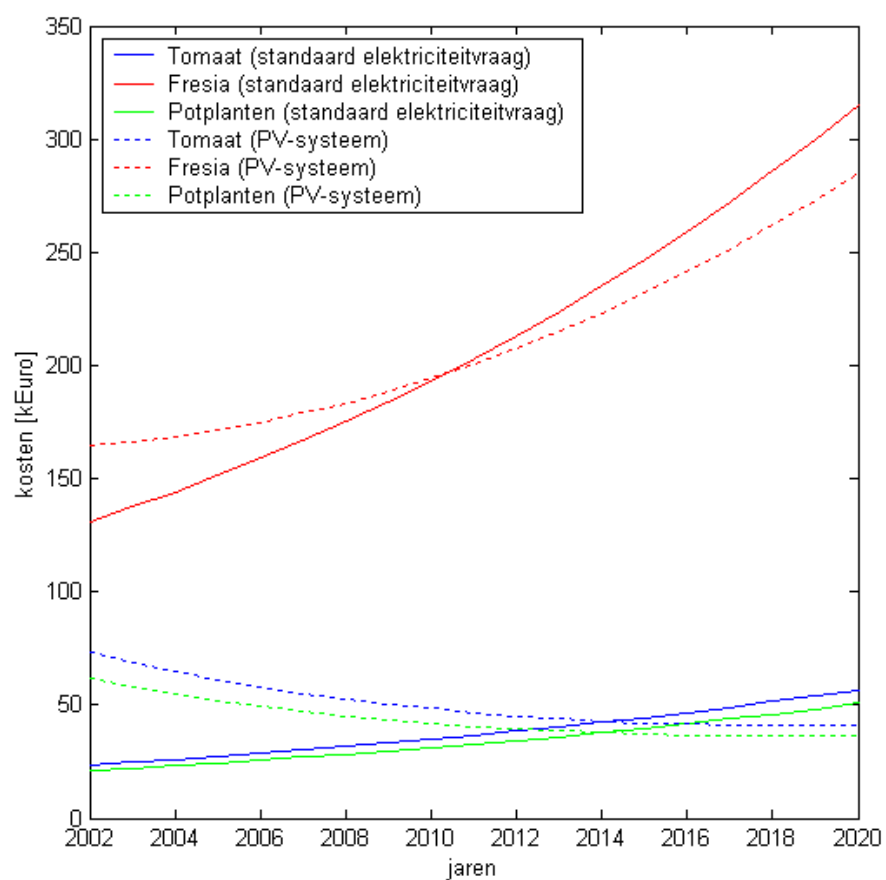
Gewassoort	Standaard vraag per jaar		Investeringskosten PV			Elektriciteitsbaten per jaar						Totaal			
	MWh	k€/j	elektriciteitskosten 1)	totaal excl. Subsidie	totaal incl. subsidie 2)	kosten per jaar 3)	duurzaam opgewekt	direct benut	direct benut % 4)	resterende vraag	aan het teruggeleverd net	elektriciteit kosten 5)	baten 6)	baten – kosten per jaar 7)	netto rendement op investering 8)
	MWh/j	k€/j	k€/j	k€	k€	k€/j	MWh/j	MWh/j	%	MWh/j	MWh/j	k€/j	k€/j	k€/j	%
Huidige situatie (2002)															
Tomaat	131	24	1434	1075	62	136	53,5	39	77,1	82,3	11	12	-49	-5	
Fresia	732	132	1177	882	51	112	91,0	85	636,4	21,0	114	18	-33	-4	
Potplanten	117	21	1177	882	51	112	45,2	40	72,2	66,3	11	10	-40	-5	
Toekomstige situatie (2010)															
		9)	10)								11)				
Tomaat	131	35	717	538	31	136	53,5	39	77,1	82,3	17	18	-13	-2	
Fresia	732	195	588	441	25	112	91,0	85	636,4	21,0	168	26	1	0	
Potplanten	117	31	588	441	25	112	45,2	40	72,2	66,3	16	15	-10	-2	

Tabel 22 kosten baten overzicht bij de huidige situatie en een toekomstverwachting voor 2010 voor de drie gewasgroepen per bedrijf van 2 ha

Uit dit kosten baten overzicht wordt duidelijk dat er met PV flink wat elektriciteit kan worden bespaard, maar dat het nog niet rendabel is. Kijken we naar de toekomst, dan blijkt dat in 2010 er voor de fresiateelt al een rendabele situatie kan worden bereikt, gevolgd door de tomatenteelt en de potplantenteelt in 2014.

Bepalend voor hoe snel een specifieke teelsoort door de inzet van PV rendabel wordt, is het aandeel van de duurzaam opgewekte elektriciteit dat direct in het bedrijf ingezet kan worden. Bij de fresiateelt is dat ca 80%, terwijl dit bij de tomatenteelt en de potplantenteelt rond de 40% ligt.

Figuur 15 is een visualisatie van tabel 22 weergegeven. Het snijpunt bij de drie gewassen geeft aan wanneer globaal een PV-systeem kan concurreren met elektriciteit uit het net. Uitgangspunt is een bedrijf van 2 ha.



Figuur 15 te verwachten ontwikkeling van elektriciteitskosten van de drie gewassen, met (- -) of zonder een PV-systeem in de komende 20 jaar

Dit snijpunt verschuift naar voren (in de figuur naar links) door:

- (extra) verhoging prijs voor elektriciteit
- (extra) verhoging van de terugleververgoeding
- (sneller) goedkoper worden van een PV-systeem
- verbeterd rendement van PV-cellen

5.3 Discussie

De uitgangspunten in dit hoofdstuk zijn sterk afhankelijk van aannames, hieronder zijn enkele aannames via een vraagstelling aangegeven en uitgewerkt.

- *Waarop zijn de aannames voor 2010 gebaseerd? (dus de 5% stijging in zowel elektriciteitsprijs als terugleververgoeding, en de 8% afname van de investeringskosten van PV?). Zijn dit doorgetrokken trends van de laatste 5 of 10 jaar, of zijn deze schattingen op basis van andere informatie gemaakt?*
- Het is moeilijk om een voorspelling te doen van de tarieven voor de komende tien jaren.

De redenen hiervoor zijn de volgende [Bron: Energiened]

* Een onderdeel van de elektriciteitstarieven zijn de brandstofkosten. Voor een belangrijk deel wordt elektriciteit in Nederland opgewekt met behulp van aardgas. De aardgasprijs is gekoppeld aan de olieprijs. Deze prijzen zijn niet te voorspellen. Daarnaast heft de overheid een brandstofbelasting op het aardgasverbruik. Deze belasting wordt jaarlijks vastgesteld. Deze brandstofbelasting is sinds de laatste jaren consistent qua toename, maar dat is niet altijd zo geweest.

* Een ander onderdeel van de elektriciteitstarieven zijn de REB (Regulerende EnergieBelasting, ofwel ecotax). Deze worden door de overheid (kabinetsbesluit en gepubliceerd door het Ministerie van Financiën) jaarlijks vastgesteld. In de toename van de REB per jaar is zeer grillig te noemen.

* En als laatste dient de liberalisering van de markt genoemd te worden. De zeer grote grootverbruikers zijn vanaf het jaar 2000 vrij in de keuze van hun leverancier. Sinds 2002 zijn alle klanten die een aansluitwaarde hebben van meer dan 3x80A vrij om hun leverancier te kiezen en uiterlijk in 2004 zijn alle klanten vrij. Deze gang van zaken zal zeker invloed hebben op de tarieven.

Dit zijn de drie belangrijkste factoren waarom een voorspelling moeilijk is.

Daarnaast blijkt uit het tarievenoverzicht waarin vanaf 1995 de tarieven per kWh vastgelegd zijn bij een bepaald groot verbruik dat de prijs per kWh in 7 jaar tijd gemiddeld met 3,5 % gestegen is.

Maar gekeken per jaar naar de gegevens, dan is de prijs van de laatste twee jaar rond de 10% toegenomen en in de voorgaande 5 jaren met 1,5 %.

Hierdoor kan geconcludeerd worden dat de 5% als uitgangspunt een gematigd beeld geeft van de kWh-prijs stijging.

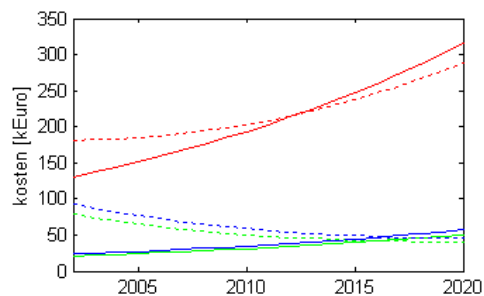
- *Op dit moment kan zo'n 25% subsidie verkregen worden op de aanschaf van PV systemen. Echter, is het reëel te veronderstellen dat dit in 2010 nog steeds zo is, ondanks een (veronderstelde) daling van 50% in investeringskosten?*
- De berekeningen zijn gedaan aan de hand van gegevens over de fiscale aftrek. Deze kosten zijn al enkele jaren stabiel. Deze continuïteit kan ook in de komende jaren verwacht worden.
- *De investeringskosten worden over een periode van 25 jaar afgeschreven. Op basis hiervan wordt gesteld dat PV in de fresiateelt in 2010 rendabel toegepast kan worden. In de glastuinbouw moet een investering zichzelf echter in maximaal 5 tot 10 jaar kunnen terugverdienen. Indien dat het uitgangspunt is, wat wordt dan de toepassingstermijn?*

- De investeringen die in de glastuinbouw gedaan worden moeten binnen 5 tot 10 jaar terug te verdienen zijn, omdat deze aangeschafte middelen ook een korte levensduur hebben. De levensduur van PV-panelen is echter veel langer, waardoor de terugverdientijd ook langer kan zijn. Als er geen rekening wordt gehouden met de rente etc, is de terugverdientijd voor de fresiateelt 17 jaar. In tabel 22 komt naar voren dat gebruik van PV in de fresiateelt in 2010 rendabel is, wat wil zeggen dat het systeem zich binnen de verwachte levensduur (van 25 jaar) terug heeft verdiend, waarbij ook rekening is gehouden met rente enz.
- *Het type PV & de plaats op het bedrijf zijn van invloed op de kosten en baten. Welke locatie is bijv het meest rendabel? (bijv: weegt het aandeel duurzame energie door toepassing van PV op het dak van het woonhuis op tegen het aandeel in de kosten?)*
- In het rapport zijn enkele toepassingsgebieden uitgewerkt en de totale opwekking bij elkaar geteld. Hierdoor is geen duidelijk inzicht mogelijk over welke locatie (toepassingsgebied) het meest rendabel is (rendabel betekent dat de kosten gelijk aan of lager zijn dan de baten). In tabel 23 staat globaal aangegeven welk toepassingsgebied naar schatting de minste kosten met zich meebrengt. De kosten zijn afhankelijk van de situatie en de bevestigingsmethode.

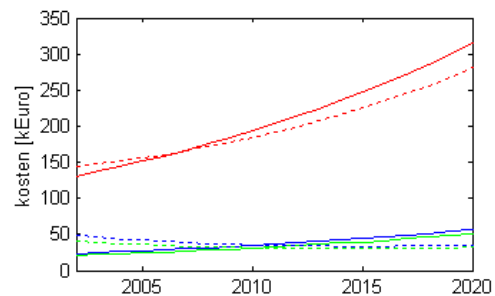
Toepassingsgebied in volgorde van kosten
Gevel van de kas
Dak van woongebouwen
Dak van bedrijfsgebouwen
Wal van aarden bassin
Constructie boven het waterbassin

Tabel 23 indicatie van toepassingsgebieden, uitgewerkt van goedkoopste naar duurste oplossing

- *Neemt het potentieel van PV af in de loop der tijd, bijvoorbeeld ten gevolge van vervuiling, en hoe beïnvloedt dit de kosten/baten.*
- Het potentieel neemt in een periode over 20 jaar niet meer af dan 5% [21], hierdoor is de beïnvloeding van de kosten en baten te verwaarlozen
- *Wat is nodig (subsidies, rendementsverbeteringen e.d.) om PV in 2010 wel rendabel toe te kunnen passen?*
- PV kan in de fresiateelt in 2010 rendabel toegepast worden. De tomaten- en potplantenteelt zijn rond 2014 rendabel. Het percentage aan subsidies en fiscale aftrek regelingen zullen minimaal 55% moeten zijn om PV in 2010 ook voor de tomaten en potplantenteelt rendabel te maken. (vergelijk figuur 16 met figuur 17, hierin zijn twee uitgangspunten genomen, namelijk wanneer PV voor de drie gewassoorten rendabel als er geen subsidie is, en wanneer er 55% subsidie is)

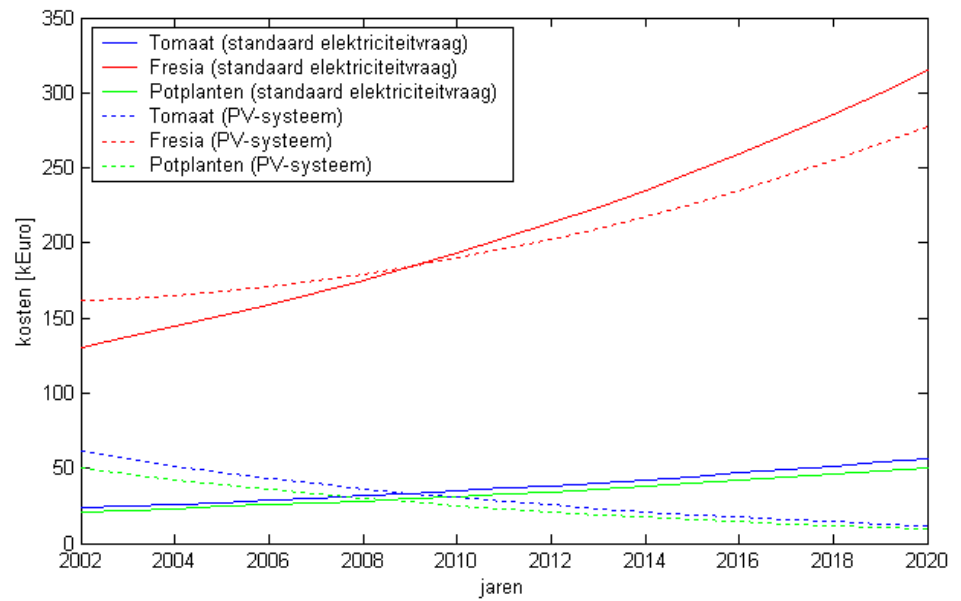


Figuur 16, geen subsidie
(Rood, fresia; Groen, potplanten; Blauw, tomaat)



Figuur 17, 55% subsidie

- Hoe zou figuur 15 eruit zien indien de terugleververgoeding voor elektriciteit gelijk zou zijn aan de afnamekosten? Is toepassing van PV voor tomaten- of potplanten teelt dan wel rendabel?
- Als de terugleververgoeding voor elektriciteit gelijk is aan de afnamekosten, zal PV voor alle drie de teelten rond 2009 rendabel zijn, zie figuur 18.



Figuur 18, rendabiliteit van de drie gewassoorten bij het gelijk trekken van de terugleververgoeding aan de afnamekosten

6 Conclusie

De conclusies zijn per gewassoort uitgaande van een bedrijf van 2 ha samengevat. Alle gegevens zijn op jaarbasis.

Tomaat

Standaard elektriciteitsvraag:	131 MWh
Areaal:	1134 ha
Opbrengst beschikbaar PV:	136 MWh
Beschikbaar oppervlak	2048 m ²
Resterende elektriciteitsvraag van het net:	77 MWh
Direct gebruikt duurzaam opgewekte elektriciteit:	54 MWh
Teruglevering duurzaam opgewekte elektriciteit:	82 MWh
Percentage direct gebruikte duurzaam opgewekte elektriciteit	39,5%
Investeringskosten in een PV-systeem per jaar	62 k€
Jaartal dat de aanschaf van een PV-systeem rendabel is:	ca 2014

Vergelijking met andere glasgroenten:

Het ligt in de verwachting dat ook voor andere grote glasgroentegewassen, als paprika, komkommer en aubergine vergelijkbare resultaten verkregen worden. Immers de basingrootte en daarmee de potentiële elektriciteitsopbrengst zal niet veel verschillen. Daarnaast is er in het vraagpatroon, zolang er geen assimilatiebelichting of koeling wordt toegepast, geen verandering te verwachten.

Fresia

Standaard elektriciteitsvraag:	731 MWh
Areaal:	283 ha
Opbrengst beschikbare PV:	112 MWh
Beschikbaar oppervlakte:	1681 m ²
Resterende elektriciteitsvraag van het net:	636 MWh
Direct gebruikt duurzaam opgewekte elektriciteit:	91 MWh
Teruglevering duurzaam opgewekte elektriciteit:	21 MWh
Percentage direct gebruikte duurzaam opgewekte elektriciteit	81,3%
Investeringskosten in een PV-systeem per jaar	51 k€
Jaartal dat de aanschaf van een PV-systeem rendabel is:	ca 2010

Vergelijking met andere glasbloemen:

Een algemene uitspraak over de bloemisterijsector is in deze moeilijk te maken. De sector kenmerkt zich door een grote variatie aan producten, en daarmee aan bedrijfsuitrusting, zodat zowel de potentiële opbrengst aan elektriciteit (gedomineerd door de bassin grootte) als de elektriciteitsvraag zeer sterk per teelt kunnen wisselen. Hierbij moet gedacht worden aan de mogelijke inzet van assimilatiebelichting en/of grondkoeling die het vraagpatroon zeer sterk kunnen beïnvloeden.

Potplanten

Standaard elektriciteitsvraag:	117 MWh
Areaal:	1177 ha
Opbrengst beschikbare PV:	112 MWh
Beschikbaar oppervlakte	1681 m ²
Resterende elektriciteitsvraag van het net:	72 MWh
Direct gebruikt duurzaam opgewekte elektriciteit:	45 MWh
Teruglevering duurzaam opgewekte elektriciteit:	76 MWh
Percentage direct gebruikte duurzaam opgewekte elektriciteit	40,7%
Investeringskosten in een PV-systeem per jaar	51 k€
Jaartal dat de aanschaf van een PV-systeem rendabel is:	ca 2014

Vergelijking met andere glasgewassen

Hiervoor geldt zelfde als bij bloemisterij gewassen.

De elektriciteitsvraag van de fresiateelt ligt hoog. De reden is dat de grond van de fresia in de zomer gekoeld moet worden. In de zomermaanden juni tot en met augustus wordt 71% van de totale jaar elektriciteitsvraag gevraagd. Deze extra vraag naar elektriciteit vindt over het algemeen in de middag plaats, wanneer het aanbod van duurzame opgewekte elektriciteit hoog is. Hierdoor is het percentage direct gebruikte duurzaam opgewekte elektriciteit groot.

De opbrengst in kWh van het beschikbare PV is afhankelijk van het beschikbaar oppervlak van de verschillende toepassingsgebieden van de drie gewassoorten. De oppervlakten van de tomaten-, fresia-, en potplantenteelt zijn nagenoeg gelijk aan elkaar. Bij de tomatenteelt is het beschikbare oppervlak groter, omdat het waterbassin bij deze teelt groter is.

Het beschikbare oppervlak kan, behalve voor de fresia, de vraag naar elektriciteit over een jaar dekken. Bij de tomatenteelt is de opbrengst opgewekt door PV zelfs groter dan de vraag. Bij de potplantenteelt kan 95% van de vraag naar elektriciteit gedekt worden. Bij de fresiateelt kan over het jaar gemeten maar een klein gedeelte van de vraag door PV worden gedekt, namelijk 15%, maar wel voor een groot deel (ca 80%) direct in het bedrijf worden benut.

De investeringskosten van de tomatenteelt voor een PV-systeem zijn hoger dan de andere twee teelten. De reden hiervoor ligt in het grotere beschikbare oppervlak. Toch zal de aanschaf van een PV-systeem voor zowel de tomatenteelt als voor de potplantenteelt ongeveer gelijk rendabel zijn, omdat de resterende vraag van potplanten lager ligt en de hoeveelheid elektriciteit die wordt teruggeleverd aan het net ook lager ligt.

Bij de fresiateelt zal een PV-systeem als eerste kunnen gaan concurreren met elektriciteit uit het net. Dit komt omdat er een hoog percentage opgewekte elektriciteit door PV direct in het bedrijf gebruikt kan worden. Een van de grote bottlenecks is het grote verschil in inkoop en terugleververgoeding, die bijna een factor 6 bedraagt. Hoe groter het aandeel eigenverbruik, des te sneller het rendabel wordt.

De drie gewassoorten, die representatief zijn voor de andere gewassoorten binnen de glastuinbouwsector, hebben een totale productie van duurzaam opgewekte elektriciteit van 158,8 GWh per jaar.

Het aandeel van 4% duurzame energie voor de glastuinbouwsector wordt alleen al door plaatsing van PV bij deze drie gewassoorten ruimschoots gehaald.
Het potentieel van PV voor alle gewassoorten binnen de glastuinbouwsector ligt dan ook vele malen hoger dan de 4% gesteld door de stuurgroep MJA-E

7 Aanbevelingen

In dit rapport is uitgegaan van een aantal toepassingsgebieden. Het is aan te bevelen om deze toepassingsgebieden verder uit te werken. Daarnaast zijn er enkele aannames gedaan omtrent de kosten en baten. Ook dit dient verder uitgewerkt te worden.

Naast deze aanbevelingen, kunnen er aanbevelingen gedaan worden die breder op het onderwerp duurzame energie in de glastuinbouw ingaan:

- In dit rapport wordt uitgegaan van het waterbassin als toepassingsgebied. Het blijkt dat dit toepassingsgebied ook het hoogste potentieel heeft. Echter, het is belangrijk dat de constructie die nodig is om dit te kunnen realiseren onderzocht en uitgewerkt wordt, zodat de kosten en baten duidelijk in beeld gebracht kunnen worden
- Dit rapport geeft een duidelijk overzicht wat er allemaal mogelijk is op het gebied van PV en de glastuinbouw. Uitgangspunt hierbij is geweest dat het om bestaande technieken gaat. Het is interessant om verder uit te zoeken wat de mogelijkheden in de toekomst zijn op het gebied van de schaduw scherm, omdat hier een groot potentieel voor PV-toepassingen beschikbaar is.
- Naast het toepassen van PV bestaan er nog andere mogelijkheden van duurzame oplossingen. Hierbij kan gedacht worden aan wind-energie, zonnewarmte, biomassa enzovoorts. Het is aan te bevelen om naast het opwekken van elektriciteit door middel van PV ook te kijken naar het opwekken van duurzame energie door ander duurzame energiebronnen. Vooral een combinatie hiervan kan interessant zijn en de integratie mogelijkheden van deze duurzame oplossingen in de glastuinbouw
- Een kas moet vaak zijn teveel aan warmte afvoeren naar buiten toe. Deze warmte zou gebruikt kunnen worden voor het opwarmen van een wijk of als proceswarmte voor de industrie. Gedacht kan worden aan een kas als zonnecollector. Het verdient aanbeveling om ook deze mogelijkheid verder te onderzoeken.

Delft, 18 juli 2002
PRT/PVglas/vnm

Ir. B.J.M. van Kampen
Hoofd afdeling Duurzame Energie en Gebouwen

Ir. T. Ploeger
Auteur

8 Referenties

- [1] Leidraad PV-projecten; Novem; Utrecht, oktober 1998; NOZ PV dv 1.1.122.98.10
- [2] Elektriciteit uit zonlicht; duurzame energie informatiecentrum; PDE 1999 informatieblad
- [3] Rapport Nationale energie verkenningen 1995- 2020; Trends en Thema's maart 1998 ; ECN; P Kroon; nummer 77052, ECN C 97- 081
- [4] Artikel; referentiejaar voor de Nederlandse glastuinbouw; Ing J.J.G.Breuer, ir. A.M. van Weele, dr. ir. A.H.C. van Paassen; Acta Horticulturae 248, september 1989.
- [5] ECN rapport; Mogelijkheden voor Toepassing van hernieuwbare energie in de glastuinbouw 1995-2010 Rapportnummer: ECN-I—98-038; Augustus 1998, T.J. de Lange, A.W.N. van Dril en I.S.M. Lei DLO
- [6] Energiebewust ontwerpen van nieuwbouwwoningen, vademecum; Novem, BOOM Delft, september 1992
- [7] Haalbaarheidsstudie CO₂- balanswoningen Pieter Christiaanpark Leeuwarden, Ecofys, september 1999
- [8] <http://www.co2.nl/co2/index.html>
- [9] Energie in de glastuinbouw; Ontwikkelingen in de sector en op de bedrijven t/m 2000. Bakker, R., A. van der Knijf, N.J.A. van der Velden, 2000, Landbouw-Economisch Instituut (LEI), Den Haag, Periodieke rapportage 3.01.07, 62 pag.
- [10] PV-toepassingen in de glastuinbouw; Tussenrapportage TNO Bouw Fase A Inventarisatie. B. van Kampen, H.Oldengarm, G.P.A. Bot en J.P.G. Huijs , september 2000
- [11] Land- en tuinbouwcijfers 2000. 2000, Landbouw-Economisch Instituut (LEI), s'-Gravehage/Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg/Heerlen, 279 pag.
- [12] Kwantitatieve informatie voor de glastuinbouw 1999-2000. 1999, Woerden, van, S.C., J.P. Bakker, R.A.F. van Paassen, 1999, Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroenten, Naaldwijk, 166 pag. (excl. bijlagen).
- [13] http://www.duurzame-energie.nl/de/pv/pv_kosten.html
- [14] Photon februari 2002; Marktubersicht Solarmodule 2002, blz 56.
- [15] Mogelijkheden Duurzame Energie in de Agrarische sector; ir. K.W. Kwant/ Novem
- [16] Energiegebruik in kassen berekend met verschillende bestanden klimaatgegevens. A.M. van Weele, 1986. Stichting Instituut voor studie en stimulering van onderzoek op het gebied van verwarming en luchtbehandeling (ISSO), Rotterdam, ISSO-rapport nr. 10.02/IMAG-Nota 208 (PT)/THD nr. K-112, 95 pp.
- [17] Duurzame energie opties. Stand van zaken technische aspecten januari 1999, Jo Huijs, Jolande van Nieuwkerk, 1999, [Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG), Nota V99-20, februari 1999.
- [18] Instralingsschijf zonne-energie, Ecofys, Utrecht
- [19] CO₂ de pijp uit?, ontwikkelingen in de mogelijkheden tot (her)gebruik van kooldioxide, allard van gulik, IVEM-doctoraalverslag nr 11, september 1995, Rijkuniversiteit Groningen, interfacultaire vakgroep Energie en Milieukunde.
- [20] Protocol Monitoring Duurzame Energie, Methodiek voor het registreren en berekenen van de bijdrage van duurzame/hernieuwbare energiebronnen, [20] Novem, september 1999

- [21] A.Realini, E. Bura, N.Cereghetti, D.Chianese, S.Rezzonico & G. Travaglini
LEEE-TISO, Canobbio, Switzerland. T.Sample & H. Ossenbrink European
Commssion, DG JRC, Ispra. "Study of a 20-years old PV-plant (MTBF project)