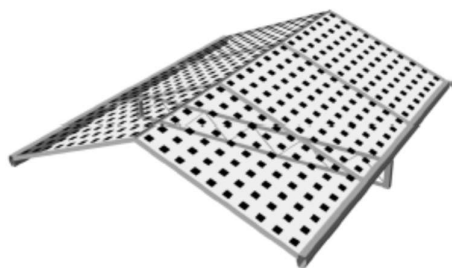


Quick Scan

“Herbeoordeling businesscase semitransparante PV in het Kasdek”



Opdrachtgever:



Mede mogelijk gemaakt door:



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



Opgesteld door:



Inhoud

Samenvatting	3
1. Projectbeschrijving	5
1.1 Probleemstelling.....	5
1.2 Doelstelling.....	5
2. Onderzoeksmethode	6
3. Resultaten.....	7
3.1 Vaststelling van energieprijsscenario's opgesteld aan de hand van de Klimaat-& Energieverkenningen van het Planbureau voor de Leefomgeving	7
3.1.1 Scenario's Elektriciteitsprijzen.....	7
3.1.2 Scenario Gasprijzen	9
3.2 Ontwikkelingen op het gebied van PV	10
3.3 Modelberekeningen gewas- en energie-effecten PV	12
3.3.1 Effecten PV-bedekking op gewassen	13
3.3.2 Gewas- en energie-effecten bij verschillende PV-bedekkingen	14
3.4 Businesscase-berekeningen.....	16
3.4.1 Saldoberekeningen	16
3.4.2 Terugverdientijdberekeningen.....	17
3.4.3 Sensitiviteitsanalyse	21
4. Conclusies en aanbevelingen	23

Samenvatting

Dit project/onderzoek is tot stand gekomen in het kader van programma Kas als Energiebron, het innovatie- en actieprogramma van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Glastuinbouw Nederland en mede gefinancierd door de Stichting Kennis in je Kas. Het rapport is in het 2^e halfjaar van 2023 gezamenlijk opgesteld door Vertify, TNO en WUR.

In dit rapport is de businesscase van semi-transparante PV¹ in het kasdek berekend op basis van²:

- ✓ zorgvuldige vastgestelde energiescenario's inclusief beprijzing conform Klimaat & Energieverkenning 2022 en 2023.
- ✓ updates wat betreft ontwikkelingen op het gebied van zonnestroom.
- ✓ geactualiseerde gewasgroeimodellen met adequate aannames wat betreft lichtopbrengst c.q. lichtverspreiding.

Voor de businesscase is op basis van bovengenoemde analyses het uitgangspunt gekozen dat de PV-panelen die gebruikt worden voor semi-transparante PV in het kasdek gemaakt zijn van de bewezen silicium PV-panelen met encapsulatie-technologie (gesneden celpanelen) in dambord-patroon en/of deels transparante panelen. Hiervan zijn de investeringskosten berekend voor nieuwbouw en verbouw.

Op basis van het KASPRO-simulatiemodel is voor een drietal gewassen, te weten komkommer, anthurium en gerbera, voor verschillende percentages PV-bedekkingen vastgesteld wat de gevolgen zijn voor de gewasproductie, elektriciteitsproductie & -behoefte en warmtebehoefte.

¹ De term *Semitransparant* staat voor een homogene laag waar zonlicht doorheen gaat, zoals bijv. een zonnebril. In dit rapport wordt de businesscase uiteindelijk berekend aan de hand van silicium zonnecellen. Deze zonnecellen laten geen of verwaarloosbare hoeveelheid licht door. Echter omdat in de praktijk ook bij dit type zonnecellen wordt gesproken van semitransparante zonnecellen, wordt dit ook in dit rapport aangehouden. Feitelijk is er bij silicium zonnecellen sprake van deeltransparante PV in het kasdek.

² Resultaten in dit rapport zijn gebaseerd op de volgende referenties:

- Vaststelling van energieprijsscenario's opgesteld aan de hand van de Klimaat- & Energieverkenningen (KEV 2022 en KEV 2023) van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) door TNO;
- Analyse van trends in zonnepaneeltechnologie middels Expert-opinions door TNO;
- Simulatie van gewasgroei van een drietal gewassen, te weten komkommer, anthurium en gerbera bij verschillende transparanties van de zonnepanelen aan de hand van het KASPRO simulation model en actuele gewasgroeimodellen voor de genoemde gewassen door WUR
- Berekening van de investeringskosten in Silicium PV-panelen in dambordpatroon in het kasdek en overige systeemkosten door TNO.

Indien gewenst kan informatie over bovengenoemde referenties worden opgevraagd bij betrokken partijen.

Aan de hand van een drietal berekende prijsscenario's voor de verwachte elektriciteitsprijzen (inkoop- & terugleverprijzen) en gasprijzen voor de periode 2027-2040 alsmede de ingeschatte investeringskosten zijn de resulterende financiële saldo's per m² kasoppervlakte berekend voor de drie genoemde gewassen. Hiermee zijn vervolgens de verschillende terugverdientijden berekend.

Bij deze berekeningen is ervan uitgegaan dat het zonne-PV-systeem in het kasdek in 2026 wordt geïnstalleerd en dat de productie van zonne-PV in 2027 start.

Belangrijke conclusies³ uit het onderzoek zijn:

- De negatieve financiële consequenties van de verlaging van de kg-opbrengsten in de komkommerteelt door toepassing van zonne-PV in het kasdek worden niet voldoende gecompenseerd middels verwachte extra energieopbrengsten. Dit leidt tot een negatief financieel saldo waardoor de benodigde investeringen in zonne-PV niet terugbetaald kunnen worden.
- De berekende positieve financiële saldo's in de teelt van anthurium en gerbera (tot en met 50% PV-bedekking) zijn naar verwachting onvoldoende om de benodigde investeringen in een systeem van semi-transparante PV-panelen binnen een economisch passende termijn terug te verdienen op basis van realistisch te verwachten energieprijzen en investeringsbedragen op de middellange termijn.
- De inschatting is dat een systeem van semitransparante PV-panelen op basis van silicium-technologie met encapsulatie-technologie in dambord-patroon bij significante prijsverlaging van de systeemkosten alleen economisch interessant wordt voor een beperkt aantal teelten onder glas waarbij een afname van kasdektransmissie niet leidt tot een evenredige afname in biomassa-productie.

Een belangrijke aanbeveling uit het onderzoek is de volgende:

- Er zijn diverse technologische ontwikkelingen c.q. innovaties op het gebied van zonne-PV voor het kasdek (denk aan coatings, Voltiris Solar Modules, etc) waardoor het interessant kan zijn om de economische haalbaarheid van semi-transparante PV in het kasdek na 2027 opnieuw te beoordelen.

^{3 3} Bij afronding van dit rapport is bekend geworden dat de overheid op 5 februari 2024 heeft besloten om het afbouwtraject van de vrijstelling voor de landbouwprijzen te verlengen tot 2035 en niet tot 2030 zoals eerder het plan was. Dit is niet verwerkt in de berekende terugverdientijden in dit rapport. De inschatting is dat de berekende terugverdientijden "verslechteren" als gevolg van dit besluit vanwege de berekende afgenomen warmtebehoefte bij toepassing van semitransparante PV-panelen.

1. Projectbeschrijving

1.1 Probleemstelling

Een kas biedt de mogelijkheid om zonnepanelen in het kasdek te installeren. In het rapport “Semi-transparante PV voor kassen” (WUR/KAE; rapport WPR-972) is geconcludeerd dat semi-transparante PV-cellen boven glastuinbouwgewassen alleen kans maken als de gewassen schaduwminnend zijn, en als de hoeveelheid licht die aan het gewas wordt onttrokken, stuurbaar is. Echter, de uitgangspunten in het bovenvermelde rapport komen niet meer overeen met de huidige danwel met de toekomstige verwachtingen als gevolg van gewijzigde energiekosten, nieuwe inzichten in lichtopbrengsten, vigerende beleidskaders etc. Deze trends bieden mogelijk economisch gezien financieel haalbare perspectieven voor semi-transparante PV in een kasdek. Om een goed afgewogen oordeel te kunnen vellen over dit nieuwe perspectief, ontbreekt echter een voldoende nauwkeurig vastgestelde businesscase op basis van actuele uitgangspunten en benodigde diepgang in de uitwerking.

1.2 Doelstelling

Een belangrijke route naar verduurzaming van de energievoorziening in de kas is elektrificatie (Yvon Nouws; 2021). Het aandeel van zelf geproduceerde zon-elektrische energie in de totale hoeveelheid duurzame elektriciteit in de glastuinbouw blijft met 16% nog beperkt. Een belangrijke reden hiervoor is dat op dit moment het oppervlak van de kasdekken niet hiervoor wordt gebruikt. (Energiemonitor van de Nederlandse Glastuinbouw 2021).

De elektriciteit die door de zonnepanelen wordt gegenereerd kan in de kas voor diverse doeleinden worden gebruikt. Bijvoorbeeld als gebruik voor de voeding van omgekeerde osmose-installaties, het voeden van ontvochtigingsinstallaties waardoor de kasramen langer dicht kunnen blijven (met hogere CO₂-concentraties en minder verlies van warmte tot gevolg) en de koppeling met warmtepompen zijn interessante onderwerpen voor de teler. Het laten draaien van warmtepompen is vooral voor glastuinbouwbedrijven in regio's waar geothermie, restwarmte en biomassa niet mogelijk is, extra interessant, maar ook om solitaire glastuinbouwbedrijven op een duurzame manier van warmte worden voorzien. De geproduceerde en niet-benutte elektriciteit kan worden teruggeleverd aan het elektriciteitsnet.

Doelstelling van het uitgevoerde onderzoek is om de businesscase van semi-transparante PV in het kasdek opnieuw te berekenen en te herbeoordelen op basis van:

- 1) zorgvuldige vastgestelde energiestenari's inclusief beprijzing conform Klimaat & Energieverkenning 2022 en 2023 (verder te noemen KEV 2022 en KEV 2023).
- 2) updates wat betreft ontwikkelingen op het gebied van zonnestroom.
- 3) geactualiseerde gewasgroeimodellen met adequate aannames wat betreft lichtopbrengst c.q. lichtverspreiding.

2. Onderzoeksmethode

Om de businesscase van semitransparante PV in kasdek op te stellen zijn de volgende onderzoeksactiviteiten verricht:

- Vaststelling van energieprijsscenario's opgesteld aan de hand van de Klimaat-& Energieverkenningen (KEV) van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL);
- Analyse van trends in zonnepaneeltechnologie middels Expert-opinions;
- Simulatie van gewasgroei van een drietal gewassen, te weten komkommer, anthurium en gerbera bij verschillende transparanties van de zonnepanelen in het kasdek aan de hand van het KASPRO⁴ simulation mode en actuele gewasgroeimodellen voor de genoemde gewassen;
- Vaststelling van de businesscases bij de toepassing van zonne-PV voor de gewassen komkommer, anthurium en gerbera bij verschillende %bedekkingen Zonne-PV in het kasdek. Hierbij worden aan de hand van berekende te verwachten saldo's en marges voor de genoemde marges en PV-bedekkingen de terugverdiertijden berekend van de ingeschatte investeringen in het zonne-PV systeem. Hierbij worden een drietal prijsscenario's gebruikt voor het inkopen danwel terugleveren van elektriciteit.

Een belangrijk uitgangspunt voor het onderzoek is dat het realiseren van de semitransparante PV-installatie uiterlijk ultimo 2026 zal plaatsvinden en dat de productie van zonne-PV-stroom uit deze installatie start in het begin van 2027.

⁴ Door Wageningen Research ontwikkeld simulatiemodel voor het simuleren van kasklimaat, energieverbruik en gewasproductie in moderne tuinbouwkassen

3. Resultaten

Hieronder worden de resultaten van de bovengenoemde onderzoeksactiviteiten weergegeven.

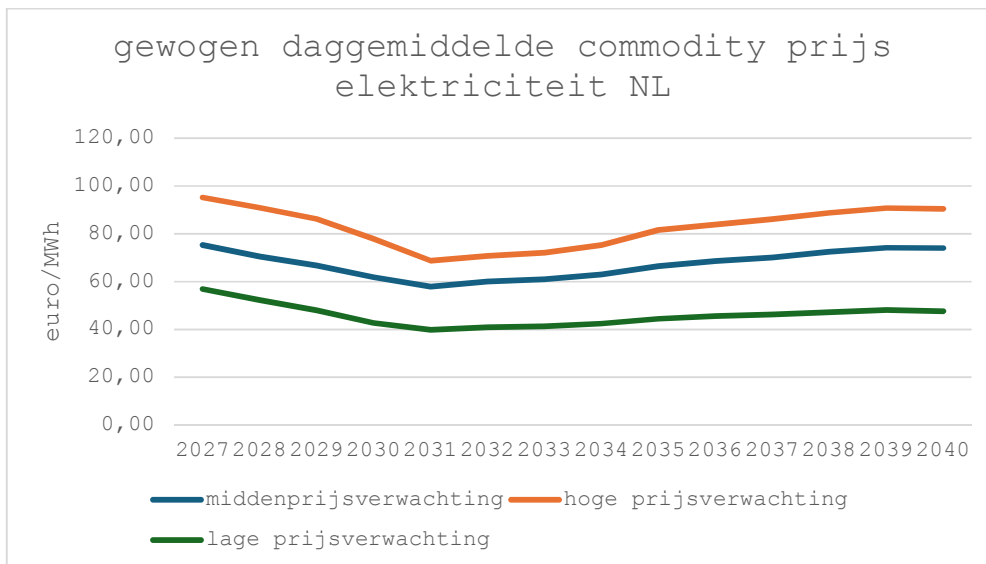
3.1 Vaststelling van energieprijsscenario's opgesteld aan de hand van de Klimaat- & Energieverkenningen van het Planbureau voor de Leefomgeving

Hieronder worden verschillende scenario's weergegeven die vastgesteld zijn voor de elektriciteits- en gasprijzen en bijhorende toeslagen. De toepassing van semi-transparante zonnepanelen blijken namelijk ook consequenties te hebben voor de warmtebehoefte van de te telen gewassen. Om de financiële consequenties hiervan inzichtelijk te krijgen, is inzicht in de verwachte gasprijsontwikkeling noodzakelijk.

3.1.1 Scenario's Elektriciteitsprijzen

TNO heeft mede aan de hand van de Klimaat- & Energieverkenningen 2022 van het PBL de gewogen daggemiddelde commodityprijzen van elektriciteit berekend voor een drietal scenario's, te weten middenprijsverwachting, hoge-prijsverwachting en een lage-prijsverwachting. Deze prijzen zijn berekend voor de verschillende afzonderlijke jaren over de periode 2027 t/m 2040 aan de hand van ingeschatte commodityprijzen per respectievelijk uur in het respectievelijke jaar. Deze prijzen zijn de elektriciteitsprijzen die een glastuinbouwonderneming verwacht te ontvangen bij verkoop van de terug te leveren elektriciteit. Deze gegevens worden in onderstaande grafiek weergegeven.

In deze scenario's is geen rekening gehouden met mogelijke wijzigingen in elektriciteitsprijzen als gevolg van mogelijk toekomstige fiscale aanpassingen.



Figuur 1: geprognostiseerde elektriciteitsprijzen (PBL, KEV2022)

Uit bovenstaande grafiek blijkt dat de verwachting is dat de commodity prijzen voor elektriciteit variëren tussen ca. € 95 MWh (hoogste prijs in scenario hoge-prijsverwachting) en ca. € 40/MWh (laagste prijs in scenario lage-prijsverwachting). In het scenario middenprijsverwachting varieert de prijs tussen de 59 en 78 euro/MWh.

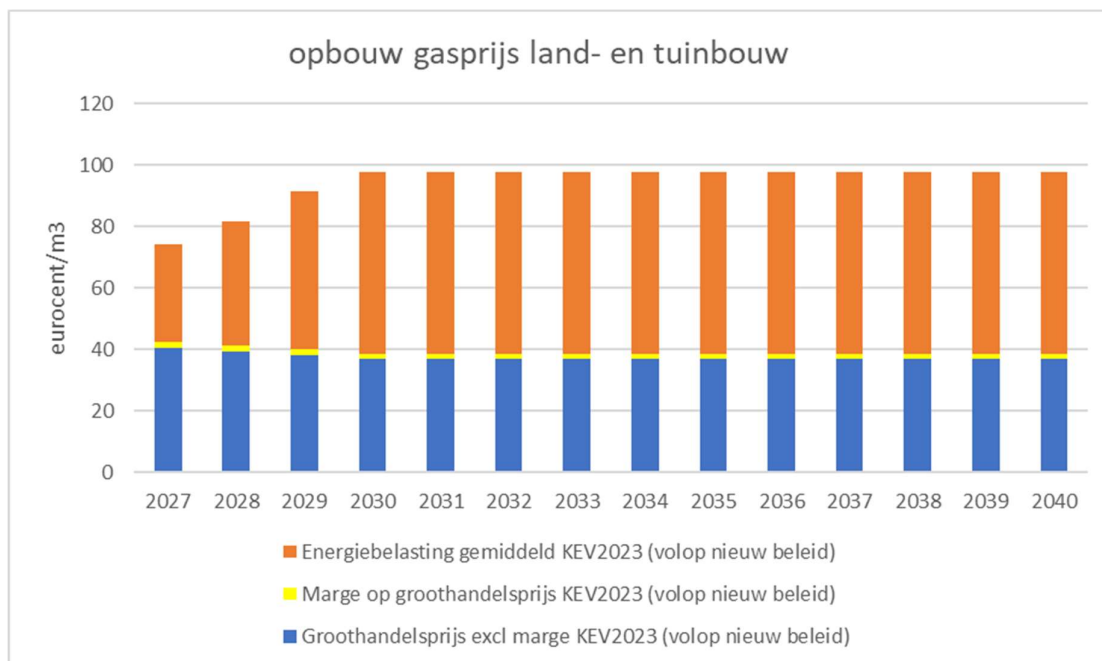
De verwachte gemiddelde gewogen daggemiddelde commodityprijzen over de periode 2027 t/m 2040 worden in onderstaande tabel weergegeven. Hieruit blijkt dat het er een verschil van bijna € 4/MWh (ca. 45%) zit tussen de gemiddelde prijsverwachting in het scenario hoge-prijsverwachting (€ 83/MWh) en de gemiddelde prijsverwachting in het scenario lage-prijsverwachting (€ 46/MWh). Tevens zijn aan de hand hiervan de elektriciteitsprijzen berekend die een glastuinbouw gemiddeld genomen verwacht te moeten betalen bij inkoop van electriciteit . Hierin zijn diverse te verwachte betalen (fiscale) belastingen en toeslagen verwerkt.

gewogen daggemiddelde commodity prijzen elektriciteit NL (euro/MWh)	terugleverprijs	inkoopprijs
middenprijsverwachting	67	156
hoge prijsverwachting	83	137
lage prijsverwachting	46	111

Tabel 1: langjarig gemiddelde geprognostiseerde elektriciteitsprijzen per scenario over de periode 2027 t/m 2040

3.1.2 Scenario Gasprijzen

TNO heeft mede aan de hand van de Klimaat- & Energieverkenningen 2023 van het PBL ook de verwachte gasprijs in eurocent per m³ voor de verschillende afzonderlijke jaren over de periode 2027 t/m 2040 bepaald. Daarbij zijn de fiscale wijzigingen⁵ wat betreft het afschaffen van het verlaagd tuinbouwtarief ketelgas en ook de inperking van de WKK-vrijstelling per 1/1/2025 verwerkt in de berekening van de verwachte gasprijs. Deze gegevens worden in onderstaande grafiek weergegeven waarbij het aandeel van respectievelijk de groothandelsprijzen, berekende marge en energiebelasting apart wordt aangegeven.



Figuur 2: jaarlijkse geprognostiseerde opbouw gasprijzen voor de sector land- en tuinbouw over periode 2027 t/m 2040 (PBL, KEV 2023)

De berekende laagst verwachte gemiddelde gasprijs is 74 eurocent/m³ (2027). De berekende hoogst verwachte gemiddelde gasprijs bedraagt daarbij 99 eurocent/m³ (periode 2030 t/m 2040). Het aandeel energiebelasting stijgt daarbij tot zo'n 60% van de totale verwachte gasprijs.

⁵ Bij afronding van dit rapport is bekend geworden dat de overheid op 5 februari 2024 heeft besloten om het afbouwtraject van de vrijstelling voor de landbouwprijzen te verlengen tot 2035 en niet tot 2030. Dit is niet verwerkt in deze berekende gasprijzen. De vertraagde afbouw heeft overigens een negatief effect op de berekende terugverdientijden.

De verwachte gemiddelde gasprijs over de periode 2027 t/m 2040 worden in onderstaande tabel weergegeven. Deze is berekend op 95 eurocent/m³.

verwachte gasprijs land- en tuinbouw incl. energiebelasting (eurocent/m ³)	gemiddelde
gasprijs	95

Tabel 2: geprognostiseerde gemiddelde gasprijs over periode 2027 t/m 2040

Opmerkelijk hierbij is dat de verwachte gasprijzen in de periode van 2027 t/m 2040 structureel fors hoger liggen dan de decennia daarvoor. De trend is dat de verwachte prijzen voornamelijk toenemen door fiscale maatregelen vanaf 2025 na de prijspiek in 2022/23 door de oorlog in Oekraïne. Dit wordt weergegeven in figuur 3.



Figuur 3: Gasprijzen land- en tuinbouw over periode 1995 t/m 2039 (CBS, PBL KEV2023)

3.2 Ontwikkelingen op het gebied van PV

TNO heeft op basis van Expert Opinions en de ITR-PV roadmap (International Technology Roadmap for PV) April 2023 de volgende analyses uitgevoerd:

- Inventarisatie betreffende de verwachte ontwikkelingen op het gebied van zonnestroom:
 - I. Betreffende algemene ontwikkelingen van cel- en moduletechnologie;
 - II. Verwachtingen komende jaren qua tandem cel concepten, dunne film technologie;
 - III. Ontwikkelingen van de cel efficiëntie voor de komende 5 jaar;
 - IV. Innovatieve ontwikkelingen op het gebied van gebouw-geïntegreerde PV/ semi-transparante PV/ dunne film PV/ flexibele of selectieve doorlaatbaarheid van PV.

Daarbij is als uitgangspunt genomen in de businesscase dat de (ver)bouw van de kas met installatie van zonne-PV panelen en bijhorende systemen in 2026 plaatsvindt. De productie van zonne-PV start vervolgens in 2027.

Uit de analyses worden de volgende trends verwacht wat betreft de verwachte PV-ontwikkelingen in 2027:

- TOPcon-panelen (Tunnel Oxide Passivated Contact) en HJT (Hetero Junction Technology)-panelen die bifacial (tweezijdig) zijn uitgevoerd zullen een dominante positie hebben in de PV-markt met een module rendement van 23,2% en een gemiddelde prijs van 0,15 \$/Wp.
- De prijs in \$/Wp van deels transparante panelen neemt toe bij een hogere transparantie en varieert tussen 0,15 - 0,21 \$/Wp met een respectievelijke transparantie van 6,5 - 50%. Dit vereist wel afnames in grotere hoeveelheden (>1-2 MWp naar verwachting)
- De systeem-prijs van HJT/Topcon-panelen exclusief constructie en grondprijs wordt ingeschat 0,35 \$/WP voor 6,5% transparantie.
- First Solar CdTe (dunne film) single-junction-panelen hebben geen specifiek voordeel t.o.v. Silicium. De inschatting is dat deze panelen zo'n 4% marktaandeel realiseren. Deze zullen naar verwachting de prijs van silicumpanelen volgen.
- CIGS-panelen (PV-panelen gemaakt van Koper, Indium, Gallium en Selenide) zullen een zeer klein marktaandeel realiseren (<1% marktaandeel). Ook hier worden geen specifieke voordelen verwacht. Door het kleine marktaandeel wordt verwacht dat dit type panelen de prijs van PV-panelen volgt die gemaakt zijn van silicium.
- Perovskiet-technologie voor zonnepanelen moet zich nog in het veld bewijzen in de komende 5 jaar. De verwachting is dat dit nog geen noemenswaardig marktaandeel zal hebben (0% van marktaandeel in 2027)).
- Tandem technologie voor zonnepanelen wordt vanaf 2027 op de markt verwacht maar zal zich ook moeten bewijzen. Ook hier wordt nog geen noemenswaardig marktaandeel verwacht in 2027.
- We nemen aan dat de inhomogene belichting die ontstaat door de schaduw van de cellen geen extra nadeel oplevert t.o.v. van een homogeen oppervlak met een variatie in transparantie.

Voor deze businesscase wordt dan ook op basis van bovenstaande inzichten het uitgangspunt gekozen dat de PV-panelen die gebruikt gaan worden voor het semi-transparante PV in het kasdek, gemaakt zijn van de bewezen silicium PV-panelen met encapsulatie-technologie (gesneden celpanelen) in dambord-patroon en/of deels transparante panelen.

De geschatte investeringskosten voor een semi-transparant PV-systeem in het kasdek , gebaseerd op bovenstaande uitgangspunten, worden in onderstaande tabel weergegeven. De aanname voor de berekeningen daarbij is dat de wisselkoersverhouding Euro/Dollar 1,1 bedraagt.

Investerings*	Geschatte kosten nieuwbouw (\$/WP)	Geschatte kosten Verbouw (\$/WP)
Netaansluiting**	0,05	0,05
Projectontwikkeling	0,08	0,08
Bekabeling	0,05	0,05
Omvormer	0,03	0,03
PV-module	0,21	0,21
Installatie en plaatsen***	0,10	0,15
Totaal	0,52	0,57
Totaal in €/WP	0,47	0,52

*In deze berekening is geen rekening gehouden met eventuele extra kosten als gevolg van verzwarende van de kasconstructie.

**De kosten voor netaansluiting zijn weergegeven in de tabel. Voor de businesscaseberekening wordt aangenomen dat er reeds een grootverbruikersaansluiting aanwezig is zodat deze kosten niet gemaakt hoeven te worden.

***Deze kosten zijn een grove indicatie op basis van navraag bij kassenbouwbedrijven. De werkelijke kosten zijn zeer afhankelijk van de situatie.

Tabel 3: geschatte investeringskosten semitransparante PV-systeem in een zonedek bij 54% transparantie (bron: TNO)

3.3 Modelberekeningen gewas- en energie-effecten PV

Ten behoeve van deze stap zijn recente data en inzichten wat betreft effecten van semi-transparante PV op de gewasproductie als gevolg van lichtverlies geïnventariseerd. Ook zijn de effecten van warmtebehoefte in kaart gebracht. Deze zijn vervolgens in de modelberekeningen verwerkt. De volgende berekeningen zijn daarbij gemaakt:

- 1) Uitvoeren van een simulatie-procedure voor kassen om o.a. lichtinstraling en warmtebehoefte te berekenen (*gebruik 3D-model en KASPRO-simulatie model*) bij verschillende PV-bedekkingen
- 2) Uitvoeren van een simulatie-procedure om gewasgroei te berekenen (*gebruik KASPRO-simulatie model*)

3.3.1 Effecten PV-bedekking op gewassen

De volgende uitgangspunten zijn toegepast in de genoemde modelberekeningen:

❖ **3D kasdek:**

- Type Venlo; 22 graden dakhelling, inclusief nok, glasroeden, goot en tralieligger.
- Oriëntatie PV-panelen O-W; ongecoat, helder tuinbouwglas, 90% TL
- Optische eigenschappen kasconstructie en glas (hoekafhankelijke transmissie, reflecte en lichtverstrooiing) gebaseerd op meetdata.

❖ **PV-cellen:**

- 21% rendement
- 0% transmissie
- 90% absorptie bij loodrechte inval, aflopend naar 0%
- bifacial: gewasreflectie 5% in het PAR gebied, 50% in het NIR gebied (diffuus)

❖ **Transmissie integraal kasdek:**

Bepalen transmissie op gewasniveau met 3D model voor alle zonnestanden in het UV, PAR en NIR gebied

❖ **Elektriciteitsproductie:**

- Straling typisch jaar (diffuus, direct)
- Bepaling van jaarrond uurlijkse lichtabsorptie PV voor direct licht o.b.v. uurlijkse zonnestanden
- Bepaling van lichtabsorptie PV voor diffuus licht
- E-productie = $\sum \text{straling}_{\text{uurlijks}} \times \text{absorptie}_{\text{uurlijks}}$

De berekende elektriciteitsproductie bij de verschillende percentages PV-bedekkingen worden in onderstaande tabel weergegeven.

PV bedekking %	Gooriëntatie	bifacial kWh/m2/j
15	N-S	33
25	N-S	53
50	N-S	100
60	N-S	118
70	N-S	134

Tabel 4: jaarlijkse elektriciteitsproductie van bifacial PV-panelen bij verschillende bedekkingsgraden van het kasdek

3.3.2 Gewas- en energie-effecten bij verschillende PV-bedekkingen

De berekeningen zijn uitgevoerd met KASPRO en voor de volgende gewassen:

- I. Komkommer
- II. Anthurium
- III. Gerbera

De keuze voor deze gewassen is in overleg gedaan met Stichting KIJK en Glastuinbouw NL en is mede gebaseerd op het feit dat voor deze gewassen groeimodellen beschikbaar zijn bij de WUR.

Hierbij zijn gangbare instellingen voor klimaatregeling en de gewasinstellingen gebruikt. Er is uitgegaan van een onbelichte komkommerteelt waarbij de hoeveelheid natuurlijk licht op het gewas input is voor het gewasmodel. Voor de twee belichte siergewassen wordt aangenomen dat het verlies aan natuurlijk licht gecompenseerd zal worden door extra te belichten tot aan een voor het gewas benodigde minimum-lichtsom. Het geïnstalleerd vermogen neemt evenredig toe bij hogere PV-fracties. Verder wordt de stooktemperatuur bij alle teelten geregeld volgens RTR⁶.

De relevante verschillen tussen de teelten worden hieronder gegeven:

❖ **Komkommer:**

- Onbelicht
- Schermen: energie; geen schaduwdoek
- RTR ($19^{\circ} + 0.15 \times \text{mol/m}^2/\text{dag}$), RH⁷ 92% nacht, 87% dag

❖ **Anthurium:**

- Geïnstalleerd belichtingsvermogen: $140 \text{ umol/m}^2/\text{s}$
- RTR ($20^{\circ} + 0.15 \times \text{mol/m}^2/\text{day}$), RH 90%
- Schermen: energie- en schaduwdoek
- Minimum lichtsom: 10 mol/dag

⁶ De Radiation-Temperature Ratio (RTR) geeft de verhouding tussen temperatuur en licht en wordt gebruikt om de plant in balans te houden

⁷ Streefwaarde voor de relatieve luchtvochtigheid in de kas

❖ Gerbera

- Geïnstalleerd belichtingsvermogen: 140 umol/m²/s
- RTR (18° + 0.15 x m²ol/m²/dag), RH 92% nacht, 87% dag
- Schermen: energie- en schaduwdoek
- Minimum lichtsom 10 mol/dag

De gewas- en energie-effecten op basis van de KASPRO-berekeningen worden in onderstaande tabel gegeven.

	PV-bedekking (%)	Productie (kg)	Gasverbruik (m ³)	Electra (kWh)				
				Verbruik	Productie	Netto	Afname	Terugleveren
Komkommer	0	89	28,7	0	0	0	0	0
	15	76	28,1	0	33	-33	0	33
	25	67	27,8	0	53	-53	0	53
	50	41	26,8	0	100	-100	0	100
Anthurium	0		23,1	127	0	127	127	0
	15		21,7	146	33	113	140	27
	25		21,0	159	53	106	149	43
	50		19,5	209	100	109	176	67
	60		18,8	243	118	125	193	67
	70		18,2	278	134	144	207	63
Gerbera	0		13,3	97	0	97	97	0
	15		12,8	112	33	79	108	29
	25		12,7	123	53	70	114	45
	50		11,9	166	100	66	136	70

Tabel 5: resultaten gewas- en energie-effecten bij verschillende PV-bedekkingen voor de teelt van komkommers, anthurium en gerbera

Uit de berekeningen blijkt het volgende:

- Toename van de PV-bedekking in geval van komkommerteelt zorgt voor afname van de productie. Bij 50% -bedekking is de productie-afname zelfs ca. 54%.
- Toename van de PV-bedekking zorgt voor enerzijds een lagere benutting van (gratis) zonne-energie en anderzijds door een verminderde gewasverdamping bij een afname van PAR. Het gecombineerde effect zorgt voor een afname van de warmtebehoefte bij alle gewassen.

3.4 Businesscase-berekeningen

Op basis van alle bovenstaande verkregen informatie, zijn verschillende economische scenario's berekend om de financiële gevolgen van de verschillende PV-bedekkingen voor de drie genoemde gewassen in kaart te brengen. Allereerst zullen saldoberekeningen gemaakt worden met drie verschillende elektriciteitsprijzen, te weten: Middenprijsverwachting, Hoge prijsverwachting en Lage prijsverwachting (zie 3.1.1 Scenario's Elektriciteitsprijzen).⁸ Op basis van de uitkomsten van de saldoberekeningen worden terugverdientijden berekend voor de verschillende % PV-bedekkingen en de drie genoemde elektriciteitsprijsscenario's. Daarnaast zal nog een sensitiviteitsanalyse worden uitgevoerd.

3.4.1 Saldoberekeningen

Voor de uit te voeren saldoberekeningen wordt uitgegaan van een kg-prijs van geproduceerde komkommers van € 0,75/kg. De gasprijs waarmee wordt gerekend bedraagt € 0,95/m³ (zie 3.1.2 Scenario Gasprijzen). Het berekende saldo/m² kasoppervlak wordt als verschil met de referentie (geen zonne-PV in het kasdek) weergegeven en is berekend als het totaal van de verminderde inkomsten uit gewasproductie, de besparing op het gasverbruik en het verschil in netto elektriciteitsverbruik. In tabel 6 worden de resultaten van de saldoberekeningen weergegeven.

	PV-bedekking (%)	Product (€)	Gas (€)	Electra (€)			SALDO (€)		
				Laag	Midden	Hoog	Laag	Midden	Hoog
Komkommer	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	15	-9,75	0,57	1,52	2,22	2,73	-7,66	-6,96	-6,45
	25	-16,50	0,85	2,44	3,57	4,39	-13,21	-12,08	-11,26
	50	-36,00	1,80	4,60	6,73	8,28	-29,60	-27,47	-25,92
Anthurium	0		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	15		1,32	-0,20	0,04	0,21	1,12	1,36	1,53
	25		1,99	-0,46	-0,12	0,13	1,52	1,87	2,11
	50		3,40	-2,36	-2,19	-2,10	1,05	1,21	1,31
	60		4,06	-4,24	-4,52	-4,75	-0,18	-0,45	-0,68
	70		4,63	-5,98	-6,70	-7,26	-1,35	-2,07	-2,63
Gerbera	0		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	15		0,47	0,11	0,45	0,69	0,59	0,92	1,16
	25		0,57	0,18	0,70	1,07	0,75	1,27	1,64
	50		1,32	-1,11	-0,62	-0,29	0,21	0,70	1,04

Tabel 6: Saldoberekeningen per m² kasoppervlak voor verschillende % PV-bedekking en verschillende prijsscenario's

⁸ Het is mogelijk dat in de verdere toekomst de fluctuaties tussen winter- en zomerprijzen van elektriciteit zullen toenemen. Dit heeft mogelijk gevolgen voor de businesscase-berekeningen van semi-transparante PV in het kasdek. Dit is niet meegenomen in deze berekeningen.

Uit de berekende scenario's blijkt het volgende:

- De financiële gevolgen bij de afname van de kg-opbrengsten bij toepassing van semitransparante PV-panelen in het kasdek bij de teelt van komkommers zijn dusdanig groot dat deze voor alle elektriciteitsprijsscenario's en alle berekende %PV-bezettingen leiden tot forse negatieve saldo's.
- Bij zowel anthurium en gerbera zien we voor alle elektriciteitsprijsscenario's een positief saldo tot en met 50% PV-bezetting.

Om de in tabel 6 genoemde saldo's in perspectief te zetten, is onderstaande tabel 7 toegevoegd. Hierin staat de teeltomzetten van de drie behandelde gewassen per m2. Gesteld kan worden dat de te realiseren saldo's laag zijn in relatie tot de genoemde gewasomzetten.

Gewassen	Omzet m2 excl. BTW
Komkommer onbelicht	€ 68
Komkommer belicht	€ 121
Anthurium	€ 75
Gerbera, grootbloeming	€ 108

*Tabel 7: Teeltomzet per m2 voor de genoemde teelten;
bron KWIN voor de Glastuinbouw 2023; rapport WPR-1251*

3.4.2 Terugverdiëntijdberekeningen

Hieronder worden de terugverdiëntijden van de geschatte investeringen in een semitransparante PV-systeem in het kasdek berekend aan de hand van de uitkomsten van de saldoberekeningen voor de drie scenario's voor elektriciteitsprijzen, te weten, Middenprijsverwachting, Hoge prijsverwachting en Lage prijsverwachting. Daarbij worden deze terugverdiëntijden berekend in geval van danwel nieuwbouw danwel verbouw. Voor de ingeschatte investeringskosten wordt uitgegaan van het gebruik van silicium PV-panelen in een zogenaamd dambordpatroon. Daarbij worden de glaskosten die vermeden worden door het gebruik van zonnepanelen in het kasdek in mindering gebracht op de investeringssom.

Een veelgehoord uitgangspunt bij de analyse van de rentabiliteit van zonne-PV is dat een terugverdiëntijd van een zonne-PV-systeem zo'n 7 jaar dient te zijn. Hoewel de technische levensduur van een zonne-PV-systeem bewezen 25 jaar is (bron: TNO), is een terugverdiëntijd van 10 jaar an sich verdedigbaar. Een langere terugverdiëntijd kan daarbij vanuit sociaal of ecologisch perspectief mogelijk acceptabel zijn maar vanuit economisch perspectief is deze niet meer passend te noemen.

In deze berekeningen zal het berekende saldo nog verlaagd worden met de volgende exploitatiekosten:

- Jaarlijkse rentekosten; 3% over 50% van het investeringsbedrag
- Jaarlijkse onderhoudskosten: 1% over het investeringsbedrag

Het saldo minus de genoemde exploitatiekosten wordt de marge genoemd.

Voor de terugverdiendtijdberekeningen wordt uitgegaan van in tabel 8 aangegeven indicatieve investeringsbedragen. Voor de terugverdiendtijdberekening wordt aangenomen dat er reeds een grootverbruikersaansluiting aanwezig is zodat deze investering niet gedaan hoeft te worden.

geschatte investeringen (€/m2 kasbodem)	nieuwbouw	verbouw
70% bedekking	€ 55	€ 62
60% bedekking	€ 48	€ 55
50% bedekking	€ 41	€ 47
25% bedekking	€ 23	€ 26
15% bedekking	€ 16	€ 17

*Tabel 8: indicatie investeringsbedragen zonne-PV (€/m2 kasbodem)
o.b.v. een dambordpatroon in het kasdek met silicium zonnepanelen.*

De terugverdiendtijdberekeningen voor de gewassen komkommer, anthurium en gerbera worden hieronder weergegeven in respectievelijk tabel 9, 10 en 11.

Terugverdiendtijdberekening zonne-PV in kasdek voor Komkommerteelt:

	PV bedekking (%)	Saldo (€)	Saldo - exploitatiekosten (€)	terugverdiendtijd nieuwbouw (jaren)	terugverdiendtijd verbouw (jaren)
Komkommer	0	€ -		n.v.t.	n.v.t.
lage prijsverwachting	15	€ -7,66	€ -8,06	n.v.t.	n.v.t.
	25	€ -13,21	€ -13,79	n.v.t.	n.v.t.
	50	€ -29,60	€ -30,64	n.v.t.	n.v.t.
Komkommer	0	€ -		n.v.t.	n.v.t.
middenprijsverwachting	15	€ -6,96	€ -7,35	n.v.t.	n.v.t.
	25	€ -12,08	€ -12,66	n.v.t.	n.v.t.
	50	€ -27,47	€ -28,68	n.v.t.	n.v.t.
Komkommer	0	€ -		n.v.t.	n.v.t.
hoge prijsverwachting	15	€ -6,45	€ -6,84	n.v.t.	n.v.t.
	25	€ -11,26	€ -11,84	n.v.t.	n.v.t.
	50	€ -25,92	€ -26,96	n.v.t.	n.v.t.

Tabel 9: terugverdiendtijdberekening zonne-PV in kasdek voor komkommerteelt

Terugverdiëntijdberekening zonne-PV in kasdek voor Anthuriumteelt:

	PV bedekking (%)	Saldo (€)	Saldo - exploitatiekosten (€)	terugverdiëntijd nieuwbouw (jaren)	terugverdiëntijd verbouw (jaren)
Anthurium	0	€ -		n.v.t.	n.v.t.
lage prijsverwachting	15	€ 1,12	€ 0,73	22	24
	25	€ 1,52	€ 0,94	25	27
	50	€ 1,05	€ 0,01	3547	4004
	60	€ -0,18	€ -1,39	n.v.t.	n.v.t.
	70	€ -1,35	€ -2,66	n.v.t.	n.v.t.
Anthurium	0	€ -		n.v.t.	n.v.t.
middenprijsverwachting	15	€ 1,36	€ 0,97	16	18
	25	€ 1,87	€ 1,29	18	20
	50	€ 1,21	€ 0,17	237	268
	60	€ -0,45	€ -1,66	n.v.t.	n.v.t.
	70	€ -2,07	€ -2,63	n.v.t.	n.v.t.
Anthurium	0	€ -		n.v.t.	n.v.t.
hoge prijsverwachting	15	€ 1,53	€ 1,14	14	15
	25	€ 2,11	€ 1,53	15	17
	50	€ 1,31	€ 0,27	152	172
	60	€ -0,68	€ -1,89	n.v.t.	n.v.t.
	70	€ -2,63	€ -4,01	n.v.t.	n.v.t.

Tabel 10: terugverdiëntijdberekening zonne-PV in kasdek voor anthuriumteelt

Terugverdiëntijdberekening van zonne-PV in kasdek voor Gerberateelt:

	PV bedekking (%)	Saldo (€)	Saldo - exploitatiekosten (€)	terugverdiëntijd nieuwbouw (jaren)	terugverdiëntijd verbouw (jaren)
Gerbera	0	€ -		n.v.t.	n.v.t.
lage prijsverwachting	15	€ 0,59	€ 0,19	81	89
	25	€ 0,75	€ 0,17	135	150
	50	€ 0,21	€ -0,82	n.v.t.	n.v.t.
Gerbera	0	€ -		n.v.t.	n.v.t.
middenprijsverwachting	15	€ 0,92	€ 0,53	30	33
	25	€ 1,27	€ 0,69	33	37
	50	€ 0,70	€ -0,34	n.v.t.	n.v.t.
Gerbera	0	€ -		n.v.t.	n.v.t.
hoge prijsverwachting	15	€ 1,16	€ 0,77	21	23
	25	€ 1,64	€ 1,06	22	24
	50	€ 1,04	€ 0,83	50	56

Tabel 11: terugverdiëntijdberekening zonne-PV voor kasdek voor gerberateelt

Uit bovenstaande tabellen blijkt het volgende:

- Een semitransparante zonne-PV systeem in het kasdek bij komkommerteelt leidt voor alle ingeschatte elektriciteitsprijsscenario's en alle verschillende %PV-bedekkingen tot negatieve marges (saldo-exploitatiekosten) en economische achteruitgang. De benodigde investeringen worden niet terugverdiend. Dit geldt voor zowel nieuwbouw als verbouw.
- Voor de anthuriumteelt is de laagst berekend terugverdientijd 14 jaar in geval van nieuwbouw, 15% PV-bedekking en een hoge-elektriciteitsprijsverwachting. Deze is nog ruim hoger dan de besproken "norm" van 10 jaar.
- Opmerkelijk bij anthuriumteelt is dat de berekende marge in geval van nieuwbouw, 25% PV-bedekking en een hoge-elektriciteitsprijsverwachting, hoger is dan in het geval van 15%-PV-bedekking. Echter de hogere investeringskosten bij 25%-transparantie leiden tot een hoger berekende terugverdientijd die 15 jaar bedraagt.
- Voor Gerberateelt is de laagst berekende terugverdientijd 21 jaar. Dit komt dicht in de buurt van de berekende technologische levensduur maar is ruim het dubbele van de besproken norm van 10 jaar.

3.4.3 Sensitiviteitsanalyse

In deze paragraaf wordt gekeken naar de gevoeligheid van de berekende terugverdientijd voor wijzigingen in prijzen c.q. kosten. Er worden twee specifieke aspecten onder de loep genomen die een forse invloed hebben op de berekende terugverdientijd:

- De hoogte van de investeringsbedragen;
- De hoogte van het berekende saldo als gevolg van besparing warme en levering c.q. inkoop van elektriciteit.

Terugverdientijdberekening bij 25%-verlaging van de investeringsbedragen:

Bij deze berekening wordt alleen gekeken naar anthurium- en gerberateelt. In de komkommerteelt zijn de berekende saldo's dusdanig negatief dat verdere analyse overbodig is. Daarbij wordt uitgegaan van de middenprijsverwachting voor de elektriciteit. De eerder genoemde investeringsbedragen (zie tabel 8) worden daarbij met 25% verlaagd voor deze berekening. De resultaten van deze berekening worden in de tabel hieronder weergegeven.

	PV bedekking (%)	Saldo (€)	Saldo - exploitatiekosten (€)	terugverdientijd nieuwbouw (jaren)	terugverdientijd verbouw (jaren)
Anthurium	0	€ -		n.v.t.	n.v.t.
middenprijsverwachting	15	€ 2,26	€ 1,96	6	7
	25	€ 3,42	€ 2,98	6	6
	50	€ 4,61	€ 3,83	8	9
	60	€ 4,17	€ 3,26	11	13
	70	€ 3,49	€ 3,08	13	15
Gerbera	0	€ -		n.v.t.	n.v.t.
middenprijsverwachting	15	€ 1,26	€ 0,97	12	13
	25	€ 1,58	€ 1,15	15	17
	50	€ 1,04	€ 0,26	n.v.t.	n.v.t.

Tabel 12: gevoeligheidsanalyse; gevolgen voor terugverdientijd bij 25% verlaging van investeringsbedragen

Uit bovenstaande tabel blijkt het volgende:

- Bij 25% verlaging van de indicatieve investeringsbedragen is er bij de teelt van gerbera's in het meest gunstige geval (PV-bedekking van 15%) sprake van een terugverdientijd van 12 jaar. Deze is nog hoger dan de eerder besproken "norm" van 10 jaar.
- Bij 25% verlaging van de indicatieve investeringsbedragen is er bij de teelt van anthurium voor meerdere verschillende percentages PV-bedekking (respectievelijk 15%, 25% en 50%) sprake van terugverdientijden die 10 jaar of lager zijn voor zowel nieuwbouw als verbouw.

Berekening acceptabele terugverdientijd door een hogere stroomprijs:

Bij deze berekening wordt alleen gekeken naar anthuriumteelt. Daarbij wordt bepaald welk batig saldo, als gevolg van besparing warmte en levering c.q. inkoop elektriciteit, nodig is om een terugverdientijd van respectievelijk 7 jaar en 10 jaar te realiseren. Dit ten opzichte van de meest gunstige terugverdientijd die berekend is bij de terugverdientijd anthuriumteelt onder 3.4.2. Deze bedroeg 14 jaar in geval van nieuwbouw, 15% P-bedekking en een hoge elektriciteitsprijsverwachting. Het berekende saldo voor dit scenario bedraagt daarbij € 1,53/m².

terugverdientijd	vereist saldo/m²	% toename saldo
7 jaar	€ 2,64	172%
10 jaar	€ 1,96	128%

Tabel 13: vereist saldo voor een acceptabele terugverdientijd bij de teelt van anthurium

Uit bovenstaande tabel blijkt dat het berekende saldo met tenminste 28% dient toe te nemen om een terugverdientijd te realiseren die 10 jaar of lager is. Om een terugverdientijd van 7 jaar of lager te realiseren is zelfs een toename van het saldo van 72% vereist.

4. Conclusies en aanbevelingen

De volgende conclusies kunnen getrokken worden:

- Het toepassen van semi-transparante PV-panelen op basis van de huidige stand van de PV-technologie en de verwachte ontwikkelingen daarbij op middellange termijn, zal in de komkommerteelt tot aanzienlijk verlaagde kg-opbrengsten leiden.
- De negatieve financiële consequenties van de verlaging van de kg-opbrengsten in de komkommerteelt worden niet voldoende gecompenseerd middels verwachte extra energieopbrengsten. Dit leidt tot een negatief financieel saldo waardoor de benodigde investeringen in een PV-zonnesysteem in het kasdek niet terugbetaald kunnen worden.
- Het toepassen van semi-transparantie PV-panelen op basis van de huidige stand van de PV-technologie en de verwachte ontwikkelingen daarbij op middellange termijn, zal bij de teelt van anthurium en gerbera leiden positieve financiële saldo's op basis van de extra energieopbrengsten bij verschillende %PV-bedekkingen tot en met 50%.
- De berekende positieve financiële saldo's in de teelt van anthurium en gerbera zijn naar verwachting op middellange termijn onvoldoende om de benodigde investeringen in een systeem van semi-transparante PV-panelen in een kasdek binnen een economisch passende termijn terug te verdienen op basis van realistisch te verwachten energieprijzen en investeringsbedragen.
- De inschatting is dat een systeem van semitransparante PV-panelen op basis van silicium-technologie met encapsulatie-technologie in dambord-patroon bij significante prijsverlaging van de systeemkosten alleen economisch interessant wordt voor een beperkt aantal teelten onder glas waarbij een afname van kasdektransmissie niet leidt tot een evenredige afname in biomassa productie.

De volgende aanbevelingen worden gedaan:

- Indien zonne-PV op kassen maatschappelijk noodzakelijk c.q. gewenst is, is het noodzakelijk dat de overheid hiervoor een aparte subsidieregeling ontwikkelt om deze zonnepanelen in een passende economische termijn terug te kunnen betalen.
- Om semi-transparante PV in het kasdek sneller door te ontwikkelen zijn demoprojecten wenselijk c.q. noodzakelijk. Voor financiering van de onrendabele top hiervan zijn aanvullende subsidieregelingen daarbij noodzakelijk.
- Er zijn diverse technologische ontwikkelingen c.q. innovaties op het gebied van zonne-PV voor het kasdek (denk aan coatings, Voltiris Solar Modules, etc) waardoor het interessant kan zijn om de economische haalbaarheid van semi-transparante PV in het kasdek na 2027 opnieuw te beoordelen.
- Wanneer een teler toch semitransparant zonne-PV op een kasdek wenst toe te passen, is het aan te bevelen om een economische berekening te maken op basis van zijn specifieke teelt-&kasomstandigheden en zijn toepasselijke energieprijzen.
- In het bovengenoemde geval is het tevens verstandig om daarbij door te rekenen wat de financiële consequenties zijn van de toepassing van apparaten/installaties om eventueel geproduceerde en niet zelf direct te gebruiken elektriciteit kortstondig (hoogstens tot enkele dagen) op te slaan, bijv. door het gebruik van een batterij. Mogelijk kan dit leiden tot een verbeterde investeringsperspectieven.