



# De performance van de drie demo-kassen op het Innovatie en Demo Centrum

H.F. de Zwart



SunergieKas



ZonWindKas



FlowdeckKas



© 2010 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

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

## **Wageningen UR Glastuinbouw**

Adres : Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen  
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen  
Tel. : 0317 - 48 60 01  
Fax : 0317 - 41 80 94  
E-mail : [glastuinbouw@wur.nl](mailto:glastuinbouw@wur.nl)  
Internet : [www.glastuinbouw.wur.nl](http://www.glastuinbouw.wur.nl)

# Inhoudsopgave

1	Samenvatting	5
2	Inleiding	10
3	Energieproducerende kassen	12
4	Kernpunten en verwachtingen van de drie ontwerpen	15
4.1	ZonWindKas	15
4.1.1	Algemeen	15
4.1.2	Energetisch perspectief	17
4.1.3	Bedrijfseconomisch perspectief	17
4.2	SunergieKas	18
4.2.1	Algemeen	18
4.2.2	Energetisch perspectief	20
4.2.3	Bedrijfseconomisch perspectief	21
4.3	FlowdeckKas	22
4.3.1	Algemeen	22
4.3.2	Energetisch perspectief	23
4.3.3	Bedrijfseconomisch perspectief	24
4.4	Terugverdientijden bij geüniformeerde uitgangspunten	25
5	Gerealiseerde prestaties	28
5.1	ZonWindKas	29
5.1.1	Van ontwerp naar demonstratieobject	29
5.1.2	Het bouwproces	30
5.1.3	Energieprestatie	31
5.1.3.1	Warmte	31
5.1.3.2	Elektriciteit	35
5.1.4	Teeltkundige ervaringen	36
5.1.5	Samenvatting ZonWindKas	36
5.2	Sunergiekas	37
5.2.1	Van ontwerp naar demonstratieobject	37
5.2.2	Het bouwproces	39
5.2.3	Energieprestatie	40
5.2.3.1	Elektriciteit	43
5.2.4	Teeltkundige ervaringen	43
5.2.5	Samenvatting SunergieKas	44

5.3	FlowdeckKas	45
5.3.1	Van ontwerp naar demonstratieobject	45
5.3.2	Het Bouwproces	47
5.3.3	Energieprestatie	48
5.3.3.1	Elektriciteit	50
5.3.4	Teeltkundige ervaringen	51
5.4	Vergelijking van energieprestaties	52
5.5	Economische bespiegelingen	52
5.5.1	Geactualiseerde economische parameters van de ZonWindKas	53
5.5.2	Geactualiseerde economische parameters van de SunergieKas	54
5.5.3	Geactualiseerde economische parameters van de FlowdeckKas	56
5.6	Conclusies uit de meetperiode	57
6	De drie ontwerpen in gebruiksperspectief	60
7	Vervolgplannen	63
8	Conclusies en nabeschuwing	64
9	Communicatie rondom het IDC	66
Bijlage I	Verwerking van geveleffecten	69
Bijlage II	Het ketelhuis simulatiemodel	70
Bijlage III	Dankwoord aan de sponsors	72
Bijlage IV	Overzicht media-aandacht opening IDC op 15 april 2009	73

# 1 Samenvatting

Eén van de meest concrete resultaten van de ontwerpwedstrijd “Kas Als Energiebron” is de realisatie van het Innovatie en DemoCentrum (IDC). Op het terrein van het IDC zijn drie winnende ontwerpen op semi-praktijkschaal gebouwd. Het eerste ontwerp, de ZonWindKas beslaat een oppervlak van 280 m<sup>2</sup> en is gericht op de teelt van schaduwminnende potplanten. De andere twee ontwerpen, de SunergieKas<sup>1</sup> en de FlowdeckKas zijn gericht op de groenteteelt en beslaan elk een kasoppervlak van 550 m<sup>2</sup>.

De doelstelling van de ontwerpwedstrijd is de implementatie van kassen die energie-neutraal zijn, maar liever nog netto energieproducerende kassen. Het begrip energie-neutraal wordt daarbij vaak gelijk gesteld aan ‘vrij van fossiele energie’. Netto energie producerende kassen zouden dan de overtreffende trap daarvan zijn; kassen die meer energie leveren dan dat ze zelf aan hoogwaardige energie verbruiken.

De bovenstaande tekst geeft in twee zinnen vier aspecten die verbonden zijn aan energie zonder dat de gehanteerde begrippen eenduidig gedefinieerd zijn. Het eerste hoofdstuk van dit rapport gaat daarom uitgebreid op al deze aspecten in en besluit met een lijstje waarin de begrippen zoals ze in dit rapport worden gebruikt omschreven worden. De conclusie uit dit hoofdstuk is dat energieproducerende kassen niet noodzakelijkerwijs vrij zijn van het gebruik van fossiele energie, maar ook dat het vrij zijn van fossiele energie niet afhankelijk is van de ontwikkeling van energieproducerende kassen. Daarom wordt in dit hoofdstuk vooral de notie geëtaleerd dat het bij innovaties op het gebied van energiegebruik vooral gaat om de verhouding tussen de benodigde hoeveelheid hoogwaardige energie per eenheid product en dat de drie ontwerpen dus ook op dat punt beoordeeld moeten worden.

In verband met de ontwerpwedstrijd moeten de drie demonstratie-kassen evenwel vooral op de gerealiseerde prestaties qua energieproductie en economische haalbaarheid beoordeeld worden. De prestatie op deze punten wordt afgemeten naar de verwachtingen die vooraf voor de drie ontwerpen door de deelnemende consortia zijn uitgesproken. Ook dienen de demonstraties aan te tonen dat de ontwerpen met de huidige stand van de techniek gebouwd kunnen worden en dat de betreffende consortia in staat zijn de realisatie ook organisatorisch te kunnen realiseren.

Ter beoordeling van de drie ontwerpen is in dit rapport zowel voor wat betreft de energieprestatie als voor de economische prestatie een geüniformeerde beoordelingsmethode gebruikt. Veel paragrafen krijgen daardoor een overeenkomstige structuur, maar de resultaten van de drie ontwerpen worden toch als op zichzelf staande resultaten behandeld. De demo ging immers niet om een vergelijkend experiment. Dat had ook niet gekund omdat er drie heel verschillende teelten in de kassen zijn geweest.

In de onderstaande tekst worden daarom per ontwerp de verwachtingen beschreven en de uiteindelijk gerealiseerde prestaties op het IDC.

---

1 De SunergieKas heeft een naamsverandering ondergaan. De oorspronkelijke naam was ZoWaKas (Zonne Warmte Kas)

## ZonWindKas

### Ontwerp

Het kernpunt van het ontwerp van de ZonWindKas is de directe benutting van het zomerse overschot aan zonlicht bij de teelt van schaduwminnende planten. Veel potplantenkassen schermen in de zomer tot zo'n 70 % van het zonlicht weg, voornamelijk door dit zoveel mogelijk te reflecteren. In de ZonWindKas wordt dit zonlicht juist geabsorbeerd door donker gekleurde lamellen in het kasdek, die in bepaalde mate dichtgedraaid kunnen worden (de ARRACs). Hierdoor kan de lichtintensiteit in de kas naar believen worden getemperd en wordt onderwijl energie op een relatief hoge temperatuur verzameld (65 °C).

De hoge temperatuur waarop de zonne-energie wordt vastgelegd brengt seizoensbuffering in een geïsoleerd waterbassin binnen reikwijdte. Uitgaande van een goed geïsoleerde kas wordt in het ontwerpdocument aangegeven dat daarvoor een opslagcapaciteit van 2.7 m<sup>3</sup> water per m<sup>2</sup> kas nodig zou zijn. Zo'n opslagsysteem zou kunnen worden gerealiseerd door een waterbassin van gemiddeld 2.7 m diepte onder de hele kas aan te leggen. Vanuit dit bassin met water op 65 °C zou de kas vervolgens de winter door verwarmd kunnen worden zodat er geen additionele energie voor de verwarmings-energie meer nodig zou zijn.

Er resteert dan alleen nog een geringe hoeveelheid additionele energie in verband met de invulling van de elektriciteits-behoefte. Hiervoor wordt in het concept windenergie ingezet, maar omdat de daarvoor benodigde windmolen niet feitelijk geïntegreerd is met de kas moet het elektriciteitsverbruik tot de primaire energiebehoefte van de kas worden gerekend. Het netto energieverbruik van de ZonWindKas wordt daarmee 0.8 m<sup>3</sup> aardgas.

Qua economische prestatie noemt het ontwerpdocument een terugverdientijd van 5.5 jaar, uitgaande van een gasprijs van 21 cent per m<sup>3</sup>.

### Realisatie

De proefneming met de ZonWindKas is uitgevoerd met het een potanthurium gewas, een warmte en schaduwminnend gewas. Telers en de plantenleverancier waren zeer enthousiast over het teeltresultaat. De plant groeide goed en vorm en kleur waren prima. Vooral de proportionele regelbaarheid van de beschaduwingsfactor die de ARRACs opleverde werd als zeer positief beoordeeld.

De energieverzameling met behulp van de lamellen verliep eveneens goed. Er werd inderdaad een zodanige hoeveelheid warmte op 65 °C verzameld dat een reservoir van 2.7 m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> kas gedurende de zomer van 25 °C naar 65 °C gebracht kan worden. Dit betekent dat aan het eind van de zomer de ZonWindKas de beoogde warmtevoorraad van 15 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten per m<sup>2</sup> ruimschoots beschikbaar had.

Deze voorraad bleek echter lang niet genoeg om de kas zoals die in eerste instantie in de demo was neergezet van voldoende warmte te voorzien. De warmtevoorraad was rond de jaarwisseling op. Ter verlaging van het warmteverlies is de ZonWindKas daarom uitgebreid met een standaard energiescherm. Dit leidde tot een aantoonbare verbetering van de isolatiewaarde van de kas zodat gesteld mag worden dat het winterse warmteverbruik van de ZonWindKas zoals die uiteindelijk is neergezet op 21 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten per m<sup>2</sup> zou zijn uitgekomen (in plaats van de gemeten 31 m<sup>3</sup>). Het warmtetekort was dan beperkt gebleven tot 6 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten per m<sup>2</sup> per jaar. Het elektriciteitsverbruik van de ZonWindKas, rekening houdend met alle energieverbruikende componenten is gesteld op 7 kWh per m<sup>2</sup> per jaar en is dus 4 kWh meer dan in het ontwerpdocument werd genoemd. Dit komt niet door tegenvallende prestaties van de warmtevoorzieningsystemen, maar doordat in het ontwerpdocument niet alle verbruikende componenten waren meegenomen. Het uiteindelijke netto energieverbruik van de ZonWindKas komt daarmee op 7.9 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten per m<sup>2</sup> per jaar (6 m<sup>3</sup> voor de verwarming en 1.9 m<sup>3</sup> voor het elektriciteitsverbruik).

Het is reëel te stellen dat een verder verbeterd schermstelsel de warmtevraag nog verder zou kunnen terugbrengen, met name wanneer het scherm integraal in het ontwerp wordt opgenomen. Daarbij is het elektriciteitsverbruik zo laag dat het gemakkelijk uit duurzame bron zou kunnen worden ingevuld. Er kan dus zonder aarzeling gesteld worden dat van de ZonWindKas bijna energieneutraal is en gemakkelijk helemaal vrij van fossiele energie zou kunnen opereren.

De uiteindelijke investeringskosten voor de ZonWindKas zijn evenwel belangrijk hoger dan in het ontwerpdocument was vermeld. Bij een gasprijs van 21 cent per m<sup>3</sup> zou de investering volgens de geüniformeerde berekeningswijze niet terugverdiend kunnen worden en bij een gasprijs van 50 cent per m<sup>3</sup> wordt een terugverdientijd van 14.5 jaar berekend.

## SunergieKas

### Ontwerp

De SunergieKas is gericht op de teelt van vruchtgroenten en heeft daarom ingezet op een maximale lichttransmissie. Dit krijgt vorm door de keus voor een enkel glas kasdek dat voorzien is van een antireflectie coating. Zo'n enkel glas kasdek heeft een geringe isolatiewaarde, maar om het energieverlies in de winter te beperken is de SunergieKas uitgerust met dubbele schermen. Overdag worden die schermen geopend voor een maximale lichttransmissie en 's nachts kunnen ze gesloten worden voor een hoge isolatie.

De behoefte aan licht maakt dat het zomerse energie-overschot niet door middel van licht absorberende oppervlakken kan worden onttrokken (zoals bij de ZonWindKas), maar aan de kaslucht moet worden ontleend. Het temperatuurniveau waarop de energie beschikbaar komt is daarom niet hoger dan 20 °C. Dit betekent dat de energieopslag volumineus zal zijn en de verzamelde energie alleen via tussenkomst van een warmtepomp in de winter weer kan worden ingezet. Het ontwerp is daarom qua verwarmingstechniek gebaseerd op warmte/koude opslag in aquifers. Deze technologie maakt de laatste jaren een sterke opmars door zodat installateurs hier steeds meer ervaring mee krijgen.

Het feit dat de SunergieKas wordt verwarmd met een warmtepomp en het feit dat het zomerse warmte-overschot aan de kaslucht wordt onttrokken maakt dat er een grote behoefte is aan aandrijfenergie (volgens het ontwerpdocument 91 kWh elektriciteit per m<sup>2</sup> per jaar). Om deze efficiënt te produceren maakt de SunergieKas gebruik van een warmtekracht installatie. Deze WKK-installatie gebruikt op jaarbasis een aanzienlijke hoeveelheid gas (volgens het ontwerpdocument 31 m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> per jaar), maar de kas houdt op jaarbasis naar verwachting 81 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten over. Dit kan door derden als energiebron worden benut. De benutting van dit overschot door derden levert eenzelfde hoeveelheid energie besparing op hun verwarmingsbehoefte. Daarom levert de Suneriekas volgens de geldende rekenwijze een netto energieproductie van  $81 - 31 = 50$  m<sup>3</sup> aardgas equivalenten per m<sup>2</sup> per jaar.

De terugverdientijd wordt berekend op 5 jaar, waarbij er in het ontwerpdocument is uitgegaan van een gasprijs van 47 cent per m<sup>3</sup>.

### Realisatie

In het traject van ontwerpdocument naar de uiteindelijk gebouwde kas zijn op een aantal punten wijzigingen aangebracht die de investeringskosten fors verlaagd hebben. Het hoofddoel van de kas, namelijk de realisatie van een hoog-productieve kas voor vruchtgroenten is evenwel vastgehouden. De bevindingen met betrekking tot de SunergieKas zijn gebaseerd op een jaarronde teelt van tomaten.

Vanuit teeltkundig oogpunt is de teelt zeer goed verlopen. Tijdens dit meet- en demonstratieseizoen was de SunergieKas een toonaangevende kas voor de gesloten teelt van tomaten. De kas leverde een 10 % hogere opbrengst dan de tomatentelers.

De energieprestatie in termen van de hoeveelheid laagwaardige energie die aan derden geleverd kon worden was evenwel veel lager dan de verwachting die in het ontwerpdocument was geschetst. In plaats van de verwachte 81 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten bedroeg het aan derden te leveren overschot slechts 29 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten. Het primaire energieverbruik was echter ook wat lager dan in het ontwerpdocument, namelijk 27 m<sup>3</sup> aardgas per m<sup>2</sup> zodat er toch nog een kleine netto energieproductie overbleef.

Hoewel veel minder dan verwacht is het overschot aan laagwaardige warmte zeer groot. 29 m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> per jaar betekent dat 2 hectare SunergieKas voldoende warmte oogst om een grote nieuwbouwwijk van laagwaardige te voorzien indien de woningen met warmtepompen zouden worden verwarmd. Als het warmte-overschot niet aan een woonwijk zou worden geleverd maar aan andere tuinbouwbedrijven (wat als veel realistischer wordt beoordeeld) zou 1 hectare Suneriekas 2.3 ha standaard kassen (maar met goede scherminstallaties en verwarmd met een warmtepomp) van laagwaardige warmte kunnen voorzien.

Door allerlei factoren die in de uiteindelijke realisatie minder gunstig uitvielen dan in het ontwerp was aangenomen bleek het economisch perspectief van de Suneriekas kleiner dan verwacht. Dit ondanks de lagere investeringskosten. Bij een gasprijs van 47 cent werd aan de hand van de gegevens uit de demo een terugverdientijd van 8 jaar berekend (in plaats van de 5 jaar die bij die gasprijs in het ontwerpdocument was genoemd). Bij een gasprijs van 50 cent per m<sup>3</sup> is de berekende terugverdientijd 6.6 jaar.

## **FlowdeckKas**

### **Ontwerp**

De FlowdeckKas is eveneens ontworpen met het oog op de groenteteelt. Ook hier is de lichttransmissie van groot belang maar gegeven de doelstelling om op jaarbasis een netto energie-overschot te genereren moet er ook hier een goede isolatie worden bewerkstelligd. Om deze twee doelstellingen te verenigen is de FlowdeckKas voorzien van een dubbelwandige kanaalplaat die 's nachts een hoge isolatie geeft en overdag, door de vulling van deze plaat met water, een hoge lichttransmissie.

De FlowdeckKas wordt zoveel mogelijk gesloten gehouden waardoor er gedurende de zomer warmte aan de kaslucht moet worden onttrokken. Deze onttrokken warmte (op een temperaturniveau van ongeveer 18 °C) wordt in een warmte/koude opslagsysteem bewaard voor de winter. Naast dit innovatieve kasdek is de FlowdeckKas uitgerust met een standaard WKK-installatie waarmee niet alleen warmte, elektriciteit en CO<sub>2</sub> voor eigen gebruik wordt geproduceerd, maar ook ten behoeve van de levering aan derden.

Het ontwerpdocument noemt een netto energieproductie van 25 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten. De energielevering bestaat voor 32 % uit de levering van heet water (90 °C), 40 % in de vorm van lauw water (45 °C) en 28 % in de vorm van elektriciteit.

Qua economisch perspectief vermeldt het ontwerpdocument een terugverdientijd van 5 jaar, berekend bij een gasprijs van 31 cent per m<sup>3</sup>.

### **Realisatie**

Over de tijdspanne tussen de ontwikkeling van het ontwerp en de realisatie op het IDC heeft het consortium een belangrijke wijziging in de benadering van de Energieproducerende kas doorgevoerd. In plaats van een ontwerp dat gericht was op een hoge energie-input die goed gecompenseerd werd door een hoge energie-output, is gekozen voor een model dat juist een zo klein mogelijke energietoevoer nodig heeft en desondanks een ruim compenserende output. Hierdoor is de uiteindelijke realisatie meer zelfvoorzienend en minder afhankelijk van de inkoop- en verkoopmarkten voor elektriciteit, gas, heet water en laagwaardige warmte.

Uit de analyse van de metingen aan de realisatie van de FlowdeckKas blijkt dat deze benadering goed gelukt is. De lage warmtebehoefte van de kas (slechts 16 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten per m<sup>2</sup> per jaar) springt direct in het oog. Dit lage verbruik was mogelijk door het dubbelwandige kasdek en de ontvochtiging met warmteterugwinning middels de Regain Installatie. Het watervoerende dek heeft echter de gehele meetperiode niet gewerkt zodat de hoge lichttransmissie overdag en de warmteonttrekking met het kasdek niet bestudeerd konden worden. De verminderde lichtdoorlatendheid heeft de productie benadeeld. De productiederving is ingeschat is op 5 % ten opzichte van een gangbare tuinder. De lagere lichttransmissie heeft ook geleid tot een kleiner warmte-overschot, maar er zijn geen meetgegevens op grond waarvan dit effect gekwantificeerd kan worden.

Voor de aandrijving van de warmtepomp, de luchtbehandelingsinstallaties en de circulatiepompen gebruikt de FlowdeckKas 47 kWh per m<sup>2</sup> per jaar. Deze elektriciteitshoeveelheid wordt voortgebracht door een WKK-installatie die daarbij 13 m<sup>3</sup> aardgas gebruikt. Uit de metingen komt naar voren dat met de FlowdeckKas een warmteoverschot van 20 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten per m<sup>2</sup> in de vorm van naar 16 °C opgewarmd grondwater is voortgebracht. De netto energieproductie is dan 20-13 = 7 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten per m<sup>2</sup> per jaar.

Ook voor de FlowdeckKas geldt dat de economische prestaties die uit de gerealiseerde werking naar voren komen ongunstiger zijn dan verwacht in het ontwerpdocument. Bij een gasprijs van 31 cent per m<sup>3</sup> blijkt de terugverdientijd 12.5 jaar. Bij een gasprijs van 50 cent per m<sup>3</sup> is de terugverdientijd van de FlowdeckKas, berekend volgens de geüniformeerde methode iets minder dan 6 jaar.



Daar waar de ZonWindKas gekenmerkt kan worden door een hoge mate van autarkie zijn de SunergieKas en de FlowdeckKas voor hun energieprestatie afhankelijk van een partij die de laagwaardige warmte gebruikt en te gelde maakt. Omdat voor deze twee kassen de interactie met anderen essentieel is wordt hier in hoofdstuk 6 expliciet op ingegaan en wordt beargumenteerd dat een symbiose van een energieproducerende kas met een 'open' kas (een standaardkas, die met een WKK aangedreven warmtepomp wordt verwarmd) de meest waarschijnlijke toepassingsvorm is. Qua beoordeling van de energie-prestatie moet dan gekeken worden naar de gewogen gemiddelde prestatie van de twee in symbiose opererende kassen (of kasafdelingen). Het blijkt dan dat een combinatie van een SunergieKas met een open kas tot een 58 % verlaging van de benodigde energie-input leidt en het gebruik van de combinatie van een FlowdeckKas met een open kas tot een 70 % reductie van de energie-input.

De ZonWindKas leidt met 82 % reductie tot de grootste verbetering van de energie-efficiëntie.

Hoewel de energieprestaties groot zijn en de techniek met vertrouwen toegepast zou kunnen worden (met uitzondering van het watervoerende kasdek, wat feitelijk niet gewerkt heeft) kunnen onder de huidige economische omstandigheden geen van de drie ontwerpen in de huidige vorm in de praktijk worden uitgerold. Wel zullen elementen die in de demo's zijn beproefd hun weg vinden. Mede door het IDC vinden het gebruik van slurven onder het gewas voor de ontvochtiging, verneveling, meerdere schermlagen, proportionele lichtintensiteit-regeling en gedeeltelijke koeling hun weg.

Het consortium van de ZonWindKas ziet daarnaast mogelijkheden om fors te besparen op de kosten van het warmteopslagsysteem en ook de overige meerkosten aanzienlijk te verlagen. Na uitwerking van deze verbeteringsopties volgt de mogelijkheid tot een demonstratie van een aangepast ontwerp op praktijkschaal.

Onder de huidige marktomstandigheden is het voor de gemiddelde tuinder aantrekkelijker om zijn energiekosten in de hand te houden middels verstandige handel in energie dan middels een sterk verhoogde zelfvoorziening met behulp van zonne-energie.

In plaats van hoge investeringen in duurzame energie en lage variabele kosten in verband met het beperkte resterende verbruik is het economisch perspectief voor een tuinbouwbedrijf met een hoge gas-inkoop (ordegrootte 50 m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> per jaar) en grote elektriciteitsverkoop (ordegrootte 150 kWh per m<sup>2</sup> per jaar) in de meeste gevallen gunstiger.

## 2 Inleiding

Ter realisatie van de verduurzamingsambities van de tuinbouwsector<sup>1</sup> onderscheidt het onderzoeksprogramma Kas als Energiebron een zevental transitiepaden. Deze zijn in weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1. De 7 transitiepaden van het onderzoeksprogramma Kas als Energiebron

Gezien het hoge ambitieniveau zullen bijdragen uit alle 7 paden nodig zijn. Daarbij zullen er nog veel ontwikkelingen in gang moeten worden gezet en zullen de actoren in de sector goed van informatie moeten worden voorzien. Er zijn dan ook veel partijen bij de uitwerking van het onderzoeksprogramma betrokken (LTO Glaskracht Nederland, het Productschap Tuinbouw, het Ministerie van Landbouw Natuurbeheer en Voedselkwaliteit, uitgevers, kennisinstellingen, adviesbureaus). Ter stimulering van nieuwe ontwikkelingen en in het kader van een snelle kennisdoorstroming is in 2006 is besloten tot de oprichting van het Innovatie- en Democentrum (IDC). Dit IDC biedt de faciliteit om drie prototypen die in de ontwerp-wedstrijd Kas als Energiebron door de jury van deze wedstrijd als meest perspectiefvol zijn beoordeeld te beproeven en te demonstreren op semi-praktijkschaal. Door de ontwerpen daadwerkelijk te bouwen fungeert het IDC als katalysator voor technologische innovaties. De focus ligt daarbij uitdrukkelijk op het demonstreren van technologische ontwikkelingen gericht op het terugdringen van het absolute fossiele energiegebruik en daarmee ook van de CO<sub>2</sub>-emissie naar de atmosfeer. Het Innovatie- en Democentrum heeft daarnaast belangrijke functie in het verzamelen en verspreiden van de opgedane kennis.

In de ontwerpwedstrijd werd als randvoorwaarde gesteld dat de kassen bij voorkeur netto energieproducerend moesten zijn, maar ten minste energieneutraal. Met 'energieneutraal' wordt 'netto energieproductie 0' bedoeld. Zo levert het Innovatie- en Democentrum een fysiek beeld van beschikbare technieken en/of prototypen als toekomstige mogelijkheden voor een energieproducerende glastuinbouw.

Behalve als demonstratieobject dienen de drie demo's ook als testopstelling. Met de meetgegevens uit deze kassen vormt de jury van de ontwerpwedstrijd zich een oordeel over de vraag of gebouwde kassen de verwachtingen die in de ontwerpdocumenten zijn geschetst in voldoende mate waarmaken.

Dit onderzoeksrapport vermeldt de resultaten die over een jaarrondperiode met de drie ontwerpen behaald zijn en plaatst deze tegenover de verwachtingen die in de ontwerpdocumenten zijn verwoord.

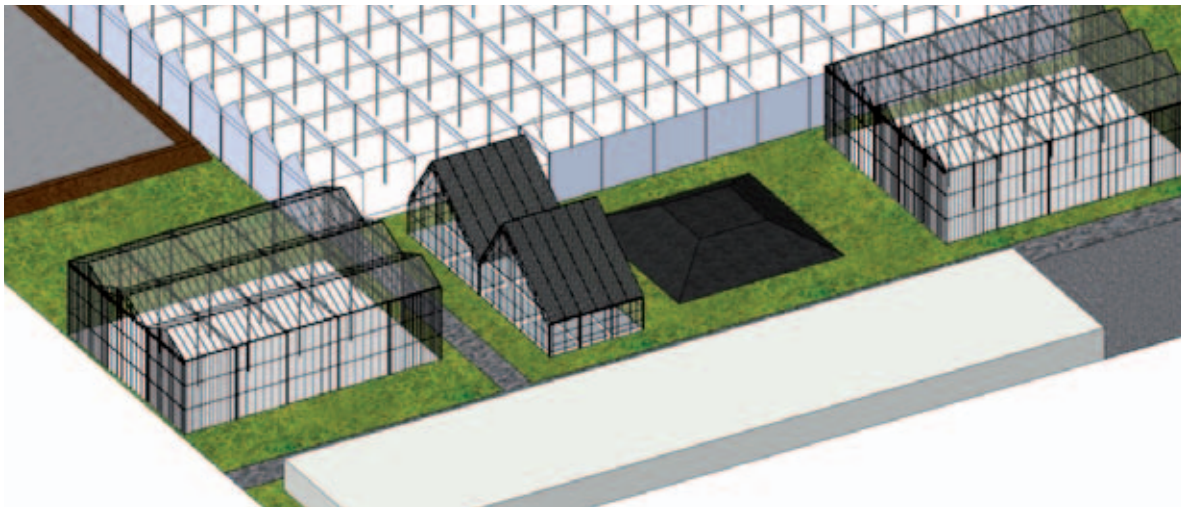
Alvorens in detail op de verwachtingen en gerealiseerde resultaten kan worden ingegaan moeten allerlei begrippen die rond het thema 'Energieproducerende kas' worden gebezigd worden verhelderd. Vaak wordt de 'Energieproducerende kas' min of meer synoniem gesteld aan 'Energieneutraal' of 'Fossiele energie vrij' en wordt een energieproducerende kas direct ook 'Energie-efficiënt' genoemd. Deze begrippen zijn evenwel geenszins synoniem, en omdat de drie demo's allemaal verschillende relaties tot deze begrippen hebben, worden deze begrippen in hoofdstuk 3 eerst uitgebreid besproken en gedefinieerd.

1 De concrete ambities zijn:  
(a) alleen nog energieneutrale kassen bij nieuwbouw in 2020  
(b) een reductie van de jaarlijkse CO<sub>2</sub>-emissie naar 3.6 Mton (dat is een reductie van 48 % t.o.v. 1990) en  
(c) de verhoging van het aandeel duurzame energie naar 20 %

Alle drie de te beproeven concepten (ZoWaKas, ZonWindKas en FlowdeckKas) kennen in meer of mindere mate innovatieve elementen die afwijken van de huidige praktijk. De deelnemende consortia hebben daarom in de ontwerpfase hun toevlucht genomen tot simulatiemodellen om de verwachtingen voor de prestatie van hun ontwerp te kunnen schetsen. De resultaten van deze berekeningen worden voor alle drie de kassen besproken in hoofdstuk 4. Er wordt stilgestaan bij de verwachte energieprestaties, de kwaliteit van het kasklimaat en het verwachte economisch rendement.

Een complicerende factor in de beschouwing op het economisch rendement is dat alle partijen verschillende economische kentallen hebben gehanteerd en niet altijd dezelfde rekenmethode. Daarom worden in een vergelijkende paragraaf alle economische berekeningen herhaald, maar dan bij geüniformeerde uitgangspunten. Het blijkt dat de economische prestatie voor alle ontwerpen afhankelijk is van de energieprijis, maar steeds op een andere manier.

De uitwerking van de door de jury als meest perspectiefvol aangewezen ontwerpen heeft geleid tot drie kassen op het IDC-terrein. Deze zijn geschetst in onderstaande figuur.



*Figuur 2. Schets van de kassen op het IDC-terrein*

Van links naar rechts zijn dit de FlowdeckKas van 550 m<sup>2</sup>, de ZonWindKas van 280 m<sup>2</sup> en de SunergieKas, die eveneens 550 m<sup>2</sup> beslaat. De aldus gerealiseerde kassen zijn een half jaar tot een jaar gemonitord zodat er onderbouwde uitspraken kunnen worden gedaan over feitelijk gerealiseerde prestaties.

Deze gerealiseerde prestaties worden besproken in hoofdstuk 5. Voor elk van de drie kassen wordt eerst stilgestaan bij wijzigingen in het uiteindelijk gerealiseerde object ten opzichte van het oorspronkelijk opgestelde ontwerp. Vervolgens worden de praktische resultaten gepresenteerd en vergeleken met de oorspronkelijke verwachtingen.

Voor de realisaties blijkt dat de praktische resultaten behoorlijk achterblijven ten opzichte van de verwachtingen. Het realiseren van een hoge energieproductie tegen lage kosten en met behoud van een goed teeltresultaat blijkt weerbarstiger dan op papier van tevoren was bedacht.

Ook hier worden de economische perspectieven van de demo's zoals ze gebouwd zijn volgens een geüniformeerde procedure berekend en vergeleken met de vooraf berekende verwachtingen.

In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op het gebruiksperspectief van energieproducerende kassen in een breder verband. Hier wordt de techniek die op het IDC is beproefd ook in een breder verband geplaatst.

Hoofdstuk 7 beschrijft de vervolgplannen van de drie deelnemende consortia en hoofdstuk 8 presenteert enkele nabeschouwingen en de meest algemene conclusies.

### 3 Energieproducerende kassen

Het begrip Energieproducerende kas is nu zo'n acht jaar in gebruik. Oorspronkelijk was het begrip bedoeld voor kassystemen die meer energie aan 'derden' leveren dan dat zij zelf aan primaire energie verbruiken. Het publicitair succes van het beeld van de energieproducerende kas was echter dusdanig groot dat dit label ook gebruikt werd voor innovatieve initiatieven zoals de Greenport Kas in Venlo en zelfs voor de inmiddels bijna standaard geworden situatie waarbij kassen door middel van WKK elektriciteit leveren voor het openbare net. Met instemming van de stuurgroep 'Kas Als Energiebron' is er daarom gaandeweg een onderscheid gemaakt tussen 'gewone' energieproducerende kassen (WKK kassen, Greenport kas Venlo, Porta Nova en initiatieven zoals die van Gert-Jan van de Weijden en de Prominent groep in 's Gravenzande) en 'netto' energie producerende kassen. Wat voorheen met Energieproducerende Kas werd bedoeld komt dus overeen met wat nu een Netto Energie Producerende kas wordt genoemd.

In de bovenstaande beschrijving wordt de mate van energieproductie berekend door de geleverde megajoules af te zetten tegen de megajoules die met de ingekochte energie zijn toegevoerd. Er wordt in deze berekening geen aandacht gegeven aan de kwaliteit van de geleverde energie.

Het kwaliteitsniveau van energie is echter een wezenlijk aspect. Met 1 kWh elektriciteit kan bijvoorbeeld 10 liter water aan de kook gebracht worden, maar 10 liter kokend water kan nooit meer 1 kWh elektriciteit voortbrengen<sup>1</sup>. 1 kWh elektriciteit en 10 liter water van 100 °C vertegenwoordigen beiden 3.6 MJ (voor 1 kWh elektriciteit is dat exact en voor 10 liter water hangt dat af van de gekozen referentietemperatuur, in dit geval 14 °C) maar het kwaliteitsniveau van 1 kWh elektriciteit (kracht) is veel groter dan die 10 liter heet water (warmte).

Indien kassen volgens de definitie netto energieproducerend zijn betekent dit dus niet automatisch dat elektriciteits- of gasmeters 'achteruit gaan lopen'. Er zal altijd sprake zijn van een degradatie in energie-kwaliteit. Aan de consequentie hiervan wordt nader aandacht besteed in hoofdstuk 6, waar de drie demo-kassen in een gebruiksperspectief worden geplaatst.

De drie objecten op het IDC zijn bedoeld als netto energieproducerende kassen. De FlowdeckKas en de SunergieKas beogen meer energie in de vorm van warm water te leveren in vergelijking met de hoeveelheid ingekocht aardgas. De ZonWindKas heeft ingezet op netto 0 levering, waarmee wordt bedoeld dat de kas geen energie levert, maar ook geen fossiele energie kost. De voor de aandrijving van de pompen benodigde elektriciteit wordt in het concept ZonWindKas geleverd door een windmolen die niet noodzakelijkerwijs op het terrein van de kas staat. De windmolen is namelijk niet fysiek geïntegreerd met de kas.

Waar deze molen ook staat, de betrokken elektriciteit kan gelabelled worden als groene stroom en het is hierdoor dat de ZonWindKas in de ontwerpdocumenten energieneutraal genoemd wordt.

Het gebruik van een windmolen om het predicaat 'energieneutraal' te kunnen invullen zonder dat deze met de kas geïntegreerd hoeft te zijn opent de deur voor elke kas om energieneutraal te worden. Energieneutraliteit is hiermee gereduceerd tot een financiële kwestie en geen ontwerp-issue meer. Het is heel goed mogelijk om bestaande kassen met zo'n 30 liter biodiesel per m<sup>2</sup> per jaar te verwarmen. De productiekosten zouden dan met ongeveer 25 euro per m<sup>2</sup> toenemen en als deze kostentoeename zou worden doorberekend aan de uiteindelijke afnemer van het product zou bijvoorbeeld een kilo tomaten € 0.50 duurder worden.

De inkoop van groene energie (in de vorm van groen gas of groene stroom) kan weliswaar als fossiele energie vrije energie-inkoop worden aangemerkt maar de beschikbaarheid van groene energiedragers is zeer beperkt, zodat het gebruik ervan voor de ene toepassing de benutting voor een andere toepassing uitsluit.

---

1 Een warmtemotor die in oneindig veel tijd en met 100 % efficiëntie de warmte uit water van 100 °C omzet in kracht (elektriciteit) zou dit bij een omgevingstemperatuur van 20 °C met 20 % rendement kunnen doen. De praktische omzettingrendementen in dit soort omstandigheden leiden tot een rendement van 5 tot 8 % zodat met die 10 liter kokend water 0.05 tot 0.08 kWh elektriciteit gemaakt zou kunnen worden.

Anders geformuleerd; het is met de huidige verhouding tussen aanbod en vraag onmogelijk om een substantieel deel van de totale energievraag in Nederland op fossiele energie vrije wijze in te vullen.

Om een zuivere analyse van de energiestaat van nieuwe concepten te maken wordt er daarom in de analyse in deze rapportage geen onderscheid gemaakt tussen de herkomst van ingekochte energie-commodities. Dit betekent dat met groen gas net zo zuinig om moet worden gegaan als met 'grijs' gas en dat groene stroom net zo waardevol is als 'grijze' stroom.

Wanneer deze uitgangspunten gehanteerd worden, kunnen groene commodities en 'grijze' commodities onder één noemer gebracht worden. In dit document is gekozen voor de in de tuinbouw meest gehanteerde energie-groetheid en dat is de m<sup>3</sup> aardgas equivalenten.

Het gemiddelde omzettingsrendement waarmee in Nederland fossiele energie (steenkool, gas) tot elektriciteit bij de afnemer wordt omgezet bedraagt op dit moment 43 %. Met het gegeven dat een normaal m<sup>3</sup> aardgas 31.65 MJ warmte vertegenwoordigt, waarmee met het genoemd rendement elektriciteit kan worden gemaakt, kan elke kWh elektriciteit die door de kassen van het IDC wordt ingekocht of geleverd gelijk worden gesteld aan 0.265 m<sup>3</sup> aardgas.

Door groene energiecommodities, zo nodig met behulp van omrekeningsfactoren, equivalent te maken aan grijze energiecommodities worden energie-efficiëntere systemen duidelijk onderscheidend van minder energie-efficiënte systemen. De ZonWindKas, die op grond van de bevindingen in de afgelopen proefperiode niet meer dan 7 kWh stroom per m<sup>2</sup> per jaar zal gebruiken en 6 m<sup>3</sup> aardgas gebruikt dan nog geen 8 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten per m<sup>2</sup> per jaar aan hoogwaardige energie waar een standaard potanturiumkweker 36 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> per jaar voor de teelt gebruikt<sup>1</sup>.

Het begrip energie-efficiëntie krijgt pas inhoud als het in vergelijkende zin wordt gebruikt en wanneer er naar vergelijkbare (fysieke of economische) output wordt gekeken, dus bij potplanten moet de energie-efficiëntie kunnen worden uitgedrukt in de hoeveelheid hoogwaardige energie per afgeleverde plant en bij groente per kilo of stuks. Bij een gemiddelde jaarproductie van 18 potanthuriums per m<sup>2</sup> per jaar geeft de ZonWindKas dus een verbetering van 2 m<sup>3</sup> a.e. per plant naar 0.44 m<sup>3</sup> a.e. per plant.

Voor de groentekassen, waar de concurrentie om licht voor groei en energieverzameling vele male groter is, laten de SunergieKas en de FlowdeckKas een verbetering zien van 0.6 m<sup>3</sup> a.e. per kg tomaat naar respectievelijk 0.25 en 0.18 m<sup>3</sup> a.e. per kg tomaat (deze getallen zijn gebaseerd op gebruikssituaties zoals in Figuur 30. geschetst, zie pagina 61).

Om de eenduidigheid in terminologie die in dit rapport gehanteerd wordt te vergroten worden in onderstaande tabel de verschillende energietermen op een rijtje gezet en van een definitie voorzien.

- **Energieproducerende kas**

Een tuinbouwkas (of deel daarvan) die behalve gewassen ook energie in een voor derden bruikbare vorm oplevert.

- **Netto energieproducerende kas**

Een energieproducerende kas (zie eerdere definitie) waarbij de geleverde hoeveelheid energie (in m<sup>3</sup> aardgas equivalenten, ongeacht de kwaliteit van die energie) meer is dan de voor het bedrijven van deze kas (of dit kasgedeelte) van buitenaf aangevoerde hoeveelheid aandrijfenergie. De aandrijfenergie is daarbij eveneens uitgedrukt in m<sup>3</sup> aardgas equivalenten en is de som van de gebruikte gashoeveelheid en de gebruikte primaire energie middels de elektriciteitsinkoop. De ingekochte elektriciteit wordt daarbij met de gemiddelde omzettingsefficiëntie van het nationale elektriciteitsnet omgerekend (dat is 0.265 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten per kWh).

---

1 Uit: Kwantitatieve informatie voor de tuinbouw, aangevuld met 2 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten ten behoeve van een elektriciteitsverbruik van 8 kWh

- **Energie neutraliteit**

Een situatie waarin een bedrijf een gelijke hoeveelheid én kwaliteit van energie aan derden levert dan er van buiten af aan wordt toegevoerd. Gegeven het feit dat er bij omzetting van energiedragers altijd conversieverliezen zullen optreden, kan dit strikt genomen dus alleen bereikt worden als er binnen de grenzen van het bedrijf zélf daadwerkelijk opwekking van duurzame energie plaatsvindt (bijv. via met de kas geïntegreerde windturbines, PV-cellen of zonthermische panelen, evt. aardwarmte).

- **Fossiele energie vrij**

Het doen laten werken van productiesystemen zonder gebruik te maken van fossiele energiedragers. Voor elke nu bekende fossiele energiedrager zijn substituten uit niet-fossiele bron voorhanden. Echter, gezien het zeer beperkte aandeel van niet-fossiele energiedragers in de huidige totale brandstofmix betekent de inzet van niet-fossiele energie voor de ene toepassing dat het voor een andere toepassing niet gebruikt kan worden. Het fossiel vrij maken van de glastuinbouw zonder ook het verbruik aan primaire energie fors te verlagen zal dan ook concurreren met de duurzaamheidsdoelstellingen van andere sectoren. Ter illustratie van de ordegrootten is het bijvoorbeeld goed om te weten dat bij invulling van de huidige energiebehoefte van de belichte rozenteelt met bijvoorbeeld biodiesel een areaal van 500 ha bouwland per ha rozenkas nodig is.

Het belang van de beperking van de behoefte aan primaire energiedragers maakt dat in dit rapport 'groene' energiecommodities niet anders worden gewaardeerd dan het verbruik van 'grijze' energiecommodities.

- **Energie-efficiëntie**

De hoeveelheid hoogwaardige aandrijfenergie (elektriciteit, gas, evt. diesel en allemaal omgerekend naar m<sup>3</sup> aardgas equivalent) per eenheid product.

## 4 Kernpunten en verwachtingen van de drie ontwerpen

De drie demonstratiekassen van het IDC behoren tot de als beste beoordeelde kasontwerpen voor netto energieproducerende kassen. Het hoogst geëindigde ontwerp was de ZonWindKas, vooral omdat dit ontwerp een autarkisch karakter heeft. Het ontwerp belooft namelijk dat de kas geheel in zijn eigen warmtebehoefte kan voorzien met een minimale vraag aan extern aangeleverde elektriciteit. De SunergieKas (die indertijd onder de naam ZoWaKas in de ontwerpwedstrijd is ingediend) eindigde als tweede. Het derde demo-object, de FlowdeckKas viel aanvankelijk buiten de prijzen omdat deze op de vierde plaats was geëindigd, maar omdat het ontwerp dat als derde was geëindigd zich terugtrok, kon de FlowdeckKas alsnog op het IDC gebouwd worden.

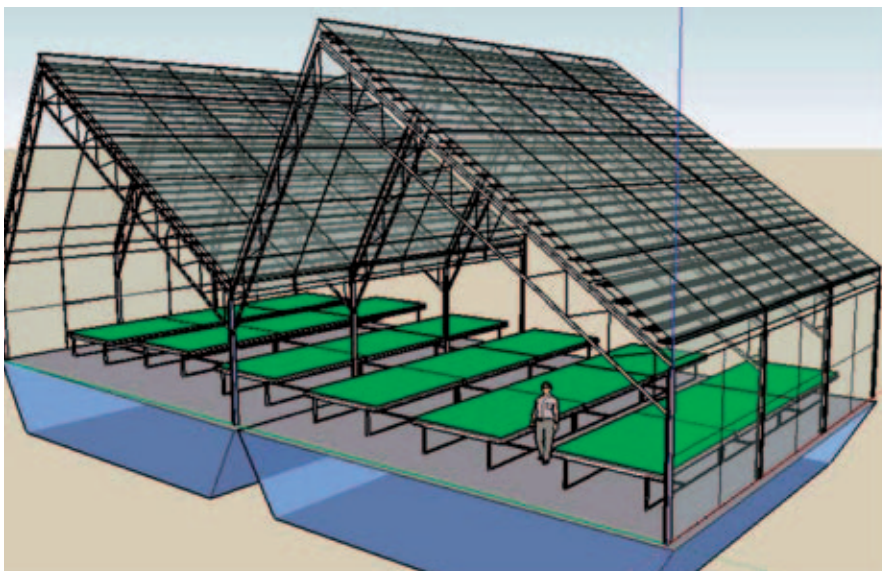
In dit hoofdstuk worden de drie ontwerpen in volgorde van honorering door de jury besproken. Er wordt ingegaan op de hoofdkenmerken die door de ontwerpconsortia zijn aangevoerd en op de verwachte resultaten, zowel qua energiekentallen als qua economisch perspectief.

Omdat alle ontwerpen van verschillende economische randvoorwaarden zijn uitgegaan wordt in paragraaf 4.4 vermeld hoe de economische perspectieven zouden zijn geweest bij geüniformeerde uitgangspunten.

### 4.1 ZonWindKas

#### 4.1.1 Algemeen

De ZonWindKas is gericht op de verduurzaming van de teelt van schaduwminnende potplanten. Voor dit tuinbouwsegment is het kenmerkend dat gedurende de zomermaanden grote hoeveelheden zonlicht via reflecterende schaduwschermen uit de kas worden gehouden. De kern van de ZonWindKas is dat deze schaduwschermen worden vervangen door draaibare, zonlicht absorberende lamellen. De lamellen zijn watervoerend en bij felle zonneschijn kunnen ze haaks op de zon gedraaid worden. Het water in de lamellen warmt dan op zodat er water op hoge temperatuur (65 °C) uit het systeem kan worden afgetapt. Onderstaande figuur toont een schets van het ontwerp van de ZonWindKas.



*Figuur 3. Schets van de ZonWindKas. De grote dakvlakken zijn gericht op het zuiden en bevatten draaibare lamellen. Onder de kas bevindt zich een waterbassin waar opgewarmd water voor lange tijd kan worden bewaard*

In het voorontwerp is berekend dat bij spaarzaam stookbeleid de hoeveelheid warmte die met de lamellen aan het zonlicht kan worden onttrokken voldoende is om de jaarlijkse warmtebehoefte van de kas te dekken. In het voor- en najaar zullen dagen waarop de dagproductie van warmte groter is dan de dagelijkse vraag worden afgewisseld door dagen waarop de dagproductie kleiner is dan de vraag. Voor de opslag van warmte over deze korte tijdspannen is weinig fysieke ruimte nodig. In de winter zullen er echter vele dagen achtereen zijn waarop er geen warmte verzameld kan worden en er veel warmte gevraagd wordt.

Aan de hand van een rekenmodel, dat gevoed is met de klimaatdata van 2005 en met de aanname dat de kas gedurende de nacht op 19 °C en overdag op 22 °C wordt gehouden, is in het voorontwerp berekend dat ter overbrugging van deze langdurige warmtevraagperiode een warmteopslagsysteem met een capaciteit van 400 MJ per m<sup>2</sup> kasoppervlak gebruikt moet worden. Uitgaande van een temperatuurverschil van 35 °C tussen een opgewarmde en een afgekoelde buffer met water als opslagmedium betekent dit dat er een opslagvolume van 2.7 m<sup>3</sup> water per m<sup>2</sup> kas beschikbaar moet zijn. Deze 35 °C is gebaseerd op een aangenomen volumegemiddelde retourtemperatuur van het verwarmingswater van 25 °C en een temperatuur van 60 °C in de warme buffer.

In Figuur 3. is te zien dat het voor de maakbaarheid van het opslagsysteem noodzakelijk is dat er schuine taluds worden aangebracht waardoor de bodem van het opslagsysteem bij een effectieve opslagcapaciteit van 2.7 m<sup>3</sup> water per m<sup>2</sup> kas op 3 meter diepte komt te liggen.

De berekeningen in het ontwerpdocument laten zien dat het plausibel is te verwachten is dat de warmteproductie van de lamellen voldoende is om zo'n ondergronds opslagsysteem voor het begin van de winter geheel gevuld te hebben.

De constructie van het kasdek van de ZonWindKas is zwaarder dan de constructie van een standaardkas. Dit betekent dat de lichttransmissie, ook bij geopende lamellen, lager zal zijn dan de lichttransmissie van een standaard breedkapper. In het ontwerpdocument wordt er van uitgegaan dat de basistransmissie van het kasdek 12 % punt lager uit zal vallen dan de lichttransmissie van een standaard breedkapper (dus 61.5 % in vergelijking met de 73.5 % die voor een breedkapper wordt genoemd). Een groot deel van het jaar is deze verlaging van de lichttransmissie voor schaduwminnende teelten geen probleem. Het betekent vooral dat er wat minder geschermd moet worden<sup>1</sup>.

Het ontwerp voor de ZonWindKas voorzag in de plaatsing van een 660 kW windturbine voor een kas van 2 ha. Dit betekent een geïnstalleerd elektrisch vermogen van 33 W/m<sup>2</sup>. Zo'n capaciteit zal per jaar volgens het ontwerpdocument 60 kWh per m<sup>2</sup> aan elektriciteit opleveren. Dit is veel meer dan de 3 kWh per m<sup>2</sup> per jaar die als verbruik van de kas geprognoseerd is zodat er een jaarlijks elektriciteitsoverschot van 57 kWh per m<sup>2</sup> per jaar ontstaat. Er wordt in het document geen argumentatie gegeven voor de gemaakte keus t.a.v. het windmolenvermogen, anders dan dat er over deze molen gemakkelijk toegankelijke prestatiegegevens voor handen waren.

Indien de windmolen als een onderdeel van de kas wordt beschouwd is de afmeting van de windmolen zeer sterk bepalend voor de energieproductie van de kas, maar omdat er geen beslissingsgrond voor de keus van de capaciteit van de molen wordt gemaakt, wordt daarmee de energieproductie die aan de ZonWindKas toegerekend moet worden eveneens arbitrair. Bij de verhandeling over de economische verwachtingen wordt daarom het plaatje met en zonder de windmolen geschetst, en zal blijken dat de afmeting van de windmolen vrijwel geen invloed heeft op het financieel resultaat.

Samenvattend noemt het ontwerpdocument voor de ZonWindKas de volgende kwantitatieve gegevens.

- waterbassin onder de kas heeft een inhoud van 2.7 m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> kas
- opgewarmd water is 60 °C, afgekoeld water is 25 °C.
- dit biedt een warmteopslagcapaciteit van 400 MJ/m<sup>2</sup>
- 400 MJ/m<sup>2</sup> (13 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten) is genoeg om de kas gedurende de winter te verwarmen met een dagtemperatuur van 22 °C en een nachttemperatuur van 19 °C
- De lichttransmissie van de kas is 61.5 %
- Het elektriciteitsverbruik van de kas bedraagt 3 kWh/m<sup>2</sup> per jaar
- Bij de kas staat een windmolen van 660 kW. Als de kas 2 ha is betekent dit een elektriciteitsproductie van 60 kWh per m<sup>2</sup> per jaar en dus een elektriciteitslevering van 57 kWh/m<sup>2</sup> per jaar

---

1 Indien de nagestreefde lichtintensiteit 6 mol PAR per m<sup>2</sup> per dag bedraagt geeft deze 12 %-punten verlaging van de basistransmissie slechts 3 % verlaging van de lichtsom in de kas.



## 4.1.2 Energetisch perspectief

Voor de ZonWindKas wordt verwacht dat deze geheel zonder additionele warmtetoevoer verwarmd kan worden en de installaties t.b.v. de warmteverzameling en energie-opslag zullen ongeveer 2 kWh per m<sup>2</sup> per jaar verbruiken. In het rapport wordt daarnaast nog 0.8 kWh verwacht voor de verwarmingspompen en enige luchtcirculatie. Het totale elektriciteitsverbruik van de kas wordt daarmee op bijna 3 kWh per m<sup>2</sup> per jaar gesteld.

Indien de bij het ontwerpdocument genoemde windmolen tot een integraal onderdeel van de kas wordt gerekend kan een kleine windmolen (een geïnstalleerd vermogen vanaf 20 kW voor 2 ha, ofwel 2 W/m<sup>2</sup>) de kas tot een netto energieleverende kas maken en zelfs tot een energieneutrale kas.

Er kan echter ook gesteld worden dat de windmolen geen integraal onderdeel van de kas vormt. In dat geval kan het ontwerp ZonWindKas tot een zeer energiezuinige kas gerekend worden. In vergelijking met een standaard potplantenteler (zonder assimilatiebelichting) die al gauw 35 m<sup>3</sup> aardgas per m<sup>2</sup> per jaar verbruikt en 10 kWh elektriciteit, is het aan de ZonWindKas toe te rekenen verbruik slechts het verbruik in verband met de elektriciteitsbehoefte en dat is nog geen 2 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten. De besparing is dan 95 %.

## 4.1.3 Bedrijfseconomisch perspectief

Om het economisch perspectief van de ZonWindKas te bepalen moeten de extra investeringskosten worden afgezet tegen de besparingen die op de variabele kosten worden gemaakt.

Het ontwerpdocument vermeldt de onderstaande meer-investeringen:

- het lamellensysteem: € 42 per m<sup>2</sup>
- de ondergrondse buffer (exclusief het grondwerk): € 35 per m<sup>2</sup>
- meerkosten voor de kasconstructie: € 20 per m<sup>2</sup>
- (de 33 W/m<sup>2</sup> windmolen: € 28 per m<sup>2</sup>)

maar ook een aantal minder-investeringen

- de scherminstallatie: € -10 per m<sup>2</sup>
- de ketel en toebehoren: € -11 per m<sup>2</sup>

Samengevat betekent dit dat bij nieuwbouw en een met de bouw meegenomen windmolen de ZonWindKas € 104 per m<sup>2</sup> duurder is dan een standaard potplantenkas. Zonder de windmolen bedragen de meerinvesteringen € 76 per m<sup>2</sup>.

Tegenover deze investeringen staan besparingen op variabele kosten. In het ontwerpdocument worden de volgende besparingen genoemd:

- besparingen voor gas en elektra (gebaseerd op een gasverbruik van 53 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> per jaar in de referentiesituatie en een gasprijs van 21 cent): € 11.27
- besparingen op scherm- en ketelonderhoud: € 1.80
- (elektriciteitslevering aan openbaar net (bij een stroomprijs van 8 cent/kWh): € 4.62)

maar ook extra variabele kosten

- onderhoud windmolen, ARRAC en waterbuffer: € -0.50

De besparing op variabele kosten bedraagt daarmee € 17.20 per m<sup>2</sup> per jaar.

Door deling van de investering door de jaarlijkse besparingen wordt een terugverdientijd van 6 jaar berekend. Er wordt opgemerkt dat in deze berekening geen kapitaalkosten zijn meegenomen (rente en afschrijving), maar dat er evenmin rekening is gehouden met stijgende energieprijzen die de jaarlijkse besparing zou laten groeien.

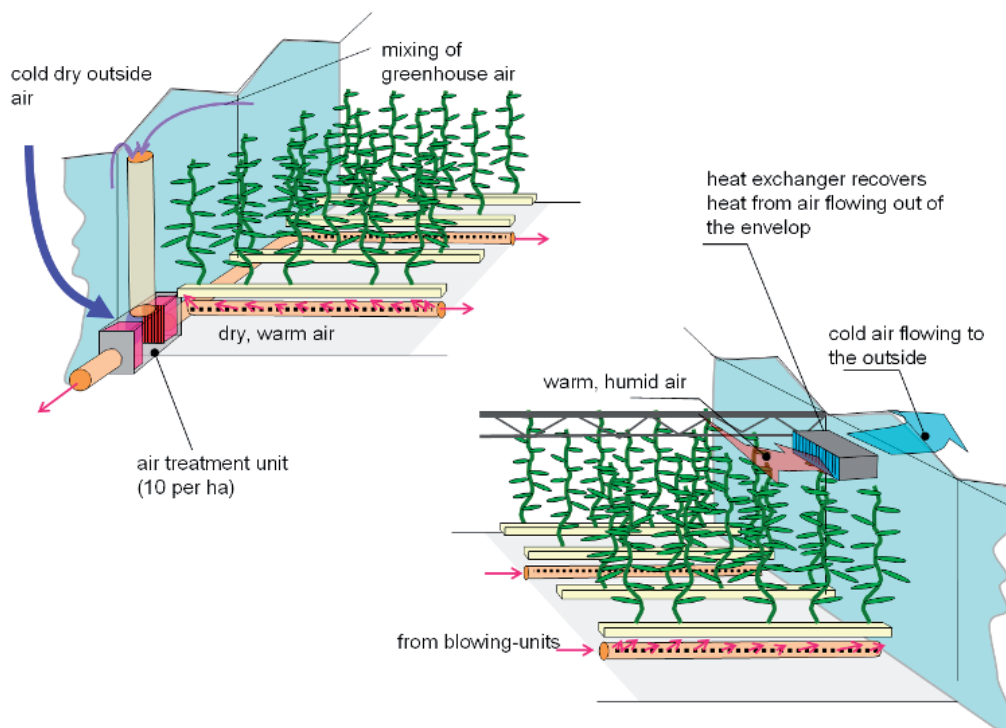
Als de berekening wordt gemaakt zonder de windmolen, en zonder de inkomsten uit elektriciteitsverkoop dan verandert de terugverdientijd niet, waardoor geconcludeerd kan worden dat het al dan niet toevoegen van een windmolen aan het concept bij de genoemde elektriciteitsprijs nauwelijks impact heeft op het economisch perspectief. Bij stijgende elektriciteitsprijs zal de terugverdientijd bij plaatsing van een molen afnemen, maar dat heeft feitelijk geen relatie met het kasontwerp. Het al dan niet plaatsen van een windmolen (of de deelname in een coöperatieve windmolen exploitatie) kan onafhankelijk van de investeringsbeslissingen rond de kas, teelt en inrichting worden gemaakt.

## 4.2 SunergieKas

### 4.2.1 Algemeen

De SunergieKas is oorspronkelijk ingediend als ZoWaKas (de zonnewarmte kas), maar is na de bouw omgedoopt in SunergieKas omdat deze naam beter internationaal landt. (In het Engels wordt de kas met Sunergy Greenhouse aangeduid).

De SunergieKas heeft als basis voor het ontwerp de gangbare energieproducerende kassen als uitgangspunt genomen (zoals de Energieproducerende Kas van Stef Huisman, de groentekas van Themato en bij "van der Lans"). Er is gewerkt vanuit het principe van de energieproducerende kas waarbij de verhouding tussen de output van energie en de input van aandrijfenergie kan worden gemaximaliseerd door de verliezen zo klein mogelijk te houden en de lichttoetreding zoveel mogelijk te bevorderen. Daarom is gekozen voor een enkel glas kas, voorzien van een AR-coating voor de maximale lichttoetreding en een dubbel energiescherm ter beperking van de warmteverliezen. De verwarming van de kas is gebaseerd op een warmtepomp, waardoor de in de zomer verzamelde warmte-overschotten, na opslag in een aquifer, kunnen worden ingezet voor de verwarming in de winter. Voor de ontvochtiging wordt gepleit voor het gebruik van buitenlucht in plaats van het intern circuleren van kaslucht langs een koud, condenserend oppervlak. Hierdoor wordt de verhouding tussen de energie-input en de warmte-output voor derden gemaximaliseerd.



Figuur 4. Schets van het interieur van de SunergieKas zoals die in het ontwerpdocument wordt voorgesteld. De slurven onder de teeltgoten zorgen voor koeling, verwarming en ontvochtiging

De SunergieKas is helemaal gericht op de groenteteelt, welke sterk gebaat is bij CO<sub>2</sub>-dosering. Dit is des te meer van belang voor een kas waarbij de lucht-uitwisseling met de buitenlucht zoveel mogelijk wordt beperkt (om warmte voor derden te kunnen verzamelen) omdat zonder luchtuitwisseling de CO<sub>2</sub> concentratie tot ver beneden de 350 ppm zou dalen, waardoor de groei bijna stil komt te staan. Voor deze CO<sub>2</sub>-bemesting wordt in het ontwerpdocument een warmtekracht installatie ingezet van 140 kWe per ha. Bij gebruik van een standaard rookgasreinigingsinstallatie levert zo'n machine 70 kg CO<sub>2</sub>-bemesting per ha per uur en dit is precies genoeg ter compensatie van een hoog productief groentegewas op een lichtrijke dag. De door de WKK installatie geproduceerde elektriciteit is tijdens de plateau-uren (op werkdagen tussen 07:00 en 23:00) goed te verkopen zodat de WKK alle plateau-uren op vollast wordt ingeschakeld. De meeste daluren zijn 's nachts en dan wordt de WKK alleen aangezet om te voorzien in de eigen elektriciteitsbehoefte. In de weekenden draait de WKK voor de eigen elektriciteitsvraag en de CO<sub>2</sub>-vraag.

Het ontwerpdocument berekent dat de WKK met deze strategie 6500 equivalente vollast-uren zal draaien (dus 75 % van de tijd) en dat deze machine daarbij 91 kWh/m<sup>2</sup> elektriciteit oplevert. Dit is vrijwel gelijk aan de verwachte jaarlijkse elektriciteitsbehoefte van de kas zodat de kas qua elektriciteitsbalans neutraal opereert. Vanuit economisch oogpunt wordt er evenwel uitgegaan van winst op de elektriciteitshandel omdat er vooral overdag wordt verkocht tegen het plateautarief terwijl er vooral tegen daltarief wordt ingekocht.

De zomerse warmte-overschotten die vanuit de kaslucht via warmtewisselaars worden verzameld worden opgeslagen in een aquiferdoublet. De koude bron van dit doublet is 10 °C en de warme bron wordt volgens het ontwerpdocument in de zomer op 20 °C gebracht. Er is in het ontwerpdocument een uitvoerige verhandeling opgenomen over de vraag of het bedrijfeconomisch interessant is om door de plaatsing van een groter warmte-uitwisselend oppervlak (dus meer warmtewisselaars) de temperatuur van de warme bron hoger te laten worden. Er werd aangetoond dat hierdoor weliswaar op pomp-energie kan worden bespaard, maar dat deze kostenverlaging, ook bij elektriciteitsprijzen die twee maal zo hoog zijn als op dit moment, niet in verhouding staat tot de toegenomen investeringskosten.

Van de combinatie van een hoge lichttoetreding (er wordt een overall lichttransmissie van 77 % verwacht) en de hoge CO<sub>2</sub>-concentratie die door het gesloten kaskarakter kan worden gerealiseerd wordt een zeer grote productiestijging van 23 % verwacht. Uiteraard telt deze productiestijging substantieel mee in de financiële onderbouwing van het ontwerp.

## 4.2.2 Energetisch perspectief

De besturing van het kasklimaat naar een voor het gewas zo gunstig mogelijke situatie vereist warmte (vooral in de winter), koude (voor koeling in de zomer) en kracht (voor de aandrijving van de pompen en ventilatoren en voor de aandrijving van de warmtepomp). Omdat van deze drie de kracht-behoefte de meest hoogwaardige vorm van energie vertegenwoordigt is in het ontwerp geredeneerd vanuit deze energie-input. De warmte/kracht installatie (WKK) staat daarom in het hart van het 'ketelhuis'. Behalve elektriciteit (kracht) levert de WKK-installatie ook de voor de groei benodigde CO<sub>2</sub> en een grote hoeveelheid afvalwarmte. Omdat de afvalwarmte van de WKK op een gemakkelijk bruikbaar niveau van 90 °C beschikbaar komt wordt deze warmte als basisverwarming ingezet, eventueel via etmaalbuffering in een bovengrondse warmte-opslag-tank. In het voorjaar, de zomer en het najaar dekt deze afvalwarmtestroom een belangrijk deel van de warmtevraag. De warmte die dan nog tekort is wordt aangevuld middels de warmtepomp. Soms zal het voor de warmtepomp benodigde vermogen groter zijn dan het elektrisch vermogen van de WKK. De warmtepomp gebruikt namelijk maximaal 20 W/m<sup>2</sup>, terwijl de WKK slechts 14 W/m<sup>2</sup> kan opwekken. In dat geval wordt er elektriciteit uit het net ingekocht. 's Nachts zijn de variabele kosten voor ingekochte elektriciteit vaak lager dan de integrale variabele kosten voor de eigen productie van stroom. Ook in die gevallen kan de SunergieKas stroom inkopen voor de aandrijving van de kas.

In het ontwerpdocument wordt aangegeven dat de verwachte jaarlijkse energie-input in de vorm van gas voor de WKK-installatie 31 m<sup>3</sup> aardgas per m<sup>2</sup> per jaar bedraagt. De inkoop uit en verkoop van stroom aan het openbare net is op jaar-basis in balans dus de hoogwaardige energie die hiermee gemoeid is (zowel voor de inkoop als de uitgespaarde primaire energie bij verkoop) valt tegen elkaar weg.

De hoeveelheid warmte die aan het eind van een jaarronde beschikbaar is voor derden bedraagt volgens het ontwerpdocument 2566 MJ (81 m<sup>3</sup> a.e.). De afnemers van deze energie krijgen dit op een temperatuurniveau van 20 °C beschikbaar en worden geacht dit weer op 10 °C terug te brengen in de koude bron. De netto energieproductie die verwacht wordt volgt uit het verschil tussen input en output en bedraagt 81-31 = 50 m<sup>3</sup> a.e.

Het warmteoverschot is zeer groot zodat het rapport suggereert dat een warmteoverschot van deze omvang gebruikt zou moeten worden voor buurkassen of -afdelingen. Dit zou betekenen dat naast 1 hectare SunergieKas 5.8 hectare standaardkas zou moeten komen te staan.

Samenvattend kunnen uit het ontwerpdocument voor de SunergieKas de volgende kenmerken worden gedestilleerd.

- De kas heeft een lichttransmissie van 77 %
- De kas verzamelt energie uit de overtollige warmte uit het zonlicht op een temperatuurniveau van 20 °C
- Er staat een WKK-installatie van 140 kWe per ha die 6500 uur per jaar draait en daarbij dan 31 m<sup>3</sup> gas per m<sup>2</sup> verbruikt (er is gerekend met een laag conversierendement van 35 %, geldend voor kleine gasmotoren)
- De ontvochtiging vindt plaats door middel van buitenluchtaanzuiging met warmteterugwinning
- Het jaarlijks laagwaardige warmteoverschot bedraagt 81 m<sup>3</sup> a.e. zodat de netto energieproductie op 50 m<sup>3</sup> a.e. per jaar uitkomt
- De hoge lichtdoorlatendheid en de hoge CO<sub>2</sub>-concentratie leiden tot 23 % productiestijging
- De kas verbruikt jaarlijks 91 kWh/m<sup>2</sup> aan elektriciteit, evenveel als wat de WK-installatie produceert

## 4.2.3 Bedrijfseconomisch perspectief

Om het economisch perspectief van de SunergieKas te bepalen moeten de extra investeringskosten worden afgezet tegen de besparingen op de variabele kosten en de mogelijke extra inkomsten.

Het ontwerpdocument vermeldt dat de meerkosten voor de SunergieKas € 133 per m<sup>2</sup> zouden bedragen. Dit bedrag is opgebouwd uit:

- het hoogdoorlatende AR-glas: € 10 per m<sup>2</sup>
- de warmtewisselaars: € 53 per m<sup>2</sup>
- de warmtepomp en WKK-unit: € 25 per m<sup>2</sup>
- het aquifer doublet (capaciteit is 200 m<sup>3</sup>/(ha uur) + een
- bovengronds opslagsysteem van 2000 m<sup>3</sup>/ha voor peak-shaving): € 45 per m<sup>2</sup>

Tegenover deze investeringen staan besparingen op variabele kosten en extra inkomsten uit de meerproductie en de verkoopwaarde van de warmte.

De besparing op gaskosten is beperkt omdat verwacht wordt dat de WKK-installatie 31 m<sup>3</sup> aardgas per jaar verbruikt terwijl de referentiekas op 35 m<sup>3</sup> aardgas per m<sup>2</sup> per jaar is gesteld. Het referentieverbruik is bewust laag gesteld omdat in het document gewerkt wordt met hoge gasprijzen die voor 2020 verwacht worden (47 cent per m<sup>3</sup>), waardoor ook in referentiesituaties tuinders spaarzaam met gas zullen omgaan. Om dezelfde reden is het gebruik van een dubbel scherm niet als meerinvestering opgenomen. Bij zo'n gasprijs zal dit de standaard kasinrichting vormen.

De jaarlijkse extra inkomsten worden begroot op € 43, opgebouwd uit:

- Verkoop van het warmteoverschot á € 11,72 per GJ<sup>1</sup>: € 30
- Toename van de gewasproductie: € 11
- Besparing op gasverbruik: € 2

Het ontwerpdocument noemt ook afschrijvings- en onderhoudskosten van respectievelijk € 11 en € 2,70 per jaar en houdt rekening met kapitaallasten. Uitgaande van een rentepercentage van 4 % leiden onderhoud, afschrijving en rente tot jaarkosten van € 17 zodat de netto extra inkomsten € 26 per jaar bedragen.

Op grond van deze getallen volgt een terugverdientijd van  $133/26 = 5$  jaar.

---

1 De financiële waarde van de laagwaardige warmte is berekend door rekening te houden met de variabele en vaste kosten van een warmtepomp die laagwaardige energie op een bruikbaar niveau brengt. Door de waarde van de geleverde warmte op 80 % van de kostprijs van equivalente ketelwarmte te stellen en de vaste en variabele kosten voor de opwerking van de warmte van deze opbrengstwaarde af te trekken kan de economische waarde van het door de SunergieKas geleverde warmteoverschot worden berekend. (Zie ook § 4.4 op pagina 25)

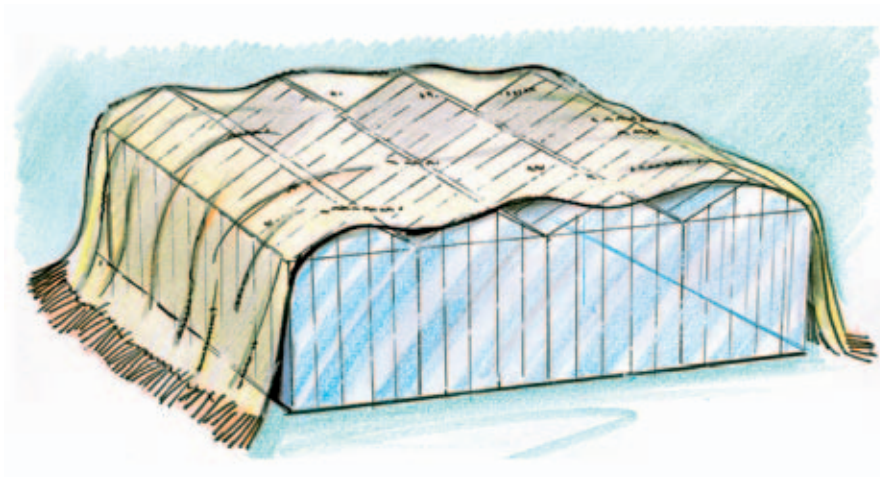
## 4.3 FlowdeckKas

### 4.3.1 Algemeen

In het ontwerpdocument van de FlowdeckKas wordt veel nadruk gelegd op de benutting van laagwaardige warmte op een laag temperaturniveau met het oog op een zo laag mogelijke behoefte aan kasverwarming. Door het kasdek watervoerend te maken kan het kasdek met laagwaardige warmte op een temperatuur van 13 °C worden gehouden. In de zomer betekent dit dat het water op een lage temperatuur het dek instroomt en het weer opgewarmd verlaat (bijvoorbeeld 8 °C in en 18 °C uit, gemiddeld 13 °C). Maar ook in de winter kan het dek op 13 °C gehouden worden door water met 18 °C aan te voeren. Dit water zal dan afgekoeld, op 8 °C weer uit de dekplaten wegstromen.

'Gezien' vanuit de kas is het kasdek dus nooit kouder dan 13 °C. Bij een stooklijn van 17 tot 20 °C betekent dit dat de verwarmingsinstallatie nooit meer dan 48 W/m<sup>2</sup> hoeft te geven, wat slechts 40 % is van het geïnstalleerd vermogen in standaard kassen.

Grafisch is de FlowdeckKas dan ook weergegeven als een kas met een behaaglijke deken.



*Figuur 5. Presentatie van de FlowdeckKas waarbij het watervoerende dek er voor zorgt dat het in de kas nooit echt koud wordt*

Behalve de twee extreme situaties waarin de kas gekoeld moet worden (zomer) of waarin het koud is (winter) zijn er ook nog veel situaties (met name de nachten tussen april en oktober) waarin het kasdek warmer dan 13 °C kan blijven wanneer het water wordt afgetapt. De dubbelwandige kanaalplaat werkt dan als een goede isolator, waardoor de warmtevraag verder afneemt.

Het relatief koude kasdek zal de kaslucht via condensatie ontvochtigen. Bovendien wordt de kas op een lichte overdruk gehouden door ventilatoren die 1 m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> per uur inblazen. Condensatie en luchtverversing geven 's nachts voldoende ontvochtiging.

Bij lichtrijk weer is het koelend oppervlak van de kas onvoldoende om de kasluchttemperatuur binnen de gestelde grens van 28 °C te kunnen houden. In dat geval zal de koeling worden ondersteund middels airconditioning units. Het koude oppervlak op deze units zal zoveel vocht condenseren dat de kaslucht tijdens koelperioden niet te vochtig wordt.

Er blijven naast deze lichtrijke en nachtelijke uren echter ook nog zo'n 2000 uur per jaar over waar de passieve ontvochtiging ontoereikend is. Op die uren zal de kas ramen open zetten. Gezien de omgevingscondities waarin dat nodig zal zijn is de warmtevraag die hierbij zal optreden gering.

Behalve als ondersteuning voor de koeling en de verwarming geeft de waterdoorvoer door het dek ook een verbetering van de lichtdoorlatendheid. Het water moet daarvoor natuurlijk wel schoon blijven, dus daarmee is in het ontwerpdocument terdege rekening gehouden.

Het ontwerpdocument geeft aan dat de lichtdoorlatendheid van de kanaalplaat door de watervulling weer gelijk wordt aan de lichtdoorlatendheid van glas. De verwachte lichttransmissie in de kas is daarom op 75 % gesteld. Deze verwachting is gebaseerd op de berekeningen die met het door TNO ontwikkelde CASTA-kassenbouw zijn gemaakt. Dit rekenmodel berekent de lichttransmissie van een kas op grond van de afmetingen van de constructie-onderdelen.

Meer nog dan bij de SunergieKas is de WKK-installatie het centrale onderdeel van het 'ketelhuis' van de FlowdeckKas. In het ontwerpdocument is gekozen voor een WKK installatie van 488 kWe voor een kas van 2 hectare en dus een WKK-vermogen van 24 W/m<sup>2</sup>.

Gezien de lage warmtevraag die van de kas verwacht mag worden (het dek is nooit kouder dan 13 °C) en het feit dat een belangrijk deel van het koelvermogen via natuurlijke convectie plaatsvindt (het kasdek zal in de zomer al gauw 30 % van het koelvermogen leveren) is de elektriciteitsbehoefte beperkt. Het rapport geeft aan dat het eigen verbruik 84 kWh per m<sup>2</sup> per jaar bedraagt. In vergelijking met de 152 kWh per m<sup>2</sup> per jaar die als elektriciteitsproductie door de WKK wordt genoemd (5800 equivalente vollast uren) is het duidelijk dat de elektriciteitsverkoop een belangrijke commodity van de FlowdeckKas vormt.

Naast de elektriciteit geeft de WKK ook een grote hoeveelheid hoogwaardige warmte. Omdat het kasdek geheel met aquiferwarmte wordt 'warmgehouden' en de warmtevraag van de kas geheel met een warmtepomp wordt ingevuld stelt de FlowdeckKas alle afvalwarmte uit de WKK als hoogwaardige warmte (90 °C) voor derden beschikbaar. Daarnaast levert de FlowdeckKas laagwaardige warmte op 45 °C. Dit is in temperatuur opgewerkte aquiferwarmte, waarvoor de warmtepomp wordt gebruikt.

## 4.3.2 Energetisch perspectief

De FlowdeckKas koopt 40 m<sup>3</sup> aardgas per m<sup>2</sup> per jaar in en zet dit via een WKK-installatie om in elektriciteit. Bij deze energieconversie komt 660 MJ hoogwaardige warmte (op 90 °C) beschikbaar die als één van de output-commodities van de kas wordt gerekend. 660 MJ komt overeen met 21 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten per m<sup>2</sup> per jaar.

De elektriciteitsproductie van de WKK bedraagt 152 kWh per m<sup>2</sup> per jaar.

Een deel daarvan wordt gebruikt voor de aandrijving van de warmtepomp t.b.v. de eigen warmtevoorziening (25 kWh per m<sup>2</sup> per jaar) en een deel voor de elektriciteitsvoorziening voor pompen en ventilatoren (14 kWh per m<sup>2</sup> per jaar). Daarnaast heeft de FlowdeckKas zichzelf ten doel gesteld het laagwaardig energieoverschot uit de aquifer op een opgewerkt temperatuurniveau (45 °C) aan derden aan te bieden. Hiervoor gebruikt de warmtepomp 55 kWh per m<sup>2</sup> per jaar. Al met al blijft er dus  $152 - 25 - 14 - 55 = 68$  kWh ten behoeve van het openbare net over. In hoofdstuk 3 is aangegeven dat 1 kWh geleverde elektriciteit gemiddeld genomen 0.265 m<sup>3</sup> a.e. in de openbare elektriciteitsproductie bespaart zodat de elektriciteitsoutput van de FlowdeckKas 18 m<sup>3</sup> a.e. vertegenwoordigt.

De laagwaardige energie-output bedraagt volgens het ontwerpdocument 808 MJ/m<sup>2</sup> per jaar en dit komt overeen met 26 m<sup>3</sup> a.e. per m<sup>2</sup> per jaar.

De drie energie-outputs, verminderd met de energie-input levert volgens de definitie de netto energieproductie van de FlowdeckKas en die bedraagt  $21 + 18 + 26 - 40 = 25$  m<sup>3</sup> a.e. per m<sup>2</sup> per jaar.

Samenvattend kunnen uit het ontwerpdocument voor de FlowdeckKas de volgende kenmerken worden gedestilleerd:

- Het ontwerp ontleent de jaarlijkse energieproductie uit de verkoop van 660 MJ/m<sup>2</sup> warmte op 90 °C uit de WKK, 808 MJ/m<sup>2</sup> warmte op 45 °C (opgewerkt door de warmtepomp van de FlowdeckKas) en 68 kWh/m<sup>2</sup> elektriciteit (dat is omgerekend 570 MJ/m<sup>2</sup> aan primaire energie).
- De kas heeft een 244 kWe WKK installatie die op jaarbasis 40 m<sup>3</sup> aardgas verbruikt.
- De ontvochtiging vindt plaats door ramen open te zetten, maar omdat er veel waterdamp op het kasdek zal condenseren komt dit niet zo veel voor en is het warmteverlies hierdoor beperkt.
- De jaarlijkse netto energieproductie bedraagt 25 m<sup>3</sup> a.e.

### 4.3.3 Bedrijfseconomisch perspectief

Om het economisch perspectief van de FlowdeckKas te bepalen worden de extra investeringskosten vergeleken met de besparingen op de variabele kosten en de extra inkomsten uit de verkoop van energie.

Het ontwerpdocument vermeldt onderstaande meerkosten:

- het watervoerende Flowdeck: € 15 per m<sup>2</sup>
- de warmtepomp (thermisch vermogen = 80 W/m<sup>2</sup>): € 10 per m<sup>2</sup>
- de WKK-unit: € 12,50 per m<sup>2</sup>
- het aquifer doublet (capaciteit is 200 m<sup>3</sup>/(ha uur)),
- inclusief bovengrondse buffers voor peak shaving: € 26 per m<sup>2</sup>
- airconditioning units: € 20 per m<sup>2</sup>
- klimaatcomputer en backup systemen: € 8,50 per m<sup>2</sup>

maar er zijn ook besparingen

- CV-ketel en toebehoren: € -15 per m<sup>2</sup>

De netto meerinvesteringen bedragen hierdoor € 77 per m<sup>2</sup>.

Tegenover deze investeringen staan besparingen op variabele kosten en extra inkomsten uit de verkoopwaarde van de warmte en elektriciteit.

Voor de berekening van de besparing op gaskosten wordt in het ontwerpdocument voor de FlowdeckKas een referentie gasverbruik van 45 m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> per jaar genoemd en een gasprijs van 35 cent per m<sup>3</sup>. Voor de bepaling van de inkomsten uit elektriciteitsverkoop wordt uitgegaan van 12 cent per kWh en de warmteverkoop levert € 9,70 per GJ op, waarbij er geen onderscheid wordt gemaakt tussen de warmte op 90 °C uit de WKK en warmte op 45 °C uit de warmtepomp.

Dit leidt tot het onderstaande staatje met jaarlijkse extra inkomsten:

- Verkoop van 808 + 660 MJ per m<sup>2</sup> per jaar: € 14.30 per m<sup>2</sup>
- Verkoop van 68 kWh elektriciteit: € 8,16 per m<sup>2</sup>
- Besparing op gasverbruik: € 1,75 per m<sup>2</sup>

Het ontwerpdocument noemt daarnaast nog een aantal extra lasten:

- Rente en afschrijving (14 % van de meerinvestering): € 10,75 per m<sup>2</sup>
- Onderhoudskosten: € 1,70 per m<sup>2</sup>

Wanneer extra inkomsten en extra lasten worden verrekend resteert een positief saldo van € 11.80 per m<sup>2</sup> per jaar en als de extra investering wordt gedeeld door dit positief saldo resulteert er een terugverdientijd van 6,5 jaar.



## 4.4 Terugverdiertijden bij geüniformeerde uitgangspunten

Bij bestudering van de drie ontwerpdocumenten blijkt dat deze zeer verschillend van opzet zijn en dat er ook een voor alle drie een verschillend verdienmodel ten grondslag aan de investeringen ligt. De ZonWindKas verdient de investeringen vooral terug via de besparing op gaskosten. De windmolen levert weliswaar ook belangrijke inkomsten, maar bij de gehanteerde elektriciteitsprijs niet meer dan dat de windmolen aan extra investeringen kost.

De SunergieKas verwacht de grootste inkomsten uit de laagwaardige warmte-afzet, maar ziet ook nog een substantiële extra inkomstenbron uit de meerproductie die door de hoog-productieve semigesloten kas kan worden gegenereerd.

De FlowdeckKas kent eveneens de grootste inkomsten toe aan de verkoop van warmte, waarbij bijna de helft van de warmte op hoge temperatuur (90 °C) wordt afgeleverd. Op de tweede plaats staan bij de FlowdeckKas de inkomsten uit elektriciteitsverkoop.

Alle drie de ontwerpen noemen een terugverdiertijd, variërend van 5 tot 6,5 jaar. De ontwerpdocumenten gaan echter van verschillende gas-, warmte en elektriciteitsprijzen uit zodat de genoemde terugverdiertijden eigenlijk niet met elkaar vergeleken kunnen worden. Ook neemt het ene ontwerpdocument wél de kosten voor kapitaal in beschouwing (rente), terwijl een ander dat niet doet.

Om toch een goed vergelijkbaar overzicht te krijgen zijn de economische berekeningen aan de opbrengstkant en kapitaal-kostenkant voor alle drie de ontwerpen opnieuw gedaan, maar dan met een uniforme berekeningswijze. De berekeningen zijn gedaan voor verschillende gasprijzen en de prijzen van hoogwaardige, laagwaardige warmte én elektriciteit zijn daaraan gekoppeld volgens de onderstaande redeneringen en uitgangspunten:

Waarde hoogwaardige warmte

- 1 m<sup>3</sup> a.e. *hoogwaardige warmte* die aan derden geleverd wordt heeft een economische waarde die 90 % van de verbrandingswaarde van aardgas. Bij een gasprijs van bijvoorbeeld 25 cent per m<sup>3</sup> betekent dit dat hoogwaardige warmte € 7,11 per GJ waard is ( $1000 \text{ GJ} / 31.65 \text{ MJ/m}^3 \times 25 \text{ cent} \times 90 \%$ ).

Waarde laagwaardige warmte

- *Laagwaardige warmte op 45 °C* (zoals geleverd door de FlowdeckKas) vereist aanpassingen van het verwarmingssysteem van de gebruiker en wordt daarom op 80 % van verbrandingswaarde van aardgas ingeschaald. Bij een gasprijs van 25 cent betekent dit dat warmte op 45 °C € 6.39 per GJ waard is.
- *Laagwaardige warmte op 18 °C* (zoals geleverd door de SunergieKas) kan alleen benut worden als de afnemer met behulp van een warmtepomp de energie afneemt. Voor de bepaling van de waarde wordt uitgegaan van: kapitaalkosten warmtepomp (14 % van de investering), draaiuren warmtepomp (3000 equivalente vollast uren per jaar) en kosten van een WKK aangedreven warmtepomp (€ 170 per kW thermisch vermogen). Hieruit volgt dat 1 GJ warmte uit een warmtepomp € 2.36 aan vaste lasten brengt. Daarnaast vraagt de productie van 1 GJ warmte 14.7 m<sup>3</sup> gas voor de aandrijving van de WKK aangedreven warmtepomp<sup>1</sup>. De kosten bij een gasprijs van 25 cent zijn dan dus  $2.36 + 14.7 \times 0.25 = 6.03$  euro per GJ. Als de laagwaardige warmte op 80 % wordt gewaardeerd is de waarde van de warmte  $0.8 \times 7.9 = € 6.39$  (zie ook hierboven). Dit betekent dit dat bij een gasprijs van 25 cent de productie van 1 GJ warmte met een warmtepomp € 6.39 – 6.03 = € 0.36 ruimte biedt als waarde voor de laagwaardige warmte. Voor 1 GJ warmte op 45 °C gebruikt een warmtepomp 0.39 GJ laagwaardige warmte. De financiële waarde van de laagwaardige warmte is bij een gasprijs van 25 cent per m<sup>3</sup> dus  $0.36 / 0.39 = € 0.92$  per GJ. Bij een gasprijs van 50 cent drukken de vaste lasten van de warmtepomp minder zwaar door in de kostprijs en is de waarde van laagwaardige warmte véél hoger, nl. € 7.51 per GJ.

1 Deze getallen komen uit het ontwerpdocument "An energy producing greenhouse; preliminary design for the next step"

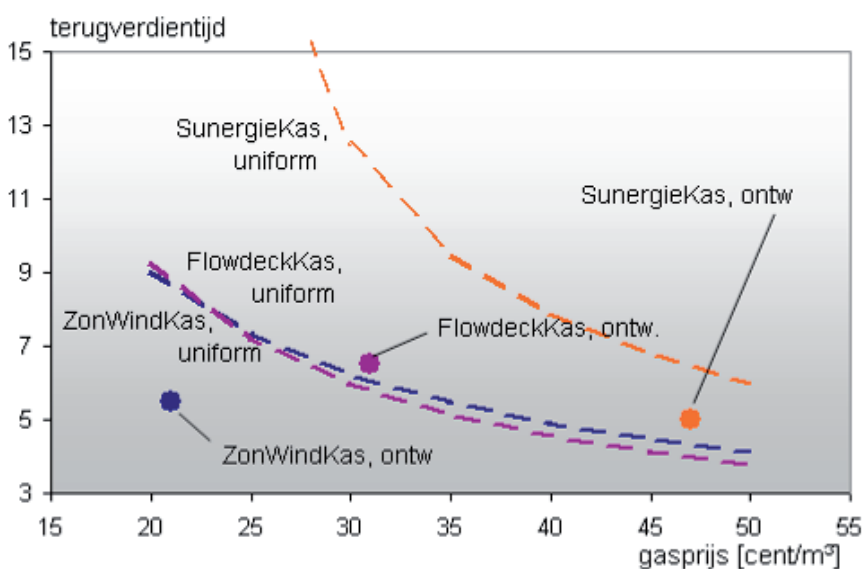
## Elektriciteit

- Voor de berekening van de verhouding tussen gas- en elektriciteitsprijs wordt het gemiddelde omzettingsrendement van gas naar elektriciteit gebruikt: 1 m<sup>3</sup> gas levert 3.8 kWh elektriciteit (zie hoofdstuk 3). Dit wil zeggen dat de elektriciteitsprijs per kWh 1/3.8 maal de gasprijs bedraagt, dus bij een gasprijs van 25 cent is de elektriciteitsprijs € 0.0656 per kWh.

Bij de grote investeringen zoals die voor de drie ontwerpen naar voren komen zijn de rentekosten een reële kostenpost. De impact hiervan op de terugverdientijd wordt in de berekeningen meegenomen door te veronderstellen dat het jaarlijkse saldo dat de energieproducerende kassen opleveren, wordt gebruikt ter aflossing van de lening. Daardoor nemen de rentelasten elk jaar af.

De terugverdientijd volgt dan door te onderzoeken wanneer de reeks van investeringen – jaarlijks saldo – rentelast op de uitstaande lening van het vorige jaar op 0 is uitgekomen.

Met de uitgangspunten die op de vorige pagina genoemd zijn en bij gebruik van de investeringsbedragen, onderhoudskosten en prestatiecijfers die in de drie ontwerpdocumenten genoemd zijn ontstaat dan het onderstaande beeld van de relatie tussen gasprijs en terugverdientijd.



Figuur 6. Terugverdientijden die in de ontwerpdocumenten worden genoemd en terugverdientijden als functie van de gasprijs indien de economische perspectieven worden berekend volgens de bovenbeschreven geüniformeerde methode

Figuur 6. toont dat de in het ontwerpdocument genoemde terugverdientijd voor de FlowdeckKas iets langer is dan de terugverdientijd zoals die volgens de geüniformeerde methode naar voren komt. Dit komt doordat in het ontwerpdocument voor de FlowdeckKas met een lagere prijs voor de levering van hoogwaardige warmte is gewerkt (80 % van de equivalente gasprijs in plaats van 90 %).

De langs geüniformeerde weg berekende terugverdientijd voor de ZonWindKas is aanzienlijk langer dan de terugverdientijd die ontwerpdocument is aangegeven. Dit komt doordat er in het ontwerpdocument geen rentelasten worden gerekend en omdat de waarde van de elektriciteit die door de windmolen wordt voortgebracht in het ontwerpdocument hoger was ingeschaald (8 cent per kWh in plaats van 5 cent volgens de geüniformeerde rekenwijze bij een gasprijs van 21 cent).

Ook voor de SunergieKas is de langs geüniformeerde weg berekende terugverdientijd langer dan in het ontwerpdocument was aangegeven. Dit komt doordat de grootste bron van inkomsten in het ontwerp voortkomt uit de verkoop van laagwaardige warmte. In het ontwerp was de waarde van die warmte op 90 % van de equivalente ketelwarmteprijs gesteld terwijl dit bij de geüniformeerde methode op 80 % is gesteld. Dit leidt tot een forse prijsverlaging voor de laagwaardige warmte, wat evenwel niet onrealistisch is gezien het feit dat er vele concurrerende bronnen van laagwaardige warmte zijn.

→ Tot slot moet hier uitdrukkelijk benadrukt worden dat de lijnen in Figuur 6. allemaal gebaseerd zijn op de investeringskosten en opbrengsten *die in de ontwerpdocumenten genoemd zijn (en dus zoals opgegeven door de consortia)*. In de uiteindelijke uitvoering van de drie demo's zijn op een aantal punten van het ontwerp wijzigingen aangebracht en zijn er gemeten resultaten naar voren gekomen. Deze nieuwe inzichten zullen alle curven doen verschuiven.

→ Een tweede punt dat hier genoemd moet worden is dat alle berekeningen zijn gemaakt zonder gebruik te maken van subsidies. MEI-regeling, EIA en Vamil bieden mogelijkheden om investeringskosten te beperken, maar vertroebelen het beeld ten aanzien van de technische perspectieven.

## 5 Gerealiseerde prestaties

Nadat de uitslag van de ontwerpwedstrijd in april 2007 bekend was gemaakt zijn drie consortia begonnen met het uitwerken van het ontwerpdocument tot een praktisch te bouwen demo op semi-praktijkschaal. Eén van drie consortia (de 3<sup>e</sup> prijswinnaar met de *ZonWinkas*) moest na een aantal maanden te hebben gepoogd kassenbouwers over de streep te trekken om te investeren in de bouw van het ontwerp, constateren dat het onmogelijk was om de demo te realiseren. Hierdoor schoof het Flowdeck-consortium van de 4<sup>e</sup> naar de 3<sup>e</sup> plaats zodat zij de gelegenheid kregen hun ontwerp te demonstreren. Dit consortium had hierdoor een forse achterstand opgelopen zodat op het moment dat de bouw van de SunergieKas een aanvang maakte, het Flowdeck-consortium pas begonnen was met de voor de bouw benodigde detailering. Al met al zat er daardoor 9 maanden verschil tussen de plantdatum in de eerst gereedgekomen (Sunerjie)kas (18 juli 2008) en de laatste (Flowdeck)kas (26 maart 2009). De meetresultaten die in dit hoofdstuk besproken worden beslaan dan ook niet voor alle kassen precies dezelfde periode, hoewel er een behoorlijke overlap is.

De resultaten voor de SunergieKas beslaan een jaarrond tijdvak, lopend van 18 december 2008 tot 18 december 2009. De meetperiode voor de ZonWindKas beslaat het tijdvak van 1 april 2009 tot 1 april 2010 en de meetdata van de FlowdeckKas zijn verzameld tussen 1 april en 15 november 2009. De metingen aan FlowdeckKas zijn al vroeg gestaakt omdat het kasdek een grondige revisie moest ondergaan waardoor er in december niet opnieuw gepland kon worden.

Omdat de prestatie van een kas jaarrond beoordeeld moet worden, zijn er voor de FlowdeckKas modelberekeningen gemaakt om de ontbrekende stukken van de meetperiode in te vullen. Het hiervoor gebruikte model is gevalideerd aan de hand van de meetgegevens uit het tijdvak waarin de FlowdeckKas wél in bedrijf is geweest.

In dit hoofdstuk worden de resultaten met de drie kassen besproken, waarbij eerst wordt ingegaan op de wijzigingen en achtergronden daarvan die zijn aangebracht in het uiteindelijke demonstratieobject in vergelijking met het ontwerp. De resultaten worden in dezelfde volgorde behandeld als waarin de ontwerpen in hoofdstuk 4 zijn besproken.

De resultaten hebben betrekking op de ervaringen tijdens de bouw ten aanzien van de maakbaarheid van de kas, de ervaringen tijdens het gebruik van de kas (storingen, verbeteringen etc.) en uiteraard de ervaringen met de teelt en de energieprestatie.

Nadat de resultaten per demo uiteengezet zijn worden de energiegebruikseigenschappen met elkaar vergeleken en becommentarieerd.

Tenslotte worden, net als in hoofdstuk 4, de economische perspectieven besproken volgens geüniformeerde uitgangspunten.

## 5.1 ZonWindKas

### 5.1.1 Van ontwerp naar demonstratieobject

In het traject van ontwerpdocument naar de gerealiseerde demo zijn tal van details uitgewerkt. Hierbij zijn een aantal details veranderd ten opzichte van het oorspronkelijke ontwerp. De belangrijkste drie wijzigingen zijn:

#### **Geen windmolen in de demo**

Het ontwerp van de ZonWindKas, met de verzameling van warmte op een direct bruikbaar temperatuurniveau, is gericht op de minimalisatie van het elektriciteitsverbruik. Tegelijkertijd vraagt de rendabele exploitatie van een windturbine om grote vermogens en grote geproduceerde volumina. Moderne windturbines hebben een geïnstalleerd vermogen rond de 3 MW en produceren daarmee 6 miljoen kWh.

In het ontwerp was al gekozen voor een niet al te kleine windmolen (660 kWe), maar werd direct ook al geconstateerd dat hierdoor de verhouding tussen productie en verbruik van elektriciteit erg ver uit elkaar lag.

Op de kleine schaalgrootte van het IDC zou die verhouding helemaal uit balans geraakt zijn dus is besloten om geen windmolen aan de demonstratiekas toe te voegen. Het belangrijkste argument was echter nog dat plaatsing van een windmolen geen enkele toegevoegde waarde voor het onderzoek zou hebben. Windturbines zijn zelfstandige apparaten die een eigen technische ontwikkeling doormaken, geheel los van de tuinbouw.

In de economische berekeningen wordt echter wél met een windmolen gerekend door ervan uit te gaan dat de tuinder middels deelname in een collectief het investeringsbedrag van een windmolen die optimaal is geschaald naar het verbruik van de ZonWindKas naar rato draagt. Uitgaande van de in het ontwerpdocument genoemde kosten en prestaties betekent dit een windmolen van 40 kW per ha met een investeringsbedrag van € 0.85 per  $W_{\text{elektrisch}}$ .

#### **Buffer niet als integraal onderdeel gebouwd**

Een tweede grote wijziging in de uiteindelijke realisatie van de demo in vergelijking tot het ontwerp is dat is afgezien van de integrale bouw van een lange termijn opslag systeem onder de kas. Zo'n opslagsysteem is duur, en betaalt zich alleen over lange termijn terug bij hoge gasprijzen.

In de demo-situatie is er sprake van een kortdurend experiment zodat de daadwerkelijke bouw van de waterbuffer onder de gehele kas een disproportioneel beslag zou leggen op het beperkte bouwbudget voor de demo.

Vanuit het onderzoek is er ook geen reden om een grote buffer te bouwen want het gedrag van zo'n opslagsysteem, dat wil zeggen het energieverlies in de tijd, kan ook bestudeerd worden in een kleinere buffer naast de kas. De enige vraag die vanuit energie-oogpunt rond dit opslagsysteem relevant is, is immers hoe het temperatuurverlies in de tijd zal zijn. Daarom is er los van de kas een buffer met een inhoud van 27 m<sup>3</sup> gemaakt (een grondoppervlak van 3x3 en een diepte van 3 meter. De buffer is op de bodem en aan het plafond voorzien van de isolatiematerialen conform het ontwerpdocument (42 cm dikte op de bodem en 54 cm aan het plafond) en met dikke isolatie langs de zijkant om het onevenredig grote randverlies zo goed mogelijk te voorkomen (120 cm). Deze bufferruimte is twee maal gevuld met heet water (65 °C) waarna de afkoeling in de tijd is gemonitord. De resultaten hiervan worden besproken in paragraaf 5.1.2.

### Potanthurium in plaats van Phalaenopsis

Een derde verschil tussen de oorspronkelijke plannen en de uiteindelijke demo is dat er geen phalaenopsis in de kas is geteeld, maar potanthurium. In de tuinbouwkundige praktijk verschillen deze teelten aanzienlijk, maar omdat in het ontwerpdocument nauwelijks specifieke aandacht aan de kasklimaat eisen m.b.t. de teelt van phalaenopsis was besteedt, is er geen aangrijpingspunt om de impact van deze wijziging te beschrijven.

Er is in de aanloop naar de demonstratie bewust gezocht naar een gewas waarvan verwacht mag worden dat dit goed zou gedijen in een kas zoals de ZonWindKas. Het feit dat de ZonWindKas, zoals beschreven in het ontwerpdocument, niet gekoeld kan worden, zou ertoe hebben geleid dat er geen phalaenopsis van de benodigde kwaliteit zou kunnen worden geteeld.



*Figuur 7. Het interieur van de ZonWindKas*

## 5.1.2 Het bouwproces

De ZonWindKas heeft een min of meer standaard onderbouw van een breedkapper, maar een voor tuinbouwbegrippen sterk afwijkende, asymmetrische, kapconstructie. De meeste engineering-tijd is echter gaan zitten in de uitontwikkeling van het lamellensysteem. De watervoerende buisjes die tegen de lamellen zijn gelast moeten draaibaar en toch waterdicht tussen een aanvoer- en afvoer-header worden gemonteerd. De kracht die voor het verstellen van de lamellen nodig is, moet daarbij niet te hoog worden omdat één motor in de nok van de kas 100 lamellen bedient via een trek/duw stang. Tijdens de vorstperiode van januari 2009, toen de ZonWindKas nog in aanbouw was en de verwarming nog niet werkte, heeft bevroering aanzienlijke schade aan het systeem aangebracht. Na montage van de lamellen en het afpersen van het systeem (ter controle op lekkage) zijn de aan- en afvoerleidingen open gezet om het water ad te tappen. Er is zelfs perslucht op de aanvoerleiding gezet om het water uit de lamellen te drijven. Kennelijk zijn er desondanks druppels blijven zitten omdat bij de inbedrijfstelling van de installatie bleek dat op tal van punten de buisjes onder de lamellen door vorstschade waren opengescheurd. De vervanging van de kapotte buisjes was goed mogelijk, maar wel een zeer tijdrovende klus.

In de weken na de oplevering van de kas zijn op een aantal plaatsen koppelingen extra aangedraaid omdat er nog lekkages waren, maar daarna heeft het systeem zonder storingen gewerkt.

De besturing van de installatie die de waterdoorstroming door de lamellen moest regelen vertoonde de eerste zomer een pendelend gedrag. De uitstromende watertemperatuur was gemiddeld genomen de beoogde 65 °C, maar sprong op momentane basis tussen de 55 en soms wel 75 °C heen en weer. Voorafgaand aan de zomer van 2010 is de regeling aangepast middels een voorwaartse koppeling van het pompdebiet op de gemeten zonnestraling. Dit heeft geleid tot een veel minder schommelende uitgaande temperatuur uit de ARRACs.

Het consortium heeft laten zien goed in staat te zijn een nieuw ontwerp zoals de ZonWindKas als demo te realiseren.



*Figuur 8. De ZonWindKas op het IDC*

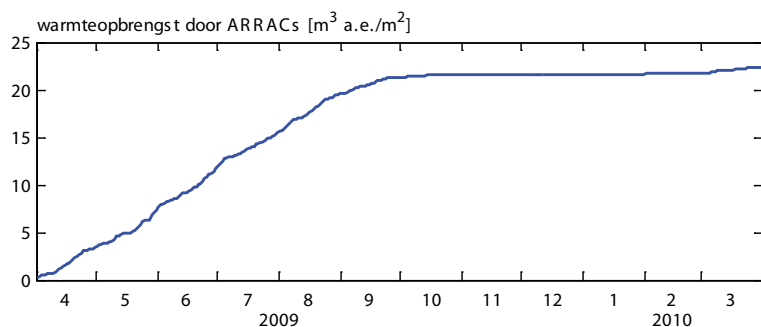
## 5.1.3 Energieprestatie

### 5.1.3.1 Warmte

Bij het ontwerp van de ZonWindKas is beoogd dat, door de gunstige combinatie van de eisen die een schaduwminnend gewas aan het lichtregime in de kas stelt, en de mogelijkheid tot invangen en opslag van het daardoor overtollige lichtaanbod, de jaarlijkse warmte-oogst voldoende zou zijn voor de jaarlijkse warmtevraag. Uiteraard vindt het warmteverbruik vooral in de winter plaats en de warmteverzameling vooral in de zomer. Daarom moet er een opslagsysteem worden gebruikt.

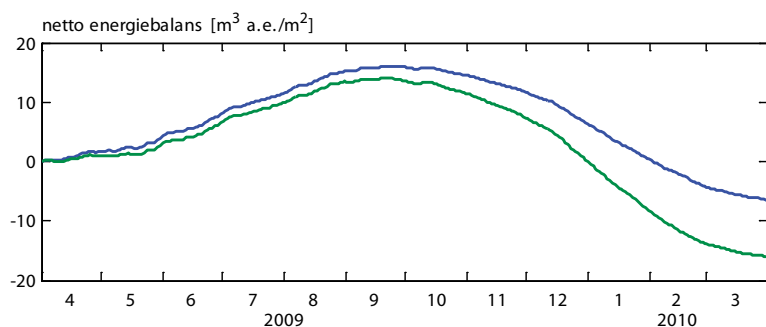
In het ontwerpdocument is berekend dat een opslagcapaciteit van 400 MJ toereikend moest zijn. Bij opwarming van water van 25 naar 60 °C betekent dit 2.7 m<sup>3</sup> water per m<sup>2</sup> kas. Met de aldus verzamelde warmte zou de kas gedurende de winter 's nachts op 19 °C gehouden moeten kunnen worden en overdag op 22 °C.

Onderstaande grafiek (Figuur 9.) toont de hoeveelheid warmte die in de jaarrond periode met de ARRAC's verzameld is. In de demo zijn de warmte-opbrengst van de kap op het onbeschaduwde zuiden en de warmte-opbrengst van de andere kap apart gemeten. In een praktijkkas is slechts 1 op de 10 kappen op het zuiden gericht zodat de data in Figuur 9. zijn gebaseerd op een gewogen som van de opbrengsten van de twee kappen van de demokas. De opbrengst van de zuidkap is voor 10 % meegerekend en de opbrengst van de noordkap voor 90 %.



Figuur 9. Cumulatieve energieverzameling op 65 °C door de ARRAC zonnecollectoren van de ZonWindKas in de periode van 1 april 2009 tot en met 31 maart 2010 (Naar praktijkschaal opgeschaald)

Niet alle warmte die de ARRAC's voortbrengen gaat echter naar de lange termijn opslag. In het voor- en najaar is er iedere nacht en soms ook overdag warmte nodig. Dit is te zien in Figuur 10. waar de dagelijkse warmtevraag van de kas is weergegeven. De meetdata zijn met behulp van een 7-daags voortschrijdend gemiddelde-filter afgevlakt om de data beter leesbaar te maken. De meetdata zijn gecorrigeerd voor geveleffecten, zodanig dat de lijn representatief is voor een grootschalige kas (zie Bijlage I).



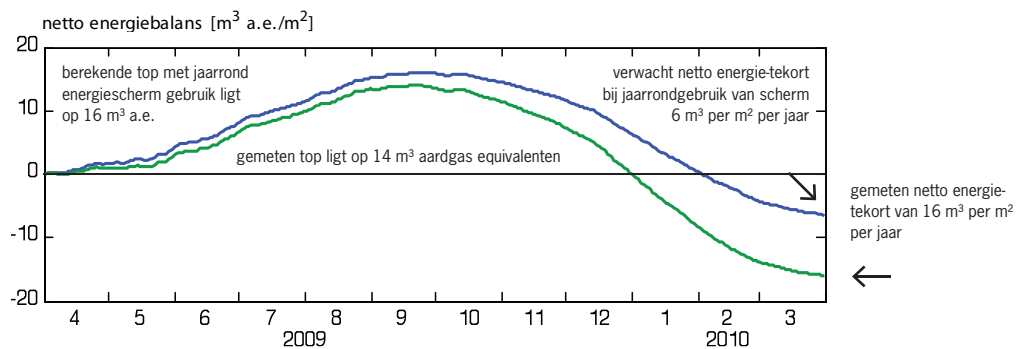
Figuur 10. De gemiddelde warmtevraag per dag van de ZonWindKas vanaf 1 april 2009 tot en met 31 maart 2010

De eerste weken was de temperatuurinstelling gedurende de nacht echter 21 °C in plaats van de in het ontwerpdocument genoemde 19 °C, zodat er onbedoeld te veel verwarming is ingezet. Hierop is een correctie aangebracht<sup>1</sup> zodat de hier gepresenteerde data voor de maand april wat lager zijn dan de feitelijk gemeten waarden.

1 De correctie is uitgevoerd door voor de nachtperiode het uurlijkse warmteverbruik te delen door het uurgemiddelde temperatuurverschil tussen binnen en buiten en vervolgens dit warmteverbruik naar rato van het kleinere temperatuurverschil te verminderen



Als de warmteverzameling door de ARRACs wordt verminderd met de warmtevraag van de kas dan ontstaat de grafiek van Figuur 11. De top van deze figuur ligt op 14 m<sup>3</sup> a.e. en dat komt overeen met 420 MJ/m<sup>2</sup>. De ARRACs hebben dus meer dan de verwachte 400 MJ/m<sup>2</sup> verzameld, en dat ook nog op een hogere temperatuur (65 °C in plaats van de 60 °C die in het ontwerpdocument is genoemd). De grafiek laat echter ook zien dat de warmtevraag zoals die in de kas gemeten is zo groot is, dat deze 420 MJ/m<sup>2</sup> al rond de jaarwisseling opgebruikt is.

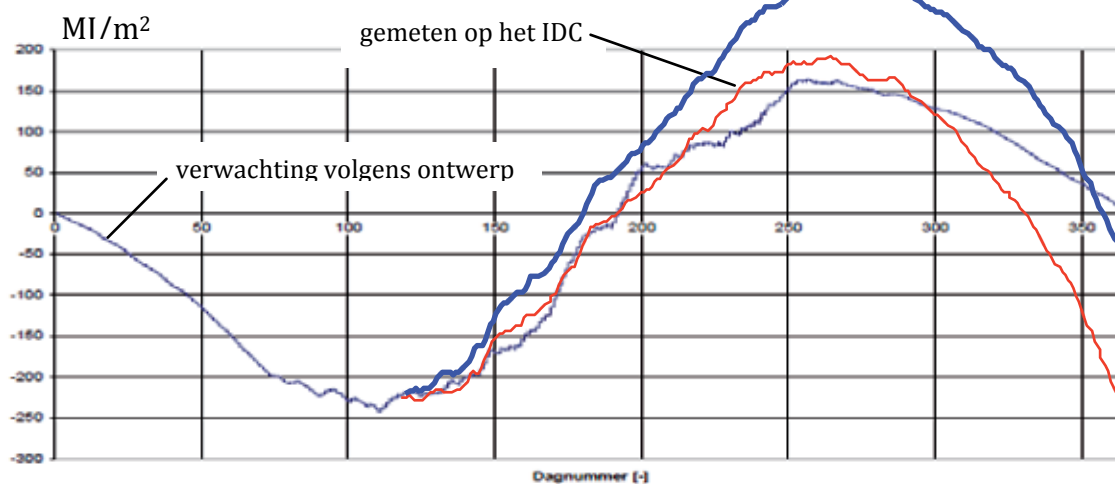


Figuur 11. Cumulatief verloop van de netto energieverzameling van de ARRACs, verminderd met het verbruik van de kas

Figuur 11. toont echter nog een lijn en dat is de lijn die verwacht mag worden als de kas het hele jaar van een energiescherm zou zijn voorzien. Op het IDC is dit scherm pas op 17 februari aangebracht zodat er slechts kort profijt van is geweest. In de eerste week dat het scherm werd gebruikt lag de warmtevraag per graad temperatuurverschil met de buitenlucht 35 % lager dan in de laatste week zonder scherm. Deze tweede lijn (de bovenste lijn in Figuur 11.) is berekend door in de hele periode zonder scherm de warmtevraag 's nachts (want overdag wordt het scherm niet gebruikt) met 35 % te verlagen. De betere isolatie die het scherm oplevert geeft een besparing van 10 m<sup>3</sup> aardgas, zodat het energietekort van de ZonwindKas door het scherm daalt van 16 naar 6 m<sup>3</sup> aardgas per m<sup>2</sup> op jaarbasis.

Dat de warmtevraag van de kas aanmerkelijk groter is dan verwacht is duidelijk te zien in Figuur 12., waar de curve van Figuur 11., na de juiste schaling en verschuiving, over de curve is gelegd die in het ontwerpdocument was opgenomen. De warmteproductie gedurende de zomerperiode functioneert naar verwachting, maar het warmtegebruik in de winter is veel groter.

berekend verloop als er jaarrond een scherm was geweest



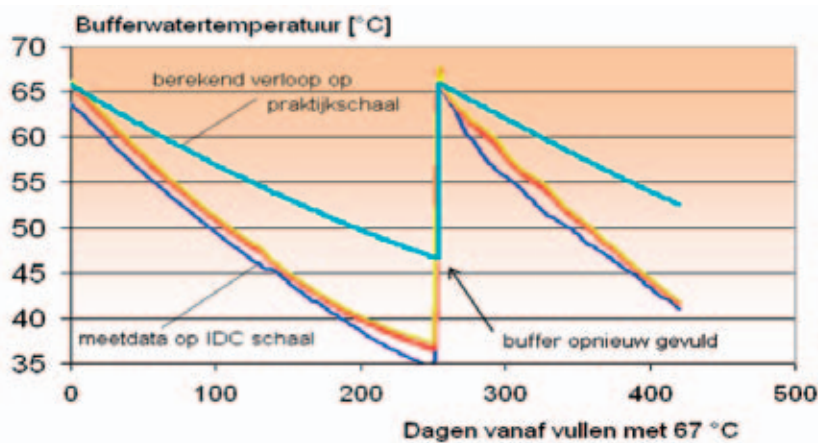
Figuur 12. Vergelijking van het verwachte cumulatief verloop van energieverzameling van de ARRACs minus de energievraag van de kas volgens het ontwerpdocument met het verloop zoals dat op grond van de metingen aan de demonstratiekas is geconstateerd en het verloop dat verwacht had mogen worden als er jaarrond een scherm gebruikt had kunnen worden

De belangrijkste reden voor de veel steilere afname van de gerealiseerde grafiek dan het verwachte verloop is de veel grotere warmte doorgangcoëfficiënt van het kasdek in de demokas ten opzichte van de uitgangspunten in het ontwerp. Er is in het ontwerpdocument gewerkt met een warmtedoorgang van  $2.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  terwijl deze in de kas die bij het IDC is gebouwd in de gemiddelde nacht  $7 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  bedroeg. Gegeven het feit dat de kas toen die gebouwd werd geen schermen had en een heel groot dakoppervlak per  $\text{m}^2$  vloeroppervlak (een factor 1.45) is deze warmtedoorgang overigens helemaal niet zo groot. De SunergieKas, die 's nachts 2 schermen dicht trekt en slechts  $1.08 \text{ m}^2$  kasdek per  $\text{m}^2$  kas heeft, komt op een warmtedoorgang van  $3.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ .

Zoals gezegd is de warmtedoorgang later verkleind door alsnog een scherm te plaatsen. Daarna zakte de warmtedoorgang naar  $4.5 \text{ W}/\text{m}^2$ , wat overigens nog altijd te hoog is om de winter door te kunnen komen met een warmwatervoorraad die  $16 \text{ m}^3$  aardgas equivalenten vertegenwoordigt (zie bovenste punt in Figuur 11.).

### Warmteverlies in de buffer

In het ontwerpdocument wordt geen rekening gehouden met het warmteverlies in de seizoensbuffer onder de kas. Onderstaande grafiek laat het verloop van de temperatuur zien in de buffer die op het IDC naast de ZonWindKas was gebouwd.



Figuur 13. Gemeten temperatuurverlies van de buffer op het IDC in de loop van de tijd en berekend verloop op praktijkschaal indien dezelfde isolatiediktes zouden worden gebruikt

Gedurende de onderzoek- en demonstratiefase is de buffer twee maal opgewarmd tot  $65 \text{ °C}$  en is het temperatuurverloop vervolgens twee maal over lange tijd gevolgd.

Figuur 13. laat zien dat ondanks de grote hoeveelheid isolatie, de buffertemperatuur over 150 dagen ongeveer  $20 \text{ °C}$  terugliep. Met behulp van een eenvoudig model is berekend dat het gemeten temperatuurverloop precies kon worden gesimuleerd als de warmtegeleidingcoëfficiënt van het isolatiemateriaal op  $0.062 \text{ W}/\text{mK}$  werd gesteld, in plaats van de  $0.038 \text{ W}/\text{mK}$  die het materiaal volgens fabrieksopgave zou moeten hebben.

Doordat het warmteverlies (veel) groter is dan verwacht, speelt het warmteverlies langs de zijwanden van de buffer in de demosituatie een prominente rol, ondanks de 120 cm dikke isolatie. De verhouding tussen zijwand oppervlak en inhoud is bij deze buffer immers  $1.33 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , terwijl die voor een buffer onder een kas van 2 ha slechts  $0.008 \text{ m}^2/\text{m}^3$  bedraagt. In de praktijk zal het warmteverlies langs de zijwand dus geen rol van betekenis spelen.

Op basis van de gegevens is het temperatuurverlies voor een praktijksituatie (2 ha kas met daaronder de buffer) gesimuleerd met een warmtegeleidingcoëfficiënt van het isolatiemateriaal van  $0.062 \text{ W}/\text{mK}$ . Daaruit blijkt dat in de praktijk het temperatuurverlies niet meer dan de helft zal zijn van het verlies dat op het IDC is gemeten (Figuur 9).

Voor een grote praktijkkas is het verder ook aannemelijk dat in de loop van een paar jaar, de bodem onder de buffer langzamerhand een aanmerkelijk hogere temperatuur zal krijgen dan de bodemtemperatuur die onder de in het vrije veld liggende buffer bij het IDC aanwezig was. Dit zal het verlies in de praktijk nog kleiner maken. Bovendien draagt het verlies aan de bovenzijde van de buffer in de praktijk bij aan de kasverwarming en is dus in de winter eigenlijk geen verlies. In de derde plaats neemt gedurende de winter het volume van het warme water gestaag af en wordt dit vervangen door uitgekoeld water. Gemiddeld genomen over de hele winter is dus slechts de helft van de buffer gevuld, waardoor het verlies nog verder afneemt.

Alle aspecten in ogenschouw nemend kan op grond van de metingen gesteld worden dat het gemiddelde temperatuurverlies in een buffer op praktijkschaal niet meer dan 3 °C zal bedragen. Dit is minder dan 9 % van de buffercapaciteit, dus nog geen 36 MJ/m<sup>2</sup> kas per jaar.

Op grond van de metingen op het IDC, en deze doorvertalend naar praktijkschaal kan dus geconcludeerd worden dat het gebruik van een buffer zoals voorgesteld in het ontwerpdocument de gestelde 400 MJ per m<sup>2</sup> per jaar zou kunnen bufferen, maar dat dit wel zou betekenen dat de ARRACs gedurende de zomer 10 % meer warmte moeten vastleggen dan dat er gedurende de winter nodig is. Gezien het feit dat de ZonWindKas in het experiment meer warmte had verzameld dan waarvan in het ontwerpdocument was uitgegaan (zie Figuur 12.) lijkt hier dus geen probleem te liggen.

### **5.1.3.2 Elektriciteit**

Een niet belichte potplantenkas gebruikt elektriciteit voor de aandrijving circulatiepompen, de waterbehandeling (zuivering en filtering van recirculatiewater), de aandrijving van scherm- en luchtingsmotoren, de branderventilator van de ketel en de ventilator voor CO<sub>2</sub>-dosering met ketelrookgassen. De bedrijfsvoering van de ZonWindKas omvat voor een groot deel dezelfde elektriciteitsbehoefte, maar heeft geen brander- en CO<sub>2</sub>-ventilator. Daarentegen heeft de ZonWindKas een extra elektriciteitsvraag voor de circulatie van water door de ARRACs, het verpompen van water door de lange termijnbuffer, en de motoren die de ARRACs verstellen. Het is reëel te stellen dat bij vergelijking van de ZonWindKas met een standaard potplantenkas de bovengenoemde besparingen op elektra vrijwel gelijk zullen zijn aan het meerverbruik in verband met de extra watercirculatie.

Daarom wordt verondersteld dat bij vergelijking van de ZonWindKas met een standaard potplantenkas er geen verschil in elektriciteitsverbruik zal zijn.

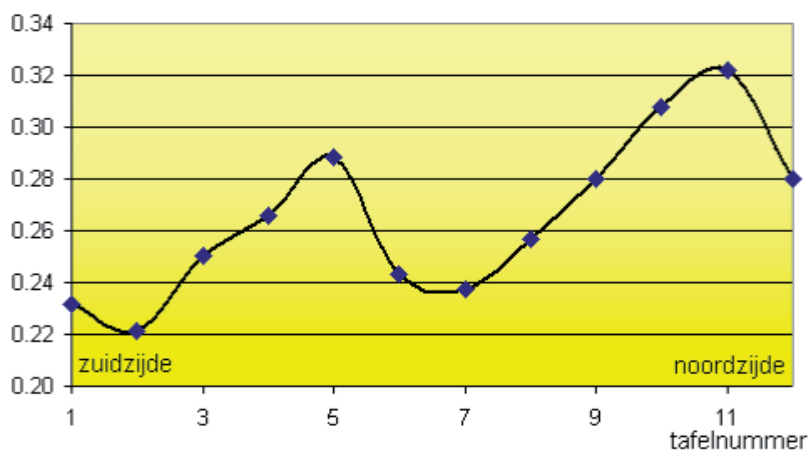
Tegelijk moet echter wel worden vastgesteld dat de 3 kWh per m<sup>2</sup> per jaar die in het ontwerpdocument als elektriciteitsverbruik genoemd wordt, te laag is want het gemiddeld verbruik van niet-belichte potplantenkassen ligt rond de 7 kWh per m<sup>2</sup> per jaar.

## 5.1.4 Teeltkundige ervaringen

De potanthuriumteelt is naar het oordeel van de gewasverzorgers goed verlopen. Vooral de traploze regelbaarheid van de lichtintensiteit in de kas wordt zeer gewaardeerd. Deze variabele beschaduwing is mogelijk omdat de ARRACs behalve open en dicht ook alle tussenstanden kunnen innemen.

De basis lichttransmissie van de kas is aanzienlijk lager dan de 61.5 % die in het ontwerpdocument is gesteld.

Op grond van onderstaande grafiek, waarin de gemiddelde transmissie per tafel over de 12 tafels wordt getoond, zou gesteld moeten worden dat de lichttransmissie in een grote kas (met veel minder randeffecten dan in de demonstratie het geval was) rond de 28 tot 30 % zou liggen.



Figuur 14. Gemiddelde diffuse lichttransmissie boven de 12 tafels in de ZonWindKas

Voor een schaduwminnende teelt, waarbij de nagestreefde lichtintensiteit per dag bijvoorbeeld 6 mol PAR per m<sup>2</sup> bedraagt, wordt op jaarbasis het overgrote deel van het licht weggeschermd zodat een lage basistransmissie lang niet zo'n groot productie-effect heeft als in teelten waar niet geschermd wordt.

De plantenkweker (Rijnplant), die twee keer Anthuriums in de ZonWindKas heeft laten groeien, heeft geen teeltvertraging gemerkt en beoordeelde de kwaliteit als uitstekend.

Naast de goede regelbaarheid van de lichtintensiteit wordt er vanuit gegaan dat ook de goede regelbaarheid van de luchtvochtigheid aan de voorspoedige groei heeft bijgedragen. De planten hebben hierdoor steeds met een erg constant klimaat te maken gehad.

## 5.1.5 Samenvatting ZonWindKas

- De ARRACs (de zonnecollectoren) van de ZonWindKas hebben voor een schaduwminnende teelt goed gefunctioneerd, zowel in energetisch als in teeltkundig opzicht.
- De plantenleverancier en bezoekende tuinders waren zeer te spreken over het teeltresultaat.
- De warmtevraag van de ZonWindKas was meer dan twee keer zo hoog als waarmee in het ontwerpdocument rekening was gehouden zodat de isolatiegraad van de kas aanzienlijk verbeterd moet worden om met de door de ARRACs verzamelde warmte (15 m<sup>3</sup> a.e. aan het eind van de zomer) de kas de hele winter op een temperatuur van 19 tot 20 °C te kunnen houden. Bij gebruik van een enkelvoudig energiescherm om de warmtevraag te beperken resteert er nog een warmtevraag van 6 m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> kas.

## 5.2 Sunergiekas

### 5.2.1 Van ontwerp naar demonstratieobject

Tussen het ontwerp van de ZoWaKas, zoals de naamgeving in het ontwerpdocument was, en de realisatie van de SunergieKas zijn in de interactie tussen de kassenbouwer en de ontwerper veel details anders uitgewerkt dan in het ontwerpdocument is genoemd. Onderstaand worden de vier belangrijkste wijzigingen genoemd.

#### **Standaard warmtewisselaars in plaats van FiWiHEX**

Het ontwerpdocument voor de SunergieKas is gemaakt in een periode waarin hoge verwachtingen golden voor de efficiënte FiWiHEX warmtewisselaars. Bovendien was de leidende visie op koeling toentertijd dat koeling van onderuit het gewas zou moeten plaatsvinden. In het ontwerpdocument staan dan ook allerlei schetsen waarin lucht via kanalen van bovenaf wordt aangezogen en gekoeld onderin de kas wordt verdeeld. De vrije ruimte onder de teeltgoten, in combinatie met het hogere soortelijk gewicht van koude lucht zou dan voor een homogene verdeling kunnen zorgen.

Bij de nadere detaillering van het ontwerp, in de maanden voor de bouw, bleek echter dat er aanmerkelijk goedkopere koelsystemen beschikbaar waren die niet veel minder presteerden qua elektriciteitsverbruik. Deze systemen (warmtewisselaars van ThermoKey) moesten evenwel bovenin de kas worden opgehangen, wat uiteraard de lichttransmissie van de kas enigszins verminderde.



*Figuur 15. Koelers bovenin de kas*

#### **Geen dubbele blokken voor ontvochtiging met naverwarming**

Een andere belangrijke kostenbesparing die is doorgevoerd, is dat er is afgezien van het gebruik van luchbehandelingskasten met dubbele warmtewisselaarblokken. Met deze systemen zou de kas kunnen worden ontvochtigd zonder verlies van voelbare en latente warmte. Ook is er geen warmtewisselaar op de uitgaande warme en vochtige luchtstroom geplaatst (zie Figuur 4.; § 4.2.1).

Omdat elk vermeden verlies direct terugkomt in de energieproductie van een energieproducerende kas, hebben deze kostenbesparingen een grote impact op de netto energieproductie van de Sunergiekas. De totale hoeveelheid misgelopen warmteoogst door deze aanpassingen belooft ongeveer 500 MJ/m<sup>2</sup> per jaar (zie 5.2.3), maar omdat dit laagwaardige warmte is blijft de economische impact klein. In § 5.5.3 wordt berekend dat bij een gasprijs onder de 30 cent per m<sup>3</sup>, de terugwinning van deze warmte niet lonend is en bij hogere gasprijzen een uitbreiding van de installatie met zo'n warmte-terugwinning overwogen kan worden.

Omdat de plaatsing van zo'n terugwin-unit op de uitgeblazen lucht geen interactie heeft met het kasklimaat en de regeling daarvan was het in deze demonstratiefase evenwel te billijken om deze kostenbesparing door te voeren.

#### **Dubbel beweegbaar scherm in plaats van vast folie**

Een derde punt waarin wijzigingen zijn aangebracht ten opzichte van het oorspronkelijke ontwerp is de scherminstallatie. In het ontwerp wordt gesproken van een beweegbaar scherm en een vast folie dat bij de teeltwisseling wordt aangebracht en tot april blijft zitten. In de uiteindelijke uitvoering is het vaste folie vervangen door een beweegbaar transparant doek. Hierdoor kan de lichttoetreding in de wintermaanden op zonnige dagen worden vergroot, wat de groei ten goede komt, terwijl op sombere dagen het scherm dicht kan blijven.

#### **Standaard Venlokas in plaats van Super Glas Kas**

Tenslotte is in verband met de kant en klare beschikbaarheid van constructieonderdelen bij de consortiumpartner P.L.J. Bom Kassenbouw besloten gebruik te maken van een standaard Venlo dek met geschoven glas in plaats van de in het ontwerpdocument genoemde 'Super Glas Kas'<sup>1</sup>.



*Figuur 16. Interieur van de SunergieKas*

---

<sup>1</sup> De Super Glas Kas is door TNO gepresenteerd op de Floriade van 2002. Het betrof een kas waarbij de tralieligger was geïntegreerd met de goot en waarbij de glaspanelen in de roeden waren geklemd in plaats van geschoven. De voor deze bouw benodigde componenten en organisatie (bijvoorbeeld om de poten momentvast aan strokenfundering te monteren) is evenwel tot nu toe niet van de grond gekomen.

## 5.2.2 Het bouwproces

De SunergieKas is hoofdzakelijk uit standaard elementen samengesteld. Alleen de koelunits bovenin de kas en het luchtverdeelsysteem zijn nieuwe componenten. Door de hoge mate van standaardisatie was de kas snel gebouwd, 6 maanden na de eerste paal kon de eerste teelt worden geplant.

De onervarenheid met het luchtverdeelsysteem onder de teeltgoten heeft ertoe geleid dat er geruime tijd moest worden geëxperimenteerd voordat een bevredigende gebruikswijze was gevonden. Volgens het ontwerp zou het slangensysteem voor koeling, verwarming en ontvochtiging ingezet worden. In de realisatie is eerst afgezien van de koelfunctie en later ook van de verwarmingsfunctie van de slangen. Zowel het koelen als het verwarmen via de slangen leidde tot ongewenste inhomogeniteit van de temperatuurverdeling.

Uiteindelijk zijn de slurven dus alleen als ontvochtigingssysteem en luchtcirculatiesysteem ingezet, dit heeft goed gefunctioneerd.

De vermindering van het koelvermogen in de kas (doordat uiteindelijk alleen de bovenkoelers zijn gebruikt) leidde niet tot problemen omdat er overcapaciteit geïnstalleerd bleek te zijn. Deze overcapaciteit is de andere kant van de medaille van het feit dat de zonlicht-absorptie van een tomatengewas lager is dan waarvan altijd werd uitgegaan (zie 5.2.3). De vermindering van het verwarmingsvermogen is de eerste winter opgevangen door de kas met heter water te verwarmen dan oorspronkelijk was beoogd<sup>1</sup>.



*Figuur 17. De SunergieKas op het IDC*

De bouw van de SunergieKas heeft het consortium veel kennis en ervaring opgeleverd zodat een eventuele volgende kas snel en soepel gerealiseerd zou kunnen worden.

---

<sup>1</sup> In het teeltseizoen 2009/2010 is het aantal buizen in het verwarmingsnet verdubbeld om een groter verwarmend oppervlak te realiseren zodat de kas weer met de oorspronkelijk beoogde maximale watertemperatuur van 50 °C kon worden verwarmd.

## 5.2.3 Energieprestatie

De experimenten met de SunergieKas zijn al begonnen in juli 2008. Toen is gestart met een najaarsteelt komkommer die in november is afgesloten met een prima teeltresultaat ( $55 \text{ kg/m}^2$ ) en een klein netto energie-overschot (een netto energieproductie van  $1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ). Deze teelt had evenwel een paar aanloopproblemen en bovendien was de plantdatum niet geheel representatief voor de najaars komkommerteelt zodat in deze rapportage niet nader wordt ingegaan op deze resultaten anders dan dat de bezoekende komkommertelers zeer positief waren over de kwantiteit en kwaliteit van deze teelt oordeelden.

Na de komkommerteelt is de Suneriekas op 16 december 2008 geplant met een tomatengewas (*cv. Capricia*). Dit is een voor de onbelichte tomatenteelt representatieve plantdatum en van deze teelt is dan ook een volledige jaarcyclus gevolgd. Uiteraard moest er in de eerste maanden van de teelt behoorlijk gestookt worden, zeker omdat januari 2009 een koude maand was. Door de dubbele scherminstallatie kon de SunerieKas bestempeld worden als een zuinige kas. De warmtevraag totdat de eerste oogst van tomaten bedroeg  $15 \text{ m}^3$  a.e. per  $\text{m}^2$ .

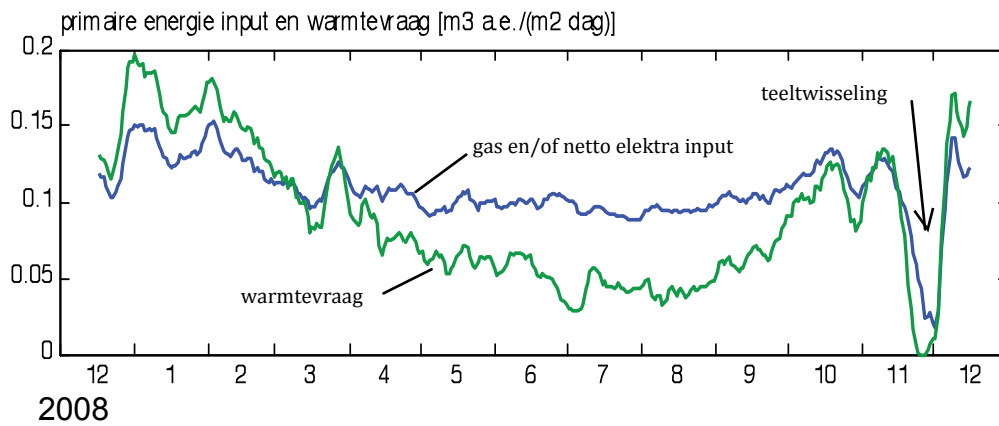
Omdat de SunerieKas (net als de FlowdeckKas) verwarmd wordt door middel van een warmtepomp in combinatie met een WK-installatie, is de warmtevraag niet gelijk aan het primaire energieverbruik. Het produceren en distribueren van de warmte kost elektriciteit die deels door inkoop vanuit het net, en deels door eigen productie met de WKK wordt voortgebracht.

De meetdata (aangevuld met het ketelhuis simulatiemodel (zie Bijlage II) geven aan dat het energieverbruik op het moment van de eerste oogst  $8.5 \text{ m}^3$  aardgas per  $\text{m}^2$  bedroeg. De inzet van de warmtepomp heeft het dus mogelijk gemaakt om een factor 1.75 warmte per eenheid hoogwaardige aandrijfenergie te genereren. Dit is in feite de effectieve COP van de complete installatie. Deze factor 1.75 is lager dan de factor 2.2 waarvan in het ontwerpdocument is uitgegaan. De lagere COP van de warmtepomp komt doordat de aanvoerwatertemperatuur naar de SunerieKas in de winter van 2008/2009 aanmerkelijk hoger is geweest dan vooraf was ingecalculeerd. Deze hogere temperatuur was nodig omdat alleen nog maar met het buisrail verwarmingssysteem is verwarmd toen bleek dat het beoogde laag-temperatuur luchtverwarmings-systeem met slangen tot te grote horizontale temperatuurverschillen in de diepte van het pad leidde<sup>1</sup>. Hierdoor moest het buisrailnet ongeveer twee keer zoveel warmte gaan leveren als oorspronkelijk was bedoeld. De hogere watertemperatuur die hiervoor nodig was heeft de COP (de Coefficient Of Performance) van de warmtepomp duidelijk verlaagd.

Figuur 18. toont de dagelijkse warmtevraag van de SunerieKas en de dagelijkse hoogwaardige energie-input van de kas (dat is input van gas en soms ook elektriciteit). Het valt direct op dat in de koude periode van het jaar de energie-input lager is dan de warmtevraag, maar dat in de zomerperiode de energie-input aanmerkelijk hoger is dan de warmtevraag. Dit komt doordat de energie-input lang niet altijd uitsluitend voor verwarming bestemd is, maar ook voor elektriciteitslevering aan het openbare net en voor de aandrijving van pompen en ventilatoren die in de zomer de overtollige energie uit de kas moeten verzamelen en onderbrengen in de lange termijn opslag. In afwijking van het ontwerp is de demo gekozen voor een motor van 185 kWe per hectare in plaats van 145 kWe per hectare, en deze motor minder uren te gebruiken. Zo is er overdag meer stroom voor verkoop en ook meer  $\text{CO}_2$ . Tevens is er uitgegaan van een hoger elektrisch rendement van de WKK, namelijk 43 %. Als de WKK draait gebruikt deze  $54 \text{ m}^3$  gas per ha per uur. Als deze op werkdagen van 7 tot 11 draait en in de weekends gedurende 12 uur (in verband met de  $\text{CO}_2$  behoefte overdag) dan betekent dit een gasverbruik van  $0.08 \text{ m}^3$  per  $\text{m}^2$  per dag. Tijdens daluren wordt naast de eigen stroomproductie nog wat stroom ingekocht waarmee een gasverbruik van rond de  $0.02 \text{ m}^3$  a.e. per  $\text{m}^2$  per dag is gemoeid (volgens de omrekening dat 1 kWh stroom overeenkomt met  $0.265 \text{ m}^3$  a.e., zie hoofdstuk 3). De curve voor de inkoop aan hoogwaardige energie schommelt in de zomer daarmee rond de  $0.1 \text{ m}^3$  aardgas (equivalenten) per  $\text{m}^2$  per dag.

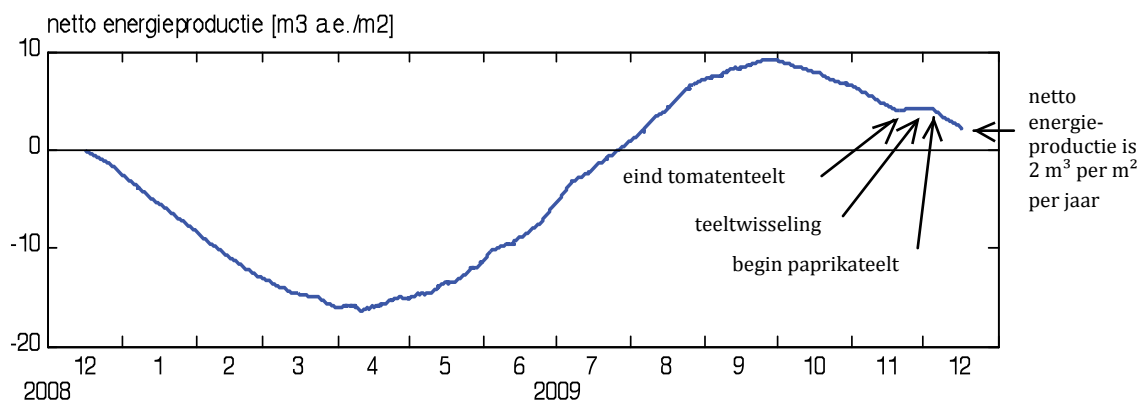
<sup>1</sup> De constatering van deze grote onevenwichtigheid in de SunerieKas heeft luchtverwarmingssystemen op basis van slurven onder de goot in een nieuw daglicht geplaatst. Inmiddels worden slurven in de sector als minder optimale warmte-distributiesystemen gezien.





Figuur 18. Dagelijkse warmtevraag en hoogwaardige energie-input van een jaarrondperiode in de SunergieKas (startdatum 16 december 2008)

Tegenover het gebruik van hoogwaardige energie staat echter ook de productie van energie. In het geval van de SunergieKas is deze energieproductie in de vorm van elektriciteit levering aan het openbare net en de verzameling van laagwaardige warmte in de aquifer. Wanneer, beginnend op 16 december 2008 het cumulatieve energieproductie wordt berekend uit elektriciteitsverkoop en energieverzameling in de aquifer, minus gasinkoop en elektriciteitsinkoop, dan ontstaat de grafiek die getoond is in Figuur 19.



Figuur 19. Cumulatieve energieproductie in een jaarrondperiode voor de SunergieKas

Uiteraard begint de grafiek met een negatieve energieproductie. In de winter wordt er geen energie verzameld maar wel fors verbruikt. Als op 15 maart de eerste tomaten worden geplukt staat de teller op  $-15 \text{ m}^3$  aardgas equivalenten. Dit getal komt uit de eerder genoemde  $8.5 \text{ m}^3$  hoogwaardige energie-input, aangevuld met  $6.5 \text{ m}^3$  laagwaardige warmte die dan aan de aquifer is onttrokken. Dit laatste is feitelijk negatieve warmteopslag in de aquifer.

Begin april is het diepste punt in de grafiek bereikt en begint de kas dagelijks wat meer energie te produceren dan zelf te gebruiken. Dit gaat door tot eind september, vanaf waar de kas weer netto meer energie gaat verbruiken dan dat de kas verzamelt en/of direct levert in de vorm van elektriciteit.

Het is duidelijk dat aan het eind van de jaarrond-periode de SunergieKas nog net een beetje in de plus staat. Overigens betreffen de laatste 10 dagen van de beschouwde periode het begin van de Paprikateelt die eind 2009 is gestart.

Uit het feit dat er aan het eind van het jaar  $2 \text{ m}^3$  aardgas equivalenten over zijn en de kas  $27 \text{ m}^3$  aardgas gebruikt heeft voor de WKK, kan worden uitgerekend dat de SunergieKas  $29 \text{ m}^3$  aardgas equivalenten in de vorm van opgewarmd grondwater (naar  $17 \text{ }^\circ\text{C}$ ) voor derden ter beschikking stelt. Het is dus de warmte afnemende partij die compenseert voor het gasverbruik van de SunergieKas.

In vergelijking met de in het ontwerpdocument genoemde netto energieproductie van 50 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten per m<sup>2</sup> per jaar is de 2 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten die gerealiseerd is bijzonder laag. Dit kan worden verklaard uit een aantal oorzaken:

1. *De lagere lichttransmissie van de kas.*

Deze bleek geen 77 %, zoals verwacht maar was gemiddeld 68 %. In de zomerperiode van 15 april t/m 15 september 2009, dat is de periode waarin de aquifer opgeladen wordt, heeft de zon 2800 MJ warmte gegeven. Door de lagere lichttransmissie is  $2800 \cdot (77-68)/100 = 250$  MJ minder licht dan verwacht in de kas binnengekomen. Van het licht dat in een kas binnenkomt wordt (vuistregel) 60 % van de energie omgezet in warmte (en 40 % gereflecteerd) zodat de lagere lichttransmissie de warmteoogst met 150 MJ heeft beperkt.

2. *Het achterwege laten van de terugwinning van warmte uit de uitgeblazen vochtige lucht.*

Deze hoeveelheid is afhankelijk van het totale luchtdebiet en de latente warmte van deze lucht en laat zich gemakkelijk berekenen omdat vrij nauwkeurig bekend is hoeveel buitenlucht er naar binnen is geblazen voor de ontvochtiging en dus ook hoeveel warmte er naar buiten is geblazen.

De meetventilator op de aanzuig opening heeft in het teeltjaar 38000 m<sup>3</sup> lucht per m<sup>2</sup> kas gemeten (en er is dus ook 38000 m<sup>3</sup> lucht per m<sup>2</sup> kas per jaar de kas uitgeblazen). Deze lucht had een gemiddelde temperatuur van 19.2 °C en een gemiddelde vochtinhoud van 14 gram per m<sup>3</sup>.

Twee warmtewisselaars op de uitblaas-opening van het type dat ook als bovenkoeler is gebruikt zouden bij een ingaande watertemperatuur van 8 tot 10 °C de lucht hebben kunnen terugkoelen en uitdrogen naar zo'n 14 °C en 11 gram vocht per m<sup>3</sup>. Aan voelbare warmte zou er dan  $(19.2-14) \cdot 1200 \cdot 38000 / 1e6 = 240$  MJ extra energie zijn verzameld en de condensatie van vocht zou  $(14-11) \cdot 2250 \cdot 38000 / 1e6 = 260$  MJ aan latente warmte hebben opgeleverd.

Door het achterwege laten van warmteterugwinning op de uitblaasopening is er dus 500 MJ energierugwinning blijven liggen.

3. *De kleinere warmte-absorptie van het gewas dan waarvan in de berekeningen was uitgegaan.*

In het ontwerpdocument was uitgegaan van 90 % omzetting van zonne-energie naar (voelbare en latente) warmte in de kas, terwijl in de praktijk die omzetting in een tomatengewas niet meer dan 60 % blijkt te zijn. Een plant blijkt dus veel minder een 'zonnecollector' dan meestal wordt gedacht. Hierdoor is de feitelijke hoeveelheid energie die voor de oogst in de zomer beschikbaar is zo'n 650 MJ per m<sup>2</sup> per jaar lager.

Het laatste punt is overigens voor de benodigde koelinstallatie om kassen gesloten te kunnen houden een voordeel omdat de capaciteiten van koelunits hierdoor kleiner gekozen kunnen worden, wat tot lagere investeringen leidt<sup>1</sup>. Vanuit het oogpunt van de Kas als energiebron (warmtewinning uit de ingestraalde zonne-energie) werkt dit echter nadelig omdat de plant kennelijk een belangrijke fractie van het zonlicht reflecteert, die daardoor niet meer beschikbaar is voor energieverzameling.

De belangrijkste verschillpunten tussen de berekeningen in de ontwerpfase en de realiteit zijn dus:

- 150 MJ door de lagere lichttransmissie,
- 500 MJ door het achterwege laten van de terugwinning uit de uitblaasopening en
- 650 MJ per m<sup>2</sup> per jaar door de lagere energie-absorptie door het gewas.

---

1 Indien dit niet het geval was geweest zou er in de SunergieKas een groot probleem zijn opgetreden toen besloten werd de koeling alleen nog maar van bovenaf te laten plaatsvinden. Het buiten gebruik stellen van de koel-blokken in de luchtbehandelingskast deed het geïnstalleerd koelvermogen met 25 % afnemen.

Samen is dit 1300 MJ per m<sup>2</sup> per jaar ofwel 431 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten per m<sup>2</sup> per jaar, waarmee het overgrote deel van het verschil tussen de gerealiseerde netto energieproductie (2 m<sup>3</sup> a.e. per m<sup>2</sup> per jaar) en de verwachte netto energieproductie (50 m<sup>3</sup> a.e. per m<sup>2</sup> per jaar) verklaard is.

Overigens is het grootste tegenvallende getal, de 650 MJ door de geringere energieabsorptie van een tomatengewas, onvermijdelijk. Planten hebben niet hetzelfde omzettingsrendement als een zwarte zonnecollector.

De terugwinning van warmte uit de uitgeblazen lucht zou relatief gemakkelijk de netto energieproductie zo'n 15 m<sup>3</sup> a.e. per m<sup>2</sup> per jaar hebben kunnen verhogen.

Een kleine verbetering van de lichttransmissie is ook nog mogelijk als de kas op hectare-schaal zou worden gebouwd omdat een kleine kas zoals de demonstratiekas op het IDC duidelijke schaalnadelen en rand-effecten oplevert.

### 5.2.3.1 Elektriciteit

Er gaat in de SunergieKas veel elektriciteit om (hoewel het totale verbruik nog niet de helft is van de gemiddelde belichte groente- of bloementeelt). Over de jaarrond-periode gerekend waren de jaartotalen zoals getoond in Tabel 1.

Tabel 1. Elektriciteitproductie en –verbruik voor de teelt in de SunergieKas

Elektriciteitsstroom	kWh/(m <sup>2</sup> jaar)
productie door WKK	96
Inkoop uit net	46
verkoop aan net	47
verbruik warmtepomp	44
verbruik koelers	16
verbruik circulatiepompen	11
verbruik luchtbehandelingkast	11
verbruik bronpompen	10
basisverbruik (meet en regel, kleppen, water)	3

De resultante van het netto stroomverbruik (96 kWh) is deels gemeten (circulatiepompen, ventilatoren en basisverbruik) en deels berekend met het ketelhuissimulatieprogramma (de overige posten).

Het voor de SunergieKas bepaalde stroomverbruik ligt wat hoger dan het vooraf ingeschatte verbruik van 91 kWh per m<sup>2</sup> per jaar, maar hiervoor is niet één duidelijke veroorzaker aan te wijzen. Het zijn allemaal kleine afwijkingen naar boven die ervoor zorgen dat er alles bij elkaar wat meer stroom is verbruikt.

Overigens kan er met de inkoop en verkoop van elektriciteit een duidelijke marge worden gemaakt omdat de inkoop voor 75 % van de uren in het daltarief valt, terwijl de verkoop juist voor 75 % van de gevallen tijdens de plateau-uren valt.

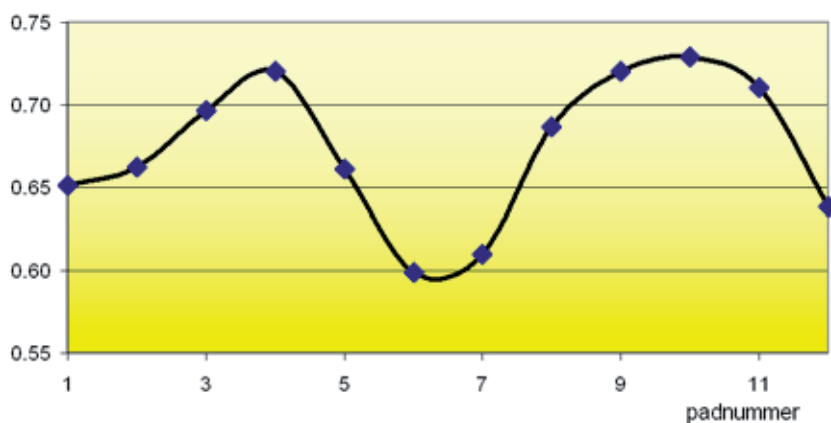
## 5.2.4 Teeltkundige ervaringen

De tomatenteelt in de SunergieKas is zeer voorspoedig gelopen. Voor veel tomatentelers en andere kenners die bij de rondleidingen de SunergieKas bezochten gold de stand van het gewas als voorbeeld. Het goede verloop van deze teelt was overigens mede te danken aan het feit dat er in de komkommerteelt die in de periode voorafgaand aan de onderzoeksfase al de benodigde ervaring met de teelt in de SunergieKas was opgedaan. Succesvol telen in een gesloten kas zoals de SunergieKas vereist namelijk altijd enige aanlooptijd om het precieze gedrag van de koeling, ontvochtiging en verwarming van de kas in de vingers te krijgen. Zo is de ervaring in de komkommerteelt, dat koeling van bovenaf een beter resultaat oplevert dan koeling van onderuit, ook in tomatenteelt met succes benut.

De jaaropbrengst aan kwalitatief hoog gewaardeerde tomaten bedroeg 76.8 kg per m<sup>2</sup> en dat is ongeveer 10 % meer dan de toptelers in standaard kassen in 2009 hebben gerealiseerd.

In de laatste maanden van de teelt was er echter wel sprake van een forse botrytis aantasting. Dit heeft een klein negatief effect op de productie gehad, maar was vooral erg bewerkelijk in de bestrijding (blad wegplukken, aangetaste plekken aansmeren). De hoge botrytisdruk werd veroorzaakt door een combinatie van enkele tegenslagen (een onzorgvuldigheid in de kasklimaat besturing, een doorgemaakte waterafvoer waardoor de kas kortstondig blank stond) en de beperkte ventilatiecapaciteit van de kas. Er kon maximaal 16 m<sup>3</sup> buitenlucht per m<sup>2</sup> per uur door de kas worden geblazen. Dit is voor een tomatenteelt in theorie voldoende, maar biedt in het najaar geen enkele overcapaciteit om fouten of calamiteiten te kunnen opvangen. Voor warmer geteelde gewassen, of gewassen die wat minder verdampen, zou deze 16 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> uur) wel hebben volstaan.

Hoewel de productie als zeer goed is gekwalificeerd, blijft de productiestijging achter ten opzichte van de waarde die in het ontwerpdocument is genoemd (23 %). Dit komt enerzijds doordat het CO<sub>2</sub>-effect in het ontwerpdocument erg hoog is ingeschat, wat vooral te maken heeft met de gekozen referentie. 10 % Meerproductie ten opzichte van de koplopers betekent al gauw 15 % meerproductie ten opzichte van de middenmoot. Anderzijds is de lichttransmissie van de SunergieKas niet zo hoog als waarvan in het ontwerpdocument was uitgegaan.



Figuur 20. Gemiddelde diffuse lichttransmissie boven de 12 paden in de SunergieKas

De extra scherm-installatie, de boven het gewas hangende koelers, het afzien van de bouw van een Super Glas Kas en de kleine schaal van de kas, maken dat de lichttransmissie in de praktijk gemiddeld 68 % bedraagt (zie Figuur 20.), terwijl er in het ontwerpdocument van 77 % was uitgegaan.

Bij de bouw van een kas zoals de SunergieKas op hectare-schaal zou een gemiddelde lichttransmissie van 70 % reëel zijn. Dit is iets lager dan de lichttransmissie in een moderne kas groentekas, welke 73 % haalt. Blijkbaar wordt de lichtwinst van het achterwege laten van ramen en het gebruik van hoog doorlatend glas meer dan tenietgedaan door de extra onder-schepping ten gevolge van de koelers en het extra scherm.

## 5.2.5 Samenvatting SunergieKas

De netto energieproductie van de SunergieKas is beduidend lager dan in het ontwerpdocument was verwacht. De netto energieproductie is uitgekomen op 2 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten per m<sup>2</sup> per jaar waar er 50 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> verwacht werd. Deze grote teruggang heeft deels te maken met de bewuste keus om de warmteterugwinning op de uitgeblazen warme en vochtige kaslucht achterwege te laten. Dit heeft de bouwkosten aanzienlijk verlaagd en de besturing van de technische installaties vereenvoudigd, maar heeft ook ongeveer 15 m<sup>3</sup> netto energieproductie gekost.

De belangrijkste oorzaak voor de veel kleinere netto energieproductie dan waarvan was uitgegaan is het feit dat lang niet alle energie die de kas in komt in warmte wordt omgezet. Bij de berekening van de koellast van kassen (en dat is bij een gesloten kas de basis van de warmte-oogst van de kas) werd er altijd vanuit gegaan dat het zonlicht dat in de kas binnenkomt voor 90 % door gewas en kasconstructie wordt omgezet in warmte. Hierdoor werd er altijd gerekend met een benodigd koelvermogen in de orde van 550 tot zelfs 700 W/m<sup>2</sup>. Deze koelvermogens blijken in de praktijk bij lange na niet aan de orde te zijn en een kas met een volgroeid tomatengewas blijkt niet meer dan zo'n 60 % van het invallende zonlicht te absorberen. Er wordt een veel groter deel van het zonlicht dan verwacht gereflecteerd en het benodigde koelvermogen is hierdoor slechts maximaal 400 W/m<sup>2</sup>. De hoeveelheid zonne-energie die kan worden verzameld wordt hierdoor echter ook beperkt.

Qua productie heeft de SunergieKas laten zien dat er een uitstekend product in geteeld kon worden, zij het dat de productiestijging kleiner was dan de 23 % die in het ontwerpdocument werd genoemd. Uiteraard is bij het noemen van relatieve effecten de gehanteerde referentie altijd van groot belang. Ten opzichte van top tomatentuinders was de productiestijging in de SunergieKas in 2009 10 % en ten opzichte van de middenmoot 15 %.

## 5.3 FlowdeckKas

### 5.3.1 Van ontwerp naar demonstratieobject

Ook bij de FlowdeckKas zijn er behoorlijke verschillen aangebracht tussen het oorspronkelijk ontwerp en de uiteindelijke realisatie. Onderstaand worden de vier belangrijkste wijzigingen genoemd.

#### **Focus van hoogwaardige energie naar levering van laagwaardige energie**

Het ontwerpdocument van de FlowdeckKas beschrijft een zeer energiezuinig kassysteem wat relatief grote hoeveelheden energie inkoopt (40 m<sup>3</sup> aardgas). Door inzet van de WKK wordt hiermee vooral elektriciteit voor het openbare net geproduceerd en afvalwarmte als hoogwaardige warmte die tegen een goede prijs wordt verkocht (80 % van de equivalente ketelwarmte waarde).

Het tweede kenmerk van het ontwerp van de FlowdeckKas is het feit dat er veel warmte aan het kasdek verloren gaat door het feit dat het dek op 13 °C gehouden wordt. Dit werd bij het ontwerp als minder belangrijk gezien omdat dit laagwaardige warmte uit de aquifer betreft, waarvoor bij levering aan derden geen goede prijs kan worden verkregen.

Een derde kenmerk is dat het ontwerp van de FlowdeckKas de opwerking van de laagwaardige warmte uit de aquifer naar 45 °C ten behoeve van de levering aan derden voor eigen rekening neemt. Deze service is verantwoordelijk voor ongeveer de helft van het elektriciteitsverbruik van de kas.

In de periode tussen de indiening van het ontwerp en de realisatie van de demo is de zienswijze met betrekking tot de inzet van de WKK behoorlijk veranderd. Het ontwerpdocument ging voorbij aan het feit dat minstens de helft van de hoogwaardige energie beschikbaar komt tijdens de zomerperiode, waarin er vrijwel geen koopkrachtige vraag is naar die warmte, terwijl er geen buffer-mogelijkheden voor die warmte beschreven werden.

Voor de realisatie van de demo is het oorspronkelijke ontwerp dus helemaal op de schop gegaan. In plaats van focus op de levering van elektriciteit en hoogwaardige warmte, is de focus verplaatst naar de levering van goed bufferbare laagwaardige warmte en een beperking van het warmteverlies. Dit warmteverlies is sterk beperkt door het dek alleen nog overdag met water te vullen en zo en maximale isolatie te realiseren. Bovendien is er een energiescherm geplaatst en is er gebruik gemaakt van een ontvochtigingsunit met warmteterugwinning. In plaats van de plaatsing van een 250 kWe WKK per hectare FlowdeckKas is een machine van 90 kWe per hectare gekozen.

### **Toevoeging van een energiescherm**

In bovenstaande opsomming van de isolatieverhogende onderdelen valt het energiescherm op dat in het oorspronkelijke ontwerp was weggelaten. Doordat dit scherm aan de demo is toegevoegd heeft de noodzaak om het dek op 13 °C te houden aan gewicht ingeboet. In het uiteindelijke voorstel voor de demo wordt het dek dan ook 's nachts standaard afgeapt om de warmteweerstand te maximaliseren en zuinig om te springen met de in de zomer verzamelde warmte, ook al is die op lage temperatuur.

### **Ontvochtiging met warmteterugwinning**

Vanwege de verschuiving van het accent in de richting van een verdere verhoging van de isolatiegraad is in het uiteindelijke ontwerp gebruik gemaakt van ventilatie met warmteterugwinning. Hiervoor is een geavanceerd balansventilatiesysteem geïnstalleerd dat met een grote nauwkeurigheid de luchtvochtigheid door het gecontroleerd binnenlaten van buitenlucht kan regelen.

### **Levering van laagwaardige warmte op 18 °C in plaats van opgewerkt tot 45 °C**

Tenslotte is in het uiteindelijke ontwerp afgezien van het opwerken van het temperatuurniveau van de te leveren laagwaardige warmte. Door de verantwoordelijkheid hiervoor bij de afnemende partij te leggen, en tevens de prijs voor de te leveren warmte aanzienlijk te verlagen kan het energetisch en financieel rendement van warmtebenutting toenemen. Het energetisch rendement neemt toe omdat er minder warmteverliezen in het distributienet zullen optreden en het financieel rendement van de warmtelevering neemt toe omdat de warmte-infrastructuur uit niet-geïsoleerde leidingen kan worden aangelegd. Bovendien zullen gebruikers van de warmte niet altijd 45 °C nodig hebben en elke graad die de aflevertemperatuur zakt komt ten goede aan de verbetering van de COP voor de warmte-opwerking.

Doordat de FlowdeckKas de opwerking van de warmte aan de afnemer overlaat (tegen een forse korting op de warmte) neemt ook de benodigde capaciteit van de warmtepomp af.



*Figuur 21. Het interieur van de FlowdeckKas*

Het uiteindelijke verdienmodel dat ten grondslag ligt aan de FlowdeckKas is daarmee vergelijkbaar aan dat van de SunergieKas. Het is gebaseerd op een minimale inkoop van gas, het behalen van handelsvoordeel uit het verkopen van elektriciteit tijdens de plateau-uren en het zo nodig inkopen van elektra tijdens de daluren en het verkopen van laagwaardige warmte die in de zomer aan het kasdek is onttrokken, aangevuld met warmte die de koelers verzamelen.

### 5.3.2 Het Bouwproces

De bouw van de standaardcomponenten van de FlowdeckKas is zonder problemen verlopen, maar het watervoerende kasdek heeft heel veel hoofdbrekens gekost en is uiteindelijk niet tot een werkend systeem gekomen. Het probleem lag vooral in de realisatie van een waterdichte aansluiting tussen de kunststof kanaalplaten en de aluminium koppelstukken voor de aan- en afvoer van water en de ontluchting. De oorspronkelijk beoogde klemconstructie was onvoldoende bestand tegen de dynamische vervormingen die voortdurend in een praktijkkas optreden. Daarom is in de teeltwisseling (december 2009) begonnen met de vervanging van de kanaalplaten door een plaat met een nieuwe uitvoeringsvorm van deze koppelstukken. De vervanging verliep zeer traag door de moeizame logistiek (de platen moesten per tranche uitgewisseld worden) en door het grote verlies aan werkzame dagen in de koude winter van 2010. Nadat het grootste deel van de platen omgewisseld was bleef het probleem met de moeizame ontluchting en het slechte leeglopen van de platen bestaan, waarna besloten is om de ontwikkeling vna het flowdeck af te breken. Dit mede omdat er inmiddels ontwikkelingen waren in isolerende glazen panelen die ook zonder watervulling een goede lichtdoorlatendheid geven.

De andere nieuwe component die in de FlowdeckKas is toegepast is de ontvochtiging door middel van een balansventilatiesysteem met warmteterugwinning. Dit onderdeel heeft van het begin af aan goed gewerkt.



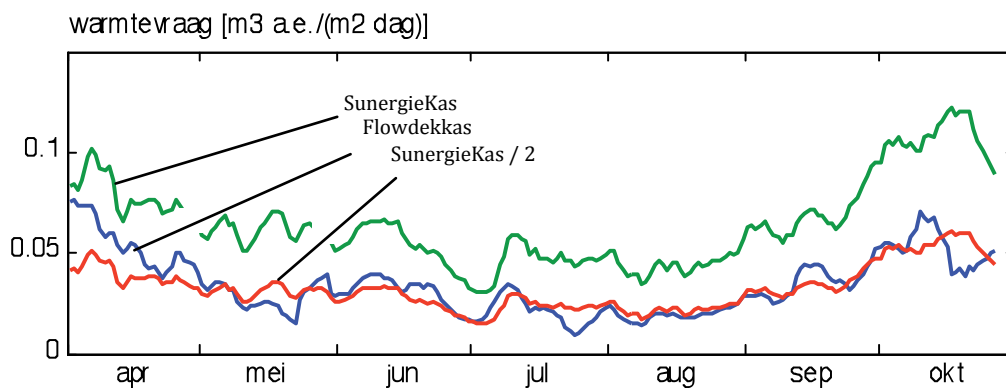
*Figuur 22. De FlowdeckKas op het IDC*

### 5.3.3 Energieprestatie

De FlowdeckKas is van 1 april tot half november 2009 in bedrijf geweest en heeft daarmee het grootste deel van de zomerperiode gefunctioneerd, zij het op behoorlijk andere wijze dan beoogd. De koeling heeft namelijk niet met het kasdek plaatsgevonden maar is geheel door de airconditioning units verzorgd.

De kas heeft dus geen jaarrond gefunctioneerd en dat bemoeilijkt uiteraard de analyse van de energieprestatie.

In de korte periode waarover wél data beschikbaar waren is evenwel geconstateerd dat de FlowdeckKas zeer weinig warmte vraagt. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 23, waar de dagelijkse warmtevraag van de FlowdeckKas wordt vergeleken met de warmtevraag van de SunergieKas. De kassen hadden een vergelijkbare stooktemperatuur en in beide kassen werden tomaten geteeld (hoewel verschillende rassen).



*Figuur 23. Vergelijking van de dagelijkse warmtevraag van de SunergieKas met die van de FlowdeckKas gedurende een overlappende meetperiode in 2009*

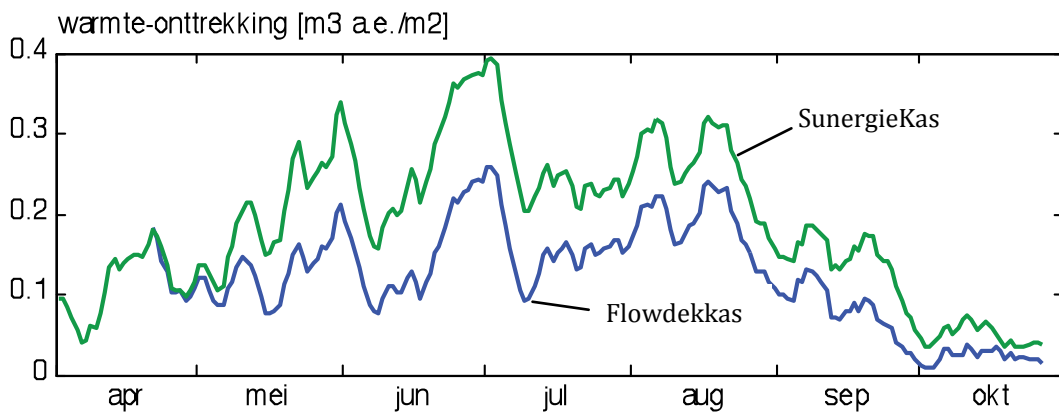
Uit Figuur 23. blijkt dat over de periode waarin de FlowdeckKas heeft gefunctioneerd, de warmtevraag van de ongeveer de helft van de warmtevraag van de SunergieKas was. Daarom is voor de berekening van het jaarrondperspectief gesteld dat voor alle dagen waarop de FlowdeckKas niet gewerkt heeft, de warmtevraag wordt geschat door hiervoor de helft van de warmtevraag van de SunergieKas te gebruiken.

Ook het elektriciteitsverbruik van de FlowdeckKas voor het rondpompen van verwarmingswater en het aandrijven van ventilatoren is gedurende de meetperiode de helft geweest van het elektriciteitsverbruik van de SunergieKas. Voor de ontbrekende periode (dat is van 16 december 2008 tot april 2009 en van november en begin december 2009) zijn dus ook deze data uit de metingen aan de Suneriekas gestedilleerd.

Voor de warmteoogst was in het ontwerp van de FlowdeckKas een rol voor het kasdek voorzien die bij een tekort aan koelcapaciteit kon worden aangevuld met koeling door koelers bovenin de kas. Door het niet functionerende kasdek is in de beproeving van het ontwerp uitsluitend gewerkt met de koelers.



Een vergelijking van de hoeveelheid energie die uit de FlowdeckKas is verzameld met de energie die de SunergieKas heeft verzameld levert het overzicht in Figuur 24.

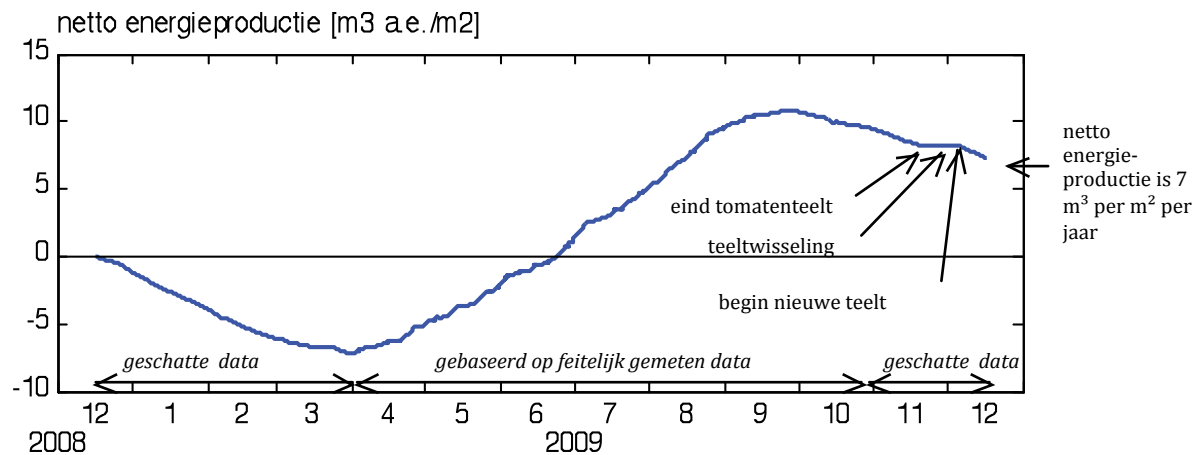


Figuur 24. Vergelijking van de dagelijkse warmteonttrekking van de SunergieKas met die van de FlowdeckKas gedurende een overlappende meetperiode in 2009

De meetgegevens t.a.v. de warmteverzameling uit de FlowdeckKas beginnen pas eind april omdat de warmtemeters niet vanaf het begin van de meetperiode uitgelezen konden worden. Bij vergelijking van de warmteopst vanuit de SunergieKas met de warmteopst uit de FlowdeckKas is te zien dat midden in de zomer de FlowdeckKas ongeveer 30 % minder dan SunergieKas verzamelt, en in het voor en najaar 20 % minder dan de SunergieKas.

De ontbrekende meetdata voor wat betreft de koeling vallen allemaal in dat voor en najaar, en zijn daarom ingeschat door 80 % van de warmte-onttrekking van de SunergieKas te gebruiken.

Wanneer op bovengenoemde manier een jaarrond-overzicht van de energieprestatie van de FlowdeckKas wordt gemaakt dan ontstaat het beeld dat in Figuur 25. is getoond.



Figuur 25. Cumulatieve energieproductie in een jaarrondperiode voor de FlowdeckKas

Het profiel van netto energieproductie van de FlowdeckKas toont het bekende verloop, bestaande uit een stijgende lijn in de periode van april t/m september en een dalende lijn in de overige maanden. Gedurende de warme periode verzamelt de FlowdeckKas netto zo'n 18 m<sup>3</sup> a.e. aan warmte in de aquifer per m<sup>2</sup> kas (het verschil tussen het laagste en hoogste punt in Figuur 25.). Door het lage eigen verbruik van de FlowdeckKas (die een driedubbele kanaalplaat in het dek heeft en daaronder nog een energiescherm) daalt de lijn in de periode van eind september tot 16 december maar heel weinig waardoor de netto energieproductie op 7 m<sup>3</sup> a.e. per m<sup>2</sup> per jaar uitkomt. Deze netto energieproductie is laagwaardige energie in de vorm van grondwater dat tot ongeveer 15 °C is opgewarmd en die is opgeslagen in een aquifer.

Het eigen hoogwaardige energieverbruik van de FlowdeckKas bedraagt 13 m<sup>3</sup> en, gecombineerd met dit netto energieoverschot van 7 m<sup>3</sup> a.e., volgt hieruit dat er aan het eind van een jaarrond periode 20 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten ten behoeve van een afnemende partij is verzameld. Ook hier geldt weer dat er pas daadwerkelijk sprake is van een energieproducerende kas als een derde partij de warmte afneemt.

Wanneer de in de praktijk te verwachten netto energieproductie van de FlowdeckKas wordt vergeleken met de in het ontwerpdocument genoemde waarde van 25 m<sup>3</sup> a.e. is ook hier een belangrijk lager resultaat gerealiseerd dan oorspronkelijk genoemd. Bij de FlowdeckKas komt dit vooral omdat het ontwerp uitging van de levering van afvalwarmte en elektriciteit uit een beduidend grotere WKK dan de WKK in die in de uiteindelijke realisatie is toegepast.

### 5.3.3.1 Elektriciteit

De FlowdeckKas is behalve met warmte ook erg zuinig met het gebruik van elektriciteit, met name ook door de lage warmtevraag. Hierdoor hoeft de warmtepomp aanmerkelijk minder te draaien dan bij de SunergieKas. Over de jaarrond-periode gerekend waren de jaartotalen zoals getoond in Tabel 2.

Tabel 2. Elektriciteitproductie en –verbruik voor de teelt in de FlowdeckKas

Elektriciteitsstroom	kWh/(m <sup>2</sup> jaar)
productie door WKK	47
Inkoop uit net	22
verkoop aan net	23
verbruik warmtepomp	14
verbruik koelers	10
verbruik circulatiepompen	6
verbruik luchtbehandelingkast	4
verbruik bronpompen	9
basisverbruik (meet en regel, kleppen, water)	3

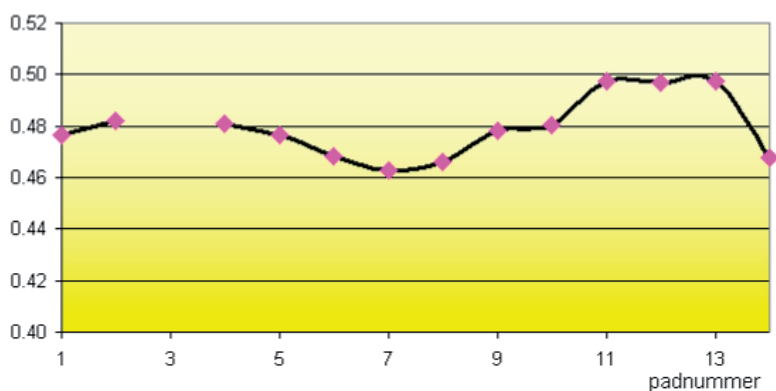
De FlowdeckKas kan met de inkoop en verkoop van elektriciteit een zekere marge creëren omdat de inkoop voor 75 % van de uren in het daltarief valt, terwijl de verkoop juist voor 75 % van de gevallen tijdens de plateau-uren valt.

### 5.3.4 Teeltkundige ervaringen

Het tomatengewas in de FlowdeckKas is op een zeer ongebruikelijk tijdstip geplant zodat er moeilijk een vergelijking met de teeltresultaten van andere tuinders gemaakt kan worden. De teeltkundige ervaringen moeten dus vooral gebaseerd worden op een kwalitatief oordeel van de mensen die het gewas verzorgd hebben.

De gewasverzorgers waren goed te spreken over de temperatuur- en luchtvochtigheidsbeheersing in de kas, hoewel er in september en oktober wel veel arbeid nodig was om de gevolgen van botrytis-aantastingen te pareren. De achtergrond van de grote botrytis aantasting was dat er te laat gebruik is gemaakt van de luchtramen ter verlaging van de luchtvochtigheid. De FlowdeckKas heeft een luchtverdeelsysteem onder de goot waarmee 7.5 m<sup>3</sup> buitenlucht per m<sup>2</sup> per uur kan worden ingeblazen. Dit is in de vochtige en warme herfstmaanden te weinig en daarom heeft de FlowdeckKas ook gewone luchtramen. In tegenstelling tot de ontvochtiging met het luchtverdeelsysteem wordt het warmteverlies bij ontvochtiging met de luchtramen niet teruggewonnen. Hierdoor worden de ramen dus echt als laatste 'redmiddel' ingezet en in deze eerste teelt in de FlowdeckKas is dit, achteraf gezien, te laat gedaan.

Het niet werkende flowdeck gaf een forse verlaging van de lichttransmissie van de kas. De gemiddelde lichttransmissie van het dek zonder watervulling lag rond de 48 % (zie Figuur 26.) en dit heeft zeker tot groeivertraging geleid. De teeltvergers schatten een minderproductie van ongeveer 5 % ten opzichte van de praktijk.



Figuur 26. Gemeten lichttransmissie in de FlowdeckKas waarbij de dekpanelen niet met water gevuld zijn

In laboratoriumomstandigheden is gemeten dat een lege en droge kanaalplaat van de FlowdeckKas een diffuse lichtdoorlatendheid van 65 % heeft, terwijl dezelfde plaat na vulling met water een lichtdoorlatendheid van 74 % heeft. Een lege maar 'natte' kanaalplaat, dus een kanaalplaat met condensdruppels aan de binnenkant is niet gemeten, maar zal rond de 60 % transmissie uitkomen. Hiervan uitgaande kan worden berekend dat indien de watervulling naar verwachting zou hebben gewerkt de lichttransmissie van de kas 59 % zou zijn geweest<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> De lichttransmissie volgt uit de lichttransmissie van het dek × de lichttransmissie van de overige constructiedelen. De lichttransmissie van de overige constructiedelen volgt dus uit  $48 / 0.60 = 80\%$ . Het sommetje opnieuw gemaakt voor een dektransmissie van 74 % levert een kastransmissie van  $0.74 (\text{dek}) * 0.80 (\text{constructie}) = 0.59$ , dus 59 % transmissie.

## 5.4 Vergelijking van energieprestaties

Voor de vergelijking van de energieprestaties van de demonstratieobjecten zoals die in 2009 op het IDC hebben gefunctioneerd kunnen de grafieken van Figuur 11., Figuur 19. en Figuur 25. met elkaar vergeleken worden. Het is duidelijk dat de ZonWindKas (Figuur 11., na correctie voor het gebruik van een scherm) dan de laagste netto energie productie oplevert (-6 m<sup>3</sup> a.e.) en de FlowdeckKas (Figuur 25.) levert de grootste netto energieproductie (7 m<sup>3</sup> a.e.). De SunergieKas zit hier met 2 m<sup>3</sup> a.e. tussenin. Overigens is er bij het noemen van een verbruik van 6 m<sup>3</sup> voor de ZonWindKas al vanuit gegaan dat de ZonWindKas de gehele meetperiode mét een energiescherm had gefunctioneerd.

Deze getallen gaan echter geheel voorbij aan het feit dat de FlowdeckKas en de SunergieKas de 'energieproductiebalans' positief krijgen met de levering van grote hoeveelheden laagwaardige energie en daarbij een relatief grote input aan hoogwaardige energie verbruiken (27 m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> voor de SunergieKas en 13 m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> voor de FlowdeckKas).

Tabel 3 laat dit zien.

Tabel 3. Energie-kentallen voor de drie kasontwerpen

	ZonWindKas	SunerjieKas	FlowdeckKas
Warmtevraag	28 m <sup>3</sup> a.e. (max 60 °C)	31 m <sup>3</sup> a.e. (max 50 °C)	16 m <sup>3</sup> a.e. (max 40 °C)
ingevuld door	zonnewarmte+ketel	warmtepomp+wkk	warmtepomp+wkk
Elektravraag	7 kWh	97 kWh	47 kWh
ingevuld door	windmolen (netgek.)	WKK (netgekoppeld)	WKK (netgekoppeld)
Energie-input	6 m <sup>3</sup> aardgas	27 m <sup>3</sup> aardgas	13 m <sup>3</sup> aardgas
Energie-output	0	29 m <sup>3</sup> a.e. (laagw. warmte)	20 m <sup>3</sup> a.e. (laagw. warmte)
Netto E-productie	-6 m <sup>3</sup> a.e. hoogw.	2 m <sup>3</sup> a.e. (laagw. warmte)	7 m <sup>3</sup> a.e. (laagw. warmte)

## 5.5 Economische bespiegelingen

De economische rentabiliteit van energieproducerende kassen is gebaseerd op de besparingen op variabele kosten en/of de verkoop van energie-commodities en/of een toegenomen productie die samen zodanig groot zijn dat de meerinvesteringen binnen afzienbare tijd worden gecompenseerd.

In § 4.4 is aangegeven dat, op grond van de aannames voor wat betreft investeringen en de saldi van de jaaropbrengsten, de langs uniforme weg berekende terugverdientijden variëren tussen de 25 en 4 jaar, afhankelijk van het ontwerp en afhankelijk van de gasprijs (en de daaraan gekoppelde prijzen van andere energiecommodities).

In de periode tussen ontwerp en realisaties zijn de inzichten van de consortia m.b.t. de focus en werking van het ontwerp gewijzigd en zijn er concrete resultaten van de werking van de kassen verzameld. Dit geeft veranderingen in de investeringskosten voor de kas en veranderingen in de outputs die aan de ontwerpen toegekend kunnen worden.

In dit hoofdstuk worden de veranderde investeringskosten en de op grond van de ervaring geactualiseerde outputs van de kassen per ontwerp op een rijtje gezet. Analoog aan § 4.4 wordt vervolgens met behulp van dezelfde uitgangspunten voor wat betreft energie-commodities de geactualiseerde terugverdientijden van de verschillende ontwerpen berekend als functie van de gasprijs.

## 5.5.1 Geactualiseerde economische parameters van de ZonWindKas

In vergelijking met de economische parameters uit het ontwerpdocument zijn er bij de gerealiseerde demo's een paar duidelijke wijzigingen aangebracht.

1. In de eerste plaats is de grote onbalans tussen elektriciteitsproductie van de oorspronkelijke windmolen en het lage verbruik van de ZonWindKas recht getrokken door te rekenen met een veel kleinere windmolen. Gegeven de elektriciteitsbehoefte van 7 kWh per m<sup>2</sup> per jaar, is een windmolen van 40 kW per ha voldoende om het elektriciteitsverbruik van de kas te compenseren. Dit levert een vermindering van de investeringskosten op van € 24 (maar ook een afname van de inkomsten uit elektriciteitsverkoop).
2. Een grote verandering ten opzichte van het ontwerpdocument zijn de kosten die in rekening gebracht worden voor de bouw van het ondergronds opslagsysteem. In het ontwerpdocument was dit begroot op € 35, exclusief het grondwerk. Deze € 35 had betrekking op de zwevende vloer waaronder de buffer moet worden aangebracht en de foliematerialen ten behoeve van de buffers, maar niet het isolatiemateriaal (aan de boven en onderkant bij elkaar bijna 1 meter dik). Als het grondwerk en de isolatie worden meegerekend dan wordt de buffer ongeveer € 50 per m<sup>2</sup> duurder.
3. Het feit dat in het experiment vanaf de jaarwisseling de warmtevoorraad was opgebruikt impliceert dat de eerdere besparing op de ketel en energiescherm en het daaraan toegerekende onderhoud niet reëel is. Zelfs mét een energiescherm is er nog een ketel nodig. De in het ontwerpdocument genoemde besparing van € 21 op deze twee componenten moet dus weer worden teruggedraaid. Omdat de ketel voor de ZonWindKas kleiner zal kunnen zijn dan de gebruikelijke ketels en er een goedkopere scherminstallatie kan worden aangebracht dan de gebruikelijke combinatieschermen (een combinatie van energieschermen en schaduwsschermen) worden de investeringen met slechts € 12 in plaats van € 21 verhoogd. De in het ontwerpdocument genoemde besparing op onderhoud van € 1,80 wordt verlaagd tot een besparing op onderhoud van € 1 per m<sup>2</sup> per jaar.
4. Qua energiebesparing wordt in het ontwerpdocument gerekend ten opzichte van een referentie van 54 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> per jaar. Deze referentie heeft echter geen betrekking op een teelt en klimaat zoals dat in het experiment heeft plaatsgevonden, maar op een veel energie-intensievere teelt. Het normverbruik voor een potanthurium teelt is (slechts) 34 m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> per jaar. Gegeven de verwachting dat mét een energiescherm er nog een resterend verbruik van 6 m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> per jaar zal zijn bedraagt de reële besparing 34-6 = 28 m<sup>3</sup> a.e.

### Samenvattend voor de ZonWindKas:

Veranderingen in investeringen (ten opzichte van het ontwerpdocument)

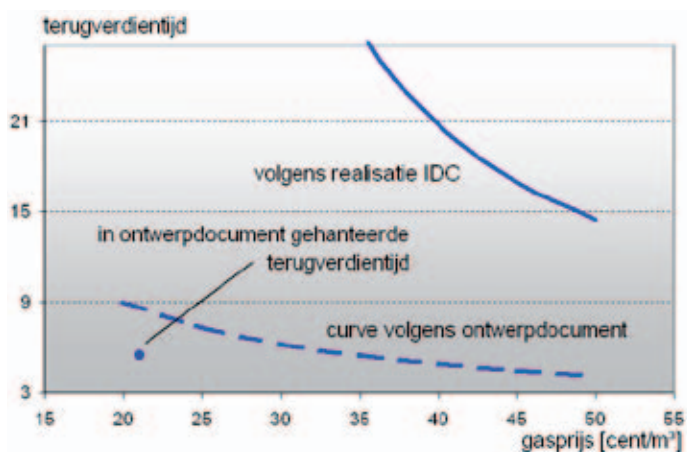
- Kleinere windmolen: -24 € per m<sup>2</sup>
- Grondwerk+ondergrondse buffer: +50 € per m<sup>2</sup>
- Ketel + scherm: +12 € per m<sup>2</sup>

Netto: Investerings met € 38 omhoog naar € 142 per m<sup>2</sup>

Veranderingen in variabele opbrengsten (ten opzichte van het ontwerpdocument)

- Gasbesparing: 28 m<sup>3</sup> in plaats van 54 m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup>
- Daling van de onderhoudskosten geen € 1,80 maar € 0,80 per m<sup>2</sup>
- geen inkomsten uit elektriciteitslevering aan openbaar net : 57 kWh × stroomprijs

In Figuur 27. zijn de resultaten van de berekening van de terugverdientijd met de geactualiseerde economische kengtallen als functie van de gasprijs getekend. Deze figuur is analoog aan Figuur 6. (waar de terugverdientijd als functie van de gasprijs voor de drie ontwerpen werd getoond).



Figuur 27. Terugverdiertijd van de ZonWindKas als functie van de gasprijs volgens de uitgangspunten van het ontwerpdocument en volgens de geactualiseerde gegevens

Het is duidelijk dat de terugverdiertijd voor de ZonWindKas, zoals die kan worden afgeleid uit de ervaringen op het IDC, zeer veel langer is dan de in het ontwerpdocument genoemde terugverdiertijd.

## 5.5.2 Geactualiseerde economische parameters van de SunergieKas

In vergelijking met de economische parameters uit het ontwerpdocument zijn er ook bij de gerealiseerde SunergieKas demo een paar duidelijke veranderingen opgetreden.

1. Bij de bouw van de SunergieKas zijn flinke besparingen doorgevoerd in de warmtewisselaars door de keus van installaties met een betere prijs/prestatie verhouding. De kosten voor de warmtewisselaars dalen daardoor met € 35 maar dit is gedeeltelijk ten koste van de energieprestatie gegaan (het afzien van warmteterugwinning uit de ventilatielucht).
2. Bij vergelijking van de kosten voor een aquifer met een capaciteit van 200 m<sup>3</sup> per ha per uur bij de SunergieKas en het ontwerp voor de FlowdeckKas voor een vergelijkbare aquifer valt op dat er bijna een factor twee verschil in zit. Het probleem voor de kosten van aquifers is dat deze sterk van de locatie afhankelijk zijn, waardoor zo'n prijsverschil niet irreëel is. Voor een vergelijkbaar beeld ten aanzien van de economische perspectieven van de verschillende ontwerpen is het evenwel nodig dat die kosten geüniformeerd worden. Als er wordt uitgegaan van een het gemiddelde van deze twee prijzen dan zou zo'n aquifer van 200 m<sup>3</sup>, inclusief de buffer voor peak shaving, uitkomen op een investering van € 35,50. De metingen op het IDC geven echter aan dat de benodigde koelvermogens kleiner zijn dan oorspronkelijk gedacht en daarom kan de aquifer ook een wat kleinere capaciteit hebben. 150 m<sup>3</sup> per ha per uur blijkt voldoende. Als wordt gesteld dat een ¼ minder capaciteit tot 15 % kostendaling leidt dan komt een buffer van 150 m<sup>3</sup> per ha per uur op een investering van € 30 per m<sup>2</sup>. Voor de SunergieKas zakken de investeringskosten op dit punt dus met 15 euro per m<sup>2</sup> (en stijgen de kosten voor de aquifer bij de FlowdeckKas met 4 euro per m<sup>2</sup>).
3. Een derde punt met een duidelijke invloed op de investeringen is de keus voor een beweegbaar tweede scherm in plaats van het gebruik van eenmalig bruikbaar folie. Bij gelijktijdige montage met het eerste scherm kost dit 7 euro per m<sup>2</sup> extra, maar doordat er niet jaarlijks nieuw folie hoeft te worden aangebracht en verwijderd, komt er daling van de variabele kosten van € 0.80 per m<sup>2</sup> per jaar.

4. Qua variabele kosten is er een klein voordeel behaald (het praktijkexperiment gebruikte 4 m<sup>3</sup> aardgas per m<sup>2</sup> minder), maar zijn er vooral flink lagere inkomsten uit laagwaardige warmteverkoop en was de meerproductie slechts 10 % in plaats van de aangegeven 23 %. De laagwaardige warmte die wél kon worden verkocht is ook tegen een lagere prijs verkocht dan in het ontwerpdocument is aangegeven.
5. Wanneer de kosten die in het ontwerpdocument voor de Sunergiekas voor de WK-installatie en warmtepomp zijn genoemd worden vergeleken met de kosten die in het ontwerpdocument voor de FlowdeckKas voor deze machines worden genoemd blijkt er een groot verschil voor vergelijkbare machines. De in het Flowdeck Ontwerpdocument genoemde kosten komen neer op € 500 per kW voor WKK-installaties en € 125 per kW thermisch vermogen voor een warmtepomp (bij een gemiddelde COP=4). Deze bedragen zijn reëel zodat de kosten voor WK en warmtepomp in de Sunergiekas geen € 25 zijn maar € 19 per m<sup>2</sup>.

#### Samenvattend voor de SunergieKas (alles per m<sup>2</sup>):

Veranderingen in investeringen (ten opzichte van het ontwerpdocument)

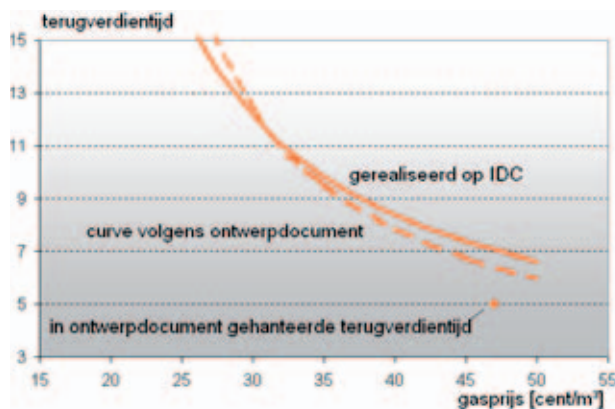
- Goedkopere luchtbehandelingsunits en geen dubbele blokken: - 35 per m<sup>2</sup>
- Goedkoper aquifersysteem: - 15 per m<sup>2</sup>
- Dubbel scherminstallatie: +7 per m<sup>2</sup>
- Goedkopere warmtepomp + WKK-installatie: -6 per m<sup>2</sup>

Netto: investeringen met € 49 per m<sup>2</sup> omlaag naar € 84 per m<sup>2</sup>

Veranderingen in variabele opbrengsten (ten opzichte van het ontwerpdocument)

- Gasverbruik 27 i.p.v. 31 m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup>
- Warmtelevering 29 m<sup>3</sup> a.e. per m<sup>2</sup> in plaats van 80 m<sup>3</sup> a.e. per m<sup>2</sup> en lagere prijs
- Meerproductie 10 % in plaats van 23 %
- Besparing op gebruik van vast folie: € 0.80 per m<sup>2</sup>

Als de consequenties van deze wijzigingen in beeld worden gebracht in een figuur zoals Figuur 6. (waar de terugverdientijd als functie van de gasprijs voor de drie ontwerpen werd getoond) dan geeft dit voor de SunergieKas het volgende beeld (Figuur 28.).



Figuur 28. Terugverdientijd van de SunergieKas als functie van de gasprijs volgens de uitgangspunten van het ontwerpdocument en volgens de geactualiseerde gegevens

Uit Figuur 28. kan worden geconcludeerd dat verminderde opbrengst uit de energielevering (zowel qua waarde als qua hoeveelheid) en de lagere meeropbrengsten een dusdanig gewicht in de economische balans leggen dat de terugverdientijd langer is dan waarvan op grond van het ontwerpdocument vanuit gegaan moest worden.

### 5.5.3 Geactualiseerde economische parameters van de FlowdeckKas

Het verdienmodel voor de uiteindelijke FlowdeckKas is niet gebaseerd op de verkoop van *elektriciteitn, hoogwaardige warmte en opgewerkte laagwaardige warmte*, maar op de levering van *niet opgewerkte laagwaardige warmte*. Hierdoor is de uiteindelijk gekozen WKK aanzienlijk kleiner (investeringen € 7.50 per m<sup>2</sup> minder), daalt het eigen elektriciteitsverbruik en kan er een veel kleinere warmtepomp worden gebruikt (investeringen € 5 per m<sup>2</sup> minder).

Ten behoeve van het uniformeren van de kosten voor een aquifer moeten de kosten voor deze component bij de FlowdeckKas worden verhoogd met € 9,50 per m<sup>2</sup> (zie ook § 5.5.2).

Ook is er in de FlowdeckKas een standaard energiescherm aangebracht, wat in eerdere berekeningen uitdrukkelijk was uitgesloten.

Aan de opbrengsten kant geeft het verleggen van de focus een forse daling van de inkomsten uit warmtelevering en elektriciteitslevering, maar ook een forse verlaging van het gasverbruik.

Een extra handicap tengevolge van het disfunctioneren van het watervoerend dek is de productiederving, die op 5 % is geschat.

#### **Samenvattend voor de FlowdeckKas:**

Veranderingen in investeringen (ten opzichte van het ontwerpdocument)

- WKK van 100 kW per ha in plaats van 240 kW per ha -7,50 € per m<sup>2</sup>
- Duurder aquifersysteem: + 4 € per m<sup>2</sup>
- Het energiescherm: +7 € per m<sup>2</sup>
- Kleinere warmtepomp: -5 € per m<sup>2</sup>
- Gebruik van warmteterugwinning ventilatielucht: + € 5 per m<sup>2</sup>

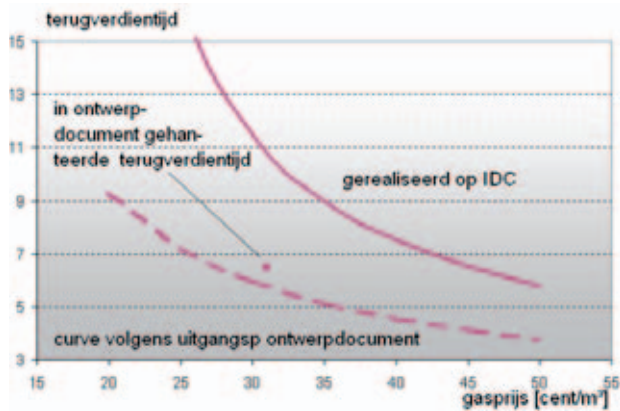
Netto: investeringen stijgen met € 3,50 per m<sup>2</sup> naar € 80,50 per m<sup>2</sup>

Veranderingen in variabele opbrengsten (ten opzichte van het ontwerpdocument)

- geen hoogwaardige w-levering: -660 MJ per m<sup>2</sup>
- laagwaardige W-levering in lager tarief (40 % van equivalente ketelwarmte i.p.v. 60 %)
- minder laagwaardige warmte levering (600 MJ i.p.v. 800 MJ per m<sup>2</sup>)
- minder elektriciteitsverkoop
- Productieverlies: 5 %
- Vermindering gasverbruik t.o.v. ontwerpdocument: 27 m<sup>3</sup> aardgas per m<sup>2</sup>

Als de consequenties van deze wijzigingen in beeld worden gebracht in een figuur zoals Figuur 6. (waar de terugverdientijd als functie van de gasprijs voor de drie ontwerpen werd getoond) dan geeft dit voor de FlowdeckKas het volgende resultaat (Figuur 29.).





Figuur 29. Terugverdientijd van de FlowdeckKas als functie van de gasprijs volgens de uitgangspunten van het ontwerpdocument en volgens de geactualiseerde gegevens

Uit Figuur 29. kan worden geconcludeerd dat de economische prestatie van de FlowdeckKas zoals die op het IDC heeft gefunctioneerd in de praktijk tot langere terugverdientijden leidt dan de gepresenteerde prestaties in het ontwerpdocument.

## 5.6 Conclusies uit de meetperiode

De drie Demo kassen op het IDC hebben een breed publiek getrokken die een goed beeld hebben kunnen krijgen van de ontwikkelingen in de tuinbouw. Voor een deel van de bezoekers was het bezoek aan het IDC de eerste serieuze kennismaking met de glastuinbouw zodat het centrum een duidelijke functie in de verspreiding van teelttechnische, kassenbouwkundige en klimaattechnische kennis en inzichten heeft gespeeld.

Voor de vele tuinders en toeleveranciers die het IDC bezocht hebben ging het vooral om de details in engineering en teelttechniek.

Voor de ZonWindKas ging de interesse van potplantentelers vooral naar de goede regeling van de lichtintensiteit in de kas. De proportionele regelbaarheid van de lichttransmissie maakt dat het goed mogelijk was om de hele zomer door op de gewenste 6 mol per m<sup>2</sup> per dag te komen.

In de beide groentekassen ging de aandacht uit naar de precieze temperatuurregeling over het etmaal en naar de regelbaarheid van de luchtvochtigheid.

## Energieprestatie

De belangrijkste conclusies die op energiegebied die uit de metingen en ervaringen op het IDC getrokken kunnen worden zijn:

- Alle drie de ontwerpen hebben een aanzienlijk lagere energie-prestatie geleverd dan waarvan werd uitgegaan in de ontwerpdocumenten.
- De ZonWindKas in zijn oorspronkelijke ontwerp kwam op jaarbasis 16 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten aan warmte tekort (in plaats van onafhankelijk van externe warmtetoevoer te kunnen opereren).
- De toevoeging van een energiescherm aan de ZonWindKas heeft de laatste weken van de meetperiode laten zien dat het warmteverlies daarmee 35 % daalde. Als dit effect naar het gehele jaar wordt doorgetrokken dan was het warmte-tekort van de ZonWindKas slechts 6 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten geweest. De ZonWindKas kan voor de potanthuriumteelt dus tot een energiebesparing van 82 % leiden (uitgaande van een referentieverbruik van 34 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> per jaar).
- De SunergieKas heeft een netto energieproductie van 2 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten per jaar in plaats van de verwachte 50 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten.
- De FlowdeckKas komt uit op een netto energieproductie van 7 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten in plaats van de 25 m<sup>3</sup> die in het ontwerpdocument genoemd waren.
- De verschillen in energieprestatie komen deels door veranderingen in het ontwerp, waardoor het uiteindelijk gedemonstreerde concept op tal van punten afwijkt van het oorspronkelijke ontwerp.
- Een andere bron van verschillen is dat aannames die in de berekeningen zijn gedaan in de praktijk niet blijken te kloppen. Het warmteverlies van kassen is groter dan waarmee is gerekend en de absorptie van licht door een gewas is kleiner dan waar 'de sector' altijd van uitging.

De experimenten op het IDC hebben evenwel aangetoond dat kassen met een veel kleiner tot zeer veel kleiner gebruik van hoogwaardige energie een kwalitatief goede productie voort kunnen brengen:

- Voor zowel de SunergieKas als de FlowdeckKas was de hoeveelheid primaire energie (gas en/of elektriciteit) die per m<sup>2</sup> nodig was om de kassystemen te laten functioneren zelfs kleiner dan in het ontwerpdocument werd aangenomen. De SunergieKas gebruikte een input van 27 in plaats van 31 m<sup>3</sup> aardgas per m<sup>2</sup> per jaar en de FlowdeckKas zakte van 40 m<sup>3</sup> naar 13 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten. Voor de FlowdeckKas kwam dit echter vooral doordat in de uiteindelijke realisatie een heel ander verdienmodel gebruikt is, dus veel minder gebaseerd op verkoop van elektriciteit uit de WK-installatie.
- Gegeven de aangetoonde energieverzameling van ruim 20 m<sup>3</sup> a.e. door de ARRACs zou ook de ZonWindKas met een verbeterd scherm of een wat koudere teelt de beoogde energieneutraliteit voor wat betreft de warmtevraag kunnen halen. Een spin-off project rond de ZonWindKas, waarbij stukken van de collectoren voorzien worden van PV-cellen bieden zelfs zicht op een volledig energieneutrale kas.

In bovenstaande opsomming komen drie verschillende behoeften aan primaire energie naar voren. Deze verschillende prestaties kunnen echter niet zomaar met elkaar vergeleken worden.

In de ZonWindKas kunnen geen tomaten geteeld worden en in de Sunergie- en FlowdeckKas kunnen geen potanthuriums. Het product stelt eisen aan de kas en dit eisenpakket legt grenzen aan de beperking van het energieverbruik.

- Bij de ZonWindKas is gebruik gemaakt van de mooie samenloop van omstandigheden dat met het buitenhouden van licht middels directe onderschepping hoogwaardige warmte kan worden verzameld.
- In de SunergieKas wordt juist vanwege een hoge productiviteit zoveel mogelijk licht aan de planten toegevoerd, maar met als consequentie dat het warmte-overschot in de vorm van laagwaardige warmte en met gebruik van een behoorlijke hoeveelheid elektriciteit wordt geoogst.
- De FlowDeckKas ligt hier een beetje tussenin. Er is een deel van het productievoordeel dat in een gesloten kas gehaald kan worden opgeofferd aan de vermindering van het energieverbruik.

### **Rentabiliteit en terugverdientijd**

De economische analyse van de resultaten laten zien dat de rentabiliteit van de kassen zeer sterk afhangt van de energieprijis. Dit gold voor de perspectieven die in de ontwerpdocumenten werden genoemd (maar niet als functie van de energieprijis waren gepresenteerd), en uiteraard ook voor de gerealiseerde uitvoeringsvormen.

Omdat voor alle drie de demo's de energieprestatie beduidend minder was dan verwacht, maar ook doordat de uiteindelijke investeringen behoorlijk afweken van de in de ontwerpdocumenten genoemde bouwkosten zijn de terugverdientijden die berekend zijn met behulp van de bevindingen in de demo's duidelijk langer.

- Gesteld dat een investering attractief voor de sector wordt geacht bij een terugverdientijd van 7 jaar dan moet de gasprijs tot 45 cent oplopen voordat de FlowdeckKas een rendabel concept genoemd kan worden.
- De SunergieKas zou bij een gasprijs van 50 cent gaan renderen.
- Voor de ZonWindKas geldt dat de investering in 7 jaar kan worden terugverdiend bij een gasprijs van 90 cent.

Zoals bij alle duurzame-energie opties vindt er bij de implementatie van deze technieken een verschuiving plaats van variabele energiekosten naar vaste investeringskosten. De economische perspectieven voor dit soort kassen zullen dus drastisch veranderen op het moment dat de toe te passen systemen goedkoper worden.

- De grootste kostenpost voor de FlowdeckKas en de SunergieKas wordt gevormd door de investering in het warmte/koude opslagsysteem. Deze techniek is in streken met een gematigd klimaat een van de meest voor de hand liggende manieren voor verduurzaming van de verwarmingsbehoefte van verblijfsruimten, zodat kostenverlagingen op dit punt verwacht zouden mogen worden.
- Bij de ZonWindKas is het opslagsysteem verreweg de duurste component van het systeem. Indien het boren en ontwikkelen van warmte/koude opslagsystemen goedkoper zou worden zal ook voor het concept ZonWindKas het gebruik van een aquifer als opslagsysteem vanuit economisch oogpunt te verkiezen zijn boven de aanleg van een opslagsysteem onder de teeltvloer. Bij gebruik van een aquifer zal de temperatuur waarop de warmte in de winter weer naar boven komt echter veel lager zijn dan de temperatuur waarop het is ingebracht zodat ook de ZonWindKas in dat geval een warmtepomp zal moeten gaan gebruiken. De energiebesparing zal hierdoor afnemen, maar de economische haalbaarheid zal verbeteren.
- Naast opslag in een aquifer zijn er nog andere opslagsystemen voor thermische energie. Het ZonwindKas consortium bestudeert op dit moment intensief de mogelijkheden van PCMs (Phase Change Materials) en thermochemische opslag. Deze kunnen wellicht tot fors lagere kosten voor de seizoensopslag van warmte leiden.
- Juist omdat de rentabiliteit van duurzame energiesystemen voor een groot deel afhangen van de investeringskosten, zal de terugverdientijd sterk teruglopen bij gebruik van investeringssubsidies.

## 6 De drie ontwerpen in gebruiksperspectief

De drie demonstratiekassen hebben een grote bijdrage geleverd aan de inzichten in de gebruiksmogelijkheden van energieproducerende kassen.

De ervaringen met de ZonWindKas hebben het aannemelijk gemaakt dat het voor een schaduwminnende teelt mogelijk is om de kas jaarrond te verwarmen met warmte die op hoge temperatuur gedurende de zomer met ARRACs is verzameld en opgeslagen in een goed geïsoleerde buffer. Omdat deze kas ook nog eens een heel laag elektriciteitsverbruik heeft kan van de ZonWindKas worden gesteld dat deze vrijwel zelfvoorzienend zou kunnen zijn voor wat betreft de energiebehoefte. Daarbij moet wel de kanttekening worden gemaakt dat de buffer zoals die in het ontwerp is voorgesteld (een bassin onder de kas) zó duur is dat pas bij een warmteprijs van meer dan € 27 per GJ (dat komt overeen met een gasprijs van 90 cent per m<sup>3</sup>) het collector en buffersysteem concurrerend zou kunnen zijn (dat wil zeggen een terugverdientijd heeft die korter is dan 7 jaar). Het ZonWindKas consortium is daarom intensief op zoek naar goedkopere alternatieven in de vorm van phase change materials of thermochemische opslag.

De FlowdeckKas en de SunergieKas houden op jaarbasis respectievelijk 20 en 29 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten over die door een derde partij moet worden gebruikt. Is zo'n derde partij er niet, dan wordt in de winter de warme bron te weinig afgekoeld en raakt het seizoensopslagsysteem uit balans. Behalve dat dit onder de huidige regelgeving niet toegestaan is, zou dit voor de betreffende tuinder problematisch zijn omdat bij onvoldoende warmteonttrekking uit de warme bron de koude bron in temperatuur zal gaan stijgen. Een stijgende temperatuur van de koude bron betekent dat de capaciteit van de koelers in de kas terugloopt en de tuinder dus minder kan profiteren van de goede regelbaarheid van het klimaat en de hoge CO<sub>2</sub>-concentraties; de belangrijkste punten die de teelt in een gesloten of geconditioneerd kas aantrekkelijk maken.

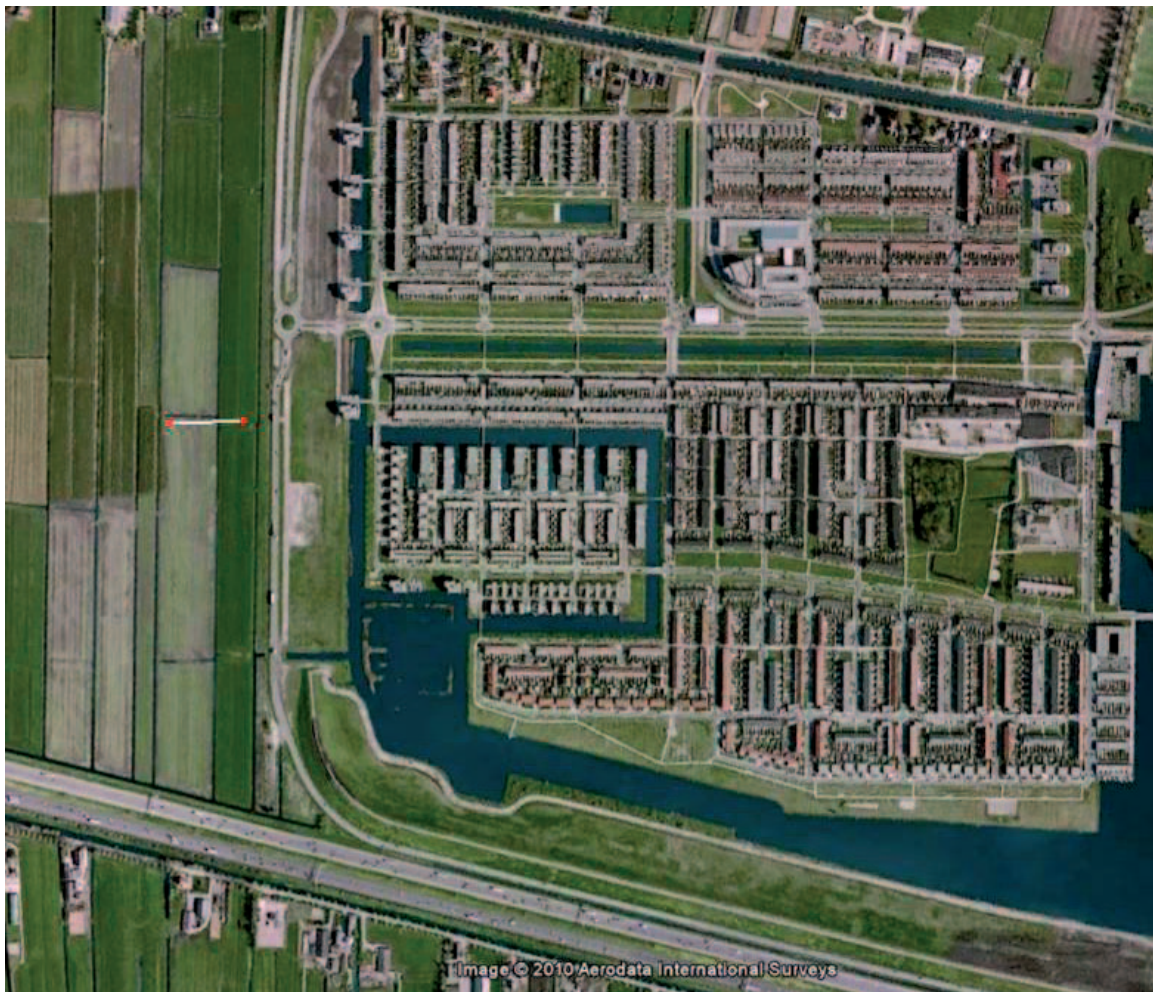
### Warmtelevering aan woonwijken

Indien een energieproducerende kas - (in dit geval dus een laagwaardige warmteleverende kas) zou worden toegepast dient er om bovengenoemde reden naast aandacht voor deze kas, ook aandacht te zijn voor de partij die deze warmte gaat gebruiken.

Omdat transport van warmte duur is (ordegrootte € 200.000 per km) zal de gebruiker van warmte uit een energieproducerende kas aanpalend moeten liggen. Er wordt daarbij vaak gedacht aan woonwijken vlak naast een kas. Wanneer dit om nieuwbouwwijken gaat zullen de huizen aan strenge isolatienormen moeten voldoen en zal zo'n huis bij gebruik van een warmtepomp niet meer dan 600 m<sup>3</sup> a.e. aan energie aan een laagwaardige bron onttrekken<sup>1</sup>. Er zijn dan ruim 400 woningen nodig om de warmteproductie van 1 hectare energieproducerende kas te benutten (en daarmee de koude te produceren waarmee de aquifer weer in balans wordt gebracht).

De foto in Figuur 30. geeft een indicatie van het leveringsgebied van 2 ha energieproducerende kas van het type SunergieKas. Het zal duidelijk zijn dat de organisatorische aspecten van de aanleg en het beheer van een distributienetwerk voor zo'n groot gebied geen sinecure zijn en dat het timings-aspect een serieus probleem is. De planningshorizon voor de ontwikkeling van zo'n woonwijk is al gauw 10 jaar, terwijl tuinders meestal niet meer dan twee jaar uittrekken voor de realisatie van een nieuwe kas. Daar komt nog bij dat warmtepompen voor woningen elektrisch worden aangedreven. Omdat de consumentenprijs voor elektriciteit per MJ 4 keer zo hoog is als de consumentenprijs voor gas, moet de laagwaardige warmte die de warmtepomp gebruikt kosteloos beschikbaar zijn om warmtepompwarmte qua kostprijs vergelijkbaar te laten zijn met warmte uit een HR-ketel. In dat geval vertegenwoordigt laagwaardige warmtelevering aan een woonwijk voor de tuinbouw dus geen economische waarde, en komt de economische basis voor energieproducerende kassen verder onder druk (zie ook de discussie over de gehanteerde waarde van laagwaardige warmte op pagina 21).

<sup>1</sup> Het huidige gemiddelde gasverbruik van woningen is 1600 m<sup>3</sup> per jaar. De huidige nieuwbouwhuizen gebruiken ongeveer 1000 m<sup>3</sup> per jaar en de doelstellingen van VROM zijn om dit nog verder te verlagen. Gaan we dan uit van 800 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten voor de verwarming dan gebruikt een warmtepomp met een gemiddelde COP van 4 hierbij 800/(4-1) = 600 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten aan laagwaardige warmte.



*Figuur 30. Oppervlakteverhoudingen indien het warmte-overschot van 2 ha SunergieKas zou worden gebruikt als laagwaardige warmtebron voor warmtepompen in 800 woningen*

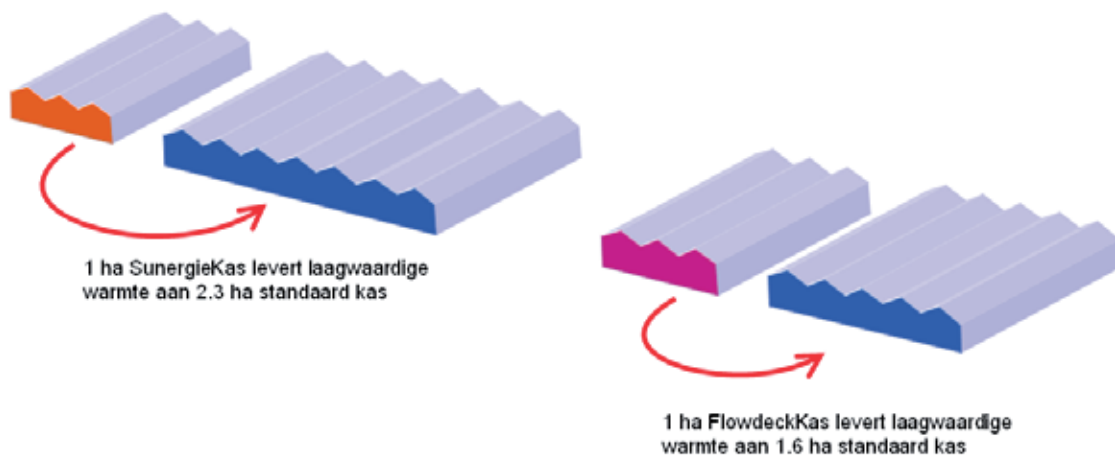
### **Warmtelevering aan kassen**

Een veel meer voor de hand liggende gebruiker van laagwaardige warmte is de (onbelichte) tuinbouw zelf. Een kas kan goed uit de voeten met laagwaardige warmte en gebruikt relatief veel warmte per m<sup>2</sup> kasoppervlak. Het huidige gasverbruik van de gemiddelde groenteteler ligt rond de 40 m<sup>3</sup> aardgas per m<sup>2</sup> per jaar. Bij hogere energieprijzen (de voorwaarde waaronder energieproducerende kassen kunnen renderen) zullen kassen energiezuiniger worden gebouwd (meerlaags- en betere schermen, zorgvuldige ontvochtiging) en zal de warmtevraag naar verwachting dalen tot 20 á 25 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten per m<sup>2</sup> per jaar. Bij deze gasverbruiken is er overigens vanuit gegaan dat de kassen nauwelijks meer rookgas CO<sub>2</sub> gebruiken doordat verondersteld is dat ze zijn aangesloten op een CO<sub>2</sub> distributienetwerk.

Anders dan in de particuliere sector is het te verwachten dat de warmtepomp, bij grootschalige verwarmingssystemen zoals in de tuinbouw, vanuit een WKK zal worden aangedreven, waardoor de overall COP (de hoeveelheid thermische energie per eenheid toegevoerde hoogwaardige energie) rond de 2 zal liggen. Kassen met zulke installaties zullen dus ongeveer 12.5 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten aan laagwaardige warmte per m<sup>2</sup> kas gebruiken.

Dit betekent dat 1 ha FlowdeckKas de laagwaardige warmte voor  $20/12.5 = 1.6$  ha kassen kan leveren en dat 1 ha SunergieKas de laagwaardige warmte voor  $29/12.5 = 2.3$  ha standaard kassen (maar verwarmd met een warmtepomp) kan leveren. In Figuur 31. zijn deze oppervlakteverhoudingen gevisualiseerd.

Indien wordt uitgegaan van het gebruik van een WKK-aangedreven warmtepomp is de economische waarde van de laagwaardige warmte geen 0, zoals bij de levering aan woningen, maar loopt deze op naar zo'n 40 % van hoogwaardige warmteprijs bij een gasprijs van 45 cent per m<sup>3</sup>. De berekeningen van de economische rentabiliteit, zoals in § 5.5, waarbij laagwaardige warmte verkocht wordt, zijn dus reëel in geval de warmte wordt gebruikt door een aanpalend tuinbouwbedrijf, maar onrealistisch gunstig bij levering aan gebruikers die de warmtepomp vanuit het openbare net van elektriciteit voorzien.



*Figuur 31. Oppervlakteverhoudingen indien het warmte-overschot van een SunergieKas of een FlowdeckKas zou worden gebruikt als laagwaardige warmtebron voor andere (onbelichte) groentekassen*

De schets in Figuur 31. biedt de gelegenheid om het uiteindelijke energieverbruikseffect van energieproducerende kassen te berekenen. Een (netto) energieproducerende kas haalt zijn energieproductie immers uit de besparing die de afnemer realiseert (zie hoofdstuk 3).

Stellen we het warmteverbruik van referentie kassen op  $25 \text{ m}^3$  aardgas equivalenten (wat de grondslag was voor de berekening van de oppervlakteverhoudingen in Figuur 31.), dan daalt het energieverbruik van deze kassen bij gebruik van de restwarmte naar  $12.5 \text{ m}^3/\text{m}^2$  per jaar (door het gebruik van een warmtepomp systeem met een overall COP van 2). In het geval een SunergieKas zou worden gebruikt is het gezamenlijk verbruik van  $1 \text{ m}^2$  SunergieKas en  $2.3 \text{ m}^2$  standaard kas  $27 + 2.3 \times 12.5 = 56 \text{ m}^3$ . Deze  $56 \text{ m}^3$  worden dan verbruikt op  $1 + 2.3 = 3.3 \text{ m}^2$  kasoppervlak, dit betekent een gemiddeld verbruik van  $16.9 \text{ m}^3$  aardgas per  $\text{m}^2$  per jaar en dus een besparing van 33 % ten opzichte van het referentieverbruik van  $25 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jaar})$ .

Bij gebruik van de FlowdeckKas als energieproducerende kas is het gezamenlijk gasverbruik  $13 + 1.6 \times 12.5 = 33 \text{ m}^3$  voor  $(1 + 1.6 = 2.6) \text{ m}^2$  kasoppervlak. Het gemiddeld gasverbruik is dan  $12.7 \text{ m}^3$  per  $\text{m}^2$  per jaar, ofwel een besparing van 49 % ten opzichte van de referentie van  $25 \text{ m}^3/\text{m}^2$  per jaar.

## 7 Vervolgplannen

Voor de drie consortia die de afgelopen twee jaar bij het IDC betrokken zijn geweest heeft de ervaring en het onderzoek veel nieuwe inzichten opgeleverd. De betrokken bedrijven hebben ruime ervaring met de werking van de installaties gekregen en een beter zicht op de economische gevoeligheden van oplossingsrichtingen.

Op dit moment is de gasprijs laag (rond de 20 cent per m<sup>3</sup>) waardoor het financieel voordeel van energieproducerende en/of energiezuinige kassen beperkt is. Bij deze gasprijs lopen de figuren op bladzijde 52, 53 en 55 helemaal uit hun schaal, wat betekent dat de terugverdientijden meer dan 20 jaar bedragen. Zelfs bij forse investeringssubsidies zijn deze concepten op dit moment dus niet aantrekkelijk. Daar komt nog bij dat door de wereldwijde economische crisis de investeringsbereidheid in het algemeen heel beperkt is.

De consequentie van deze feiten is dat geen van de drie consortia op korte termijn mogelijkheden zien om de gedemonstreerde ontwerpen integraal in de praktijk uit te rollen.

Het consortium van de ZonWindKas heeft aangegeven een technische en economische optimalisatie te willen doorvoeren alvorens beschikbaar te zijn voor een demonstratie op praktijkschaal. Op papier is de kasconstructie inmiddels zodanig geoptimaliseerd dat de meerkosten in de kas slechts de ARRACs betreffen. Voor de buffer wordt in de richting van Phase Change Materials of thermochemische opslag gezocht naar alternatieve opslagmethoden.

Alle betrokkenen zullen uiteraard wel componenten die in de demokassen zijn gebruikt in de praktijk gaan toepassen.

- De voordelen van verneveling in de potplantenteelt, waar in de ZonWindKas weer nieuwe en bevredigende ervaringen zijn opgedaan geven een extra impuls aan de verbetering van het teeltproces in deze subsector.
- Het ontvochtigen van kaslucht door het inblazen van voorverwarmde buitenlucht krijgt in de groenteteelt, maar ook in de sierteelt steeds meer belangstelling. Deze belangstelling wordt gevoed uit de experimenten met het nieuwe telen en door de exposé van deze systemen op het IDC. Het ontvochtigen met buitenlucht stelt de tuinder in staat meer op het scherpst van de snede te telen en heeft daardoor minder warmte nodig. Wanneer de warmteprijs boven een zekere drempelwaarde komt (ongeveer € 10 per GJ) wordt het daarbij aantrekkelijk om de energie die met de uitgaande kaslucht verloren gaat middels een Regain unit (zoals het ClimecoVent systeem dat in de FlowdeckKas is toegepast) terug te winnen.
- De toepassing van dubbele schermen en dubbelwandige kasdekmaterialen is mede door de demo kassen op het IDC in de belangstelling gekomen. Alle consortia gaan intensief met deze inzichten door.

Ondanks het feit dat de ontwerpen nu niet verder uitgerold worden oordelen de deelnemende consortia positief over de faciliteiten die het IDC geboden heeft en de kennis die erdoor ten behoeve van het publieke veld gegenereerd is.

## 8 Conclusies en nabeschuiving

Bij vergelijking van de gerealiseerde prestaties met de perspectieven die door de consortia bij de indiening van de detailontwerpen zijn gesteld blijkt dat de alledaagse werkelijkheid weerbarstiger is dan de op meer of minder geavanceerde modellen gebaseerde verwachtingen.

Hierdoor presteerden alle drie de ontwerpen qua energieprestatie en economische haalbaarheid duidelijk minder goed dan in de ontwerpdocumenten werd verwacht.

- De ZonWindKas, na aanvulling van het ontwerp met een energiescherm, bracht niet de 100 % besparing op stookenergie (waardoor de kas energieneutraal voor warmte zou zijn geweest), maar een besparing van 82 %. Het ontwerp zoals dat is gebouwd leidt tot een resterende verwarmingsbehoefte van 6 m<sup>3</sup> aardgas per m<sup>2</sup> per jaar.
- De SunergieKas (die de ontwerpwedstrijd is ingegaan onder de naam ZoWaKas) leverde niet de verwachte netto energieproductie van 50 m<sup>3</sup> a.e. per m<sup>2</sup> per jaar, maar slechts 2 m<sup>3</sup> a.e. De potentiële levering van laagwaardige warmte aan derden bleek namelijk geen 80 m<sup>3</sup> a.e. per m<sup>2</sup> per jaar, maar slechts 29 m<sup>3</sup> a.e. per m<sup>2</sup> per jaar. Overigens was de hoogwaardige energie behoefte voor de SunergieKas geen 31 m<sup>3</sup> aardgas, maar 27 m<sup>3</sup> aardgas per m<sup>2</sup> per jaar.
- De FlowdeckKas heeft niet de verwachte netto energieproductie van 25 m<sup>3</sup> a.e. per m<sup>2</sup> opgeleverd, maar heeft een netto energieproductie van 7 m<sup>3</sup> a.e. per m<sup>2</sup> per jaar gerealiseerd. Door de drastische wijziging van het uitgangspunt rond de energievoorziening van de FlowdeckKas daalde de benodigde hoogwaardige energie-input evenwel van 40 m<sup>3</sup> aardgas per m<sup>2</sup> per jaar naar 16 m<sup>3</sup> aardgas per m<sup>2</sup> per jaar.

Door de lagere prestaties ten opzichte van de verwachtingen in het ontwerpdocument, de genuanceerdere berekeningen t.a.v. de waarde van de geproduceerde energie-commodities en door gewijzigde inzichten in de benodigde investeringen liep voor alle drie de kassen de economische haalbaarheid terug ten opzichte van de verwachtingen in de ontwerpdocumenten.

Gesteld dat een investering lonend wordt geacht bij een terugverdientijd van 7 jaar dan moet de gasprijs tot 45 cent per m<sup>3</sup> oplopen voordat de FlowdeckKas een rendabel concept genoemd kan worden. De SunergieKas zou bij een gasprijs van 50 cent gaan renderen en de ZonWindKas verdient zich in 7 jaar terug bij een gasprijs van 90 cent per m<sup>3</sup> (alles berekend zonder investeringssubsidies).

Een deel van de verschillen tussen verwachting en realisatie komt voort uit:

- het feit dat er vanuit tuinbouwkundig oogpunt hogere eisen aan de kwaliteit van het kasklimaat worden gesteld dan waarmee de ontwerpers rekening hebben gehouden;
- verandering van inzicht m.b.t. de gebruikswijze van de kas;
- planten minder warmte absorberen dan waarvan in alle berekeningen was uitgegaan;
- de toegepaste hardware minder goed presteert dan waarbij in het ontwerp vanuit gegaan was;
- het gebruik van onvoldoende nauwkeurige rekenmodellen in de ontwerpfase.

Met de ervaring van de afgelopen periode kan gesteld worden dat het grote verschil tussen verwachting en uiteindelijk resultaat vooral voortkomt uit onrealistisch grote verwachtingen en niet zozeer uit het disfunctioneren van de drie demo's. Een uitzondering hierop is evenwel de FlowdeckKas die weliswaar de hoogste netto energieproductie liet zien, maar waarbij dit resultaat werd bereikt zonder dat de kern van het ontwerp, het watervoerende dek, heeft gefunctioneerd.



Het basisprobleem waarvoor de energietransitie in de tuinbouw zich gesteld ziet is niet zozeer dat er een tekort aan energie zou zijn; de zon straalt jaarlijks grofweg het dubbele aan energie in vergelijking tot de energiebehoefte van een gemiddelde (onbelichte) kas.

Het basisprobleem is dat het energie-aanbod onevenwichtig in de tijd beschikbaar komt (voornamelijk in de zomer) en dat er bij de omzetting en opslag van zonlicht in de energievormen die de kasklimatisering mogelijk maken forse omzettingen (energie)kwaliteit verliezen optreden. Daarnaast speelt ook nog de concurrentie tussen zonlicht voor de plantengroei en zonlicht voor energiewinning. In de derde plaats is er een economische afweging die bepaalt dat een toenemende energiezuinigheid een verschuiving geeft van variabele kosten voor energie naar vaste kosten voor de kas en de gebruikte installaties. Hierdoor zijn de totale kosten van energie-producerende kassen met een geringe behoefte aan primaire energie niet zo gauw lager dan de huidige kassen. Pas bij gasprijzen rond de 50 cent per m<sup>3</sup> komen kassen, waarvan de verwarming gebaseerd is op het gebruik van duurzame zonne-energie uit de zomer, vanuit economisch perspectief in beeld.

Dit rapport geeft een goed inzicht in deze drie factoren en laat zien dat deze op heel verschillende manieren doorwerken in het kasontwerp, afhankelijk van de randvoorwaarden die aan de kas gesteld worden.

## 9 Communicatie rondom het IDC

Naast het onderzoek aan de drie demokassen was de verspreiding van kennis en publiciteit met betrekking tot energieproducerende kassen een belangrijke doelstelling van het IDC. Deze functie heeft het IDC in hoge mate vervuld. In dit hoofdstuk wordt in min of meer chronologische volgorde melding gemaakt van de verschillende communicatie-uitingen.



*Figuur 32. Het IDC aan het begin van de bouw (januari 2008) en rond de opening (april 2009)*

### **Opening 15 april 2009**

De officiële start van het IDC heeft in april 2009 plaatsgevonden met de opening door Minister Verburg. Ten behoeve van de opening en de latere rondleidingen zijn twee video's gemaakt: een voor het gewone publiek en één speciaal gericht op de schooljeugd in de leeftijd van groep 7-8 van het basisonderwijs.

De opening is aanleiding geweest voor forse media aandacht via diverse regionale en landelijke dagbladen en onder meer het NOS journaal. In Bijlage IV is een overzicht gegeven van de publiciteitsuitingen rond die opening.



*Figuur 33. Minister Verburg bij de opening van het Innovatie en Demo Centrum.*

## Bezoekers in 2009

In totaal zijn er in 2009 in Bleiswijk 3000 mensen op bezoek geweest. Daarvan hebben er ruim 2120 gericht een bezoek gebracht aan het IDC. Voorafgaand aan de rondleiding hebben de meeste bezoekers eerst de speciaal voor het IDC gemaakte video bekeken. In een aantal gevallen zijn met name tuinbouwondernemers meerdere malen geweest en hebben ze bij vervolfbezoeken uitsluitend de kassen bezocht voor een korte update van de resultaten. De 2120 IDC bezoekers waren afkomstig uit verschillende doelgroepen en de verdeling van de bezoekers over deze groepen in 2009 was als volgt:

Tuinbouwbedrijfsleven (tuinders, bedrijfsleiders, BCO's, etc)	1000
Toeleverende industrie (inclusief veredeling, kassenbouw, klimaatbeheersing, etc)	490
Onderwijs (docenten, studenten)	325
Beleid/overheid (gemeentes, LNV, provincies, internationale vertegenwoordigers)	300
Totaal	<u>2120</u>

Behalve bij deze gerichte bezoeken zijn er tijdens de themadagen en de gewasdagen ook diverse ondernemers geweest die een kort bezoek hebben gebracht aan de kassen van het IDC. Het is echter onmogelijk gebleken om dat aantal exact te monitoren omdat dit vaak ging (en ten tijde van het schrijven van deze rapportage nog steeds gaat) als aanvulling op het bezoek aan een of meerdere andere kasexperimenten in de faciliteiten van Wageningen UR Glastuinbouw. Als er wordt uitgegaan van de schatting dat dit 15-20 % is van het totaal aantal ondernemers die in het kader van landelijke dagen, begeleiding van experimenten etc, ligt het aantal ondernemers grofweg tussen de 50 en 80 hoger. Hiermee komt het aantal ondernemers dan uit op ongeveer 1050-1100.

Van het totaal aantal bezoekers was ongeveer 500 afkomstig uit het buitenland en uit een groot aantal diverse landen: Australië, Canada, China, Chili, Colombia, Duitsland, Frankrijk, Israël, Japan, Korea, Maleisië, Roemenie, Spanje, Saoedi Arabië, Taiwan, Turkije, VS. Onder hen diverse hoge afgevaardigden van buitenlandse ministeries (o.a. Doug Horner: Minister Advanced Education and Technology van de provincie Alberta, Canada).

## Video's:

Voor de opening en als basiscommunicatie materiaal voor de latere rondleidingen zijn twee video's gemaakt.

De eerste video (Nederlands en Engelstalig) is gericht op het professionele en algemene publiek en geeft een kort beeld van de diverse ontwerpen en de achterliggende principes bij elk van de demo's. Daarnaast is er een video gemaakt die speciaal gericht is op de schooljeugd in de leeftijd van groep 7-8 van het basisonderwijs. Deze zogenaamde kidsvideo is door de stuurgroep Kas als Energiebron gebruikt als voorlichtingsmateriaal op het basisonderwijs.

## Vakperspublicaties en interviews

Naast de toelichting tijdens de rondleiding is er gedurende de aanloop naar de realisatie van het IDC, en tijdens de onderzoeksperiode regelmatig in de vakpers gerapporteerd over de resultaten en de voortgang. De artikelen zijn veelal gebaseerd op interviews met de betrokken onderzoekers. Onderstaande lijst is een overzicht van de verschenen vakpers-artikelen over de IDC kassen en resultaten over de periode eind 2007-2009.

- Akkerhuis, F.; Zwart, H.F. de (2009).  
Energieproducerende Kas levert vooral kennis op (interview met Feije de Zwart). Vakblad voor de Bloemisterij 64 (5). - p. 44 - 45.
- Bezemer, J.; Zwart, H.F. de (2008).  
Prijswinnende ZoWaKas produceert zeer veel energie: met alles uit het zonlicht een super zuinige kas (interview met Feije de Zwart). Onder Glas 5 (5) p. 66-67.
- Brakeboer, Th.; Zwart, H.F. de (2008).  
Compromis (interview met Feije de Zwart over het klimaat in de ZoWaKas). Groenten + fruit 2008 (26). - p. 5.
- Campen, J.B.; Zwart, H.F. de (2009).  
Van bovenaf koelen geeft homogener klimaat. Energiek2020.nu magazine 2009 (5). - p. 20 - 21.
- Hanselmann, E.; Hemming, S.; Noort, F. van; Zwart, H.F. de; Labrie, C.W. (2009).  
Neuartige Gewächshäuser im Innovations- und Demo-Centrum (onderzoek in de schijwerpers). Gärtnerbörse 2009 (6). - p. 24 - 27.
- Janse, J.; Zwart, H.F. de (2009).  
Erg productief tomatengewas in Sunergiekas. Gewasnieuws tomaat 12 (5). - p. 3.
- Janse, J.; Zwart, H.F. de (2009).  
Meer dan 75 kilo tomaten in de Sunergiekas. Gewasnieuws tomaat 12 (7). - p. 2.
- Kierkels, T.; Zwart, H.F. de (2009).  
Nog een hoop haken en ogen aan verduurzaming glastuinbouw: ZoWaKas meer dan energieneutraal. Onder Glas 6 (2). - p. 5 - 8.
- Langen, Ellis; Bakker, J.C. (2007).  
Nieuwkomers in kasconcepten naar Bleiswijk: Zowakas: Verbeterde versie van energieproducerende kas. Groenten en Fruit. Algemeen 2007 (15). - p. 20 - 21.
- Medema, Dennis; Bakker, S. (2007).  
Winnaars ontwerpwedstrijd energieproducerende kas: ZoWaKas: borduurt voort op Energieproducerende Kas in Bergerden. Vakblad voor de Bloemisterij 62 (14). - p. 43 - 45.
- Sleegers, J; Zwart, H.F. de (2009).  
ZonWindKas is echte potplantenkas. Vakblad voor de Bloemisterij 2009 (32). - p. 36 - 37.
- Staalduinen, Jan van; Wageningen UR Glastuinbouw, (2009).  
Sunergie focust op lichttoetreding en lage kosten : Enkel dek met antireflectiecoating zonder luchtramen en dubbel scherm. Onder Glas 6 (5). - p. 43.
- Vegter, B.; Zwart, H.F. de (2009).  
Special Horti Fair - Energie: Alles uit de kast voor lagere energiekosten (interview met Feije de Zwart). Vakblad voor de Bloemisterij 2009 (40). - p. 33.
- Visser, P.; Janse, J. (2009).  
Gewas in ZoWaKas voordurend open en in balans; interview met Jan Janse. Groenten + fruit (08). - p. 22 - 23.
- Visser, P.; Zwart, H.F. de (2008).  
Zonnewarmtekas mag zich gaan bewijzen. Groenten + fruit 2008 (26). - p. 30 – 31, en ook gepubliceerd in Vakblad voor de Bloemisterij 63 (27). - p. 32 - 33.
- Wageningen UR Glastuinbouw, (2009).  
Innovatie- en Demonstratiecentrum (IDC) geopend (onderzoekscolumn WUR Glastuinbouw). Onder Glas 6 (4). - p. 51.
- Wageningen UR Glastuinbouw, (2009).  
Sunergiekas toont prima teeltresultaat en netto energieproductie (Onderzoekspagina Wageningen UR Glastuinbouw). Onder Glas 6 (12). p. 63.
- Zwart, H.F. de (2010).  
Klimaat regelen kost energie (interview met Feije de Zwart). Groenten en Fruit Magazine 2010 (2). - p. 62 - 63.
- Zwart, H.F. de (2009).  
Nieuwe ontvochtigingssytemen bieden nieuwe mogelijkheden. Onder Glas 6 (10). - p. 14 - 15.
- Zwart, H.F. de (2009).  
The Sunergy Greenhouse – one year of measurements in a next generation greenhouse. Greensys 2009 symposium.

## Bijlage I Verwerking van geveleffecten

Een gevel verliest warmte wanneer het buiten warmer is dan binnen. In alle drie de kassen van het IDC zijn de gevels opgetrokken uit dubbelwandige plaatmaterialen die volgens opgave van de fabrikanten een warmtedoorgang hebben van  $2 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ . Omdat deze gevels groot zijn, zeker in relatieve zin ten opzichte van de vloeroppervlakten van de demokassen moet er bij de opschaling van de resultaten terdege rekening gehouden worden met geveleffecten.

Op het IDC heeft dit gestalte gekregen in apart bestuurd en apart gemeten gevelnetten. Tijdens de hele meetperiode is van moment tot moment het temperatuurverschil tussen de kas en de buitenlucht gemeten en is er op grond van dit verschil een zodanige hoeveelheid warmte in het gevelnet ingebracht dat 90 % van het warmteverlies van de gevel werd gecompenseerd. Dit omdat in een praktijkkas gemiddeld 10 % van het warmteverbruik voortkomt uit het verlies via de gevels.

Een rekenvoorbeeld illustreert dit.

De SunergieKas heeft een geveleoppervlak van  $660 \text{ m}^2$ . Het gevelverlies bedraagt voor deze kas dus  $1.320 \text{ kW}$  per  $^\circ\text{C}$  temperatuurverschil tussen binnen en buiten. Teruggerekend per  $\text{m}^2$  kasoppervlak is het energieverlies door de gevel dus  $2.4 \text{ W}/(\text{m}^2_{\text{vloeropp}} \text{ K})$ . In een praktijkkas beslaat het geveleoppervlak 10 % van het vloeroppervlak en zal, het gevelverlies van de gevel ergens tussen de  $0.2$  en  $0.4 \text{ W}/(\text{m}^2_{\text{vloeropp}} \text{ K})$  liggen.

Om het oververtegenwoordigde gevelverlies in de SunergieKas te compenseren is er tijdens het experiment  $2 \text{ W}/\text{m}^2_{\text{vloeropp}}$  per graad temperatuurverschil tussen de kas en buitenlucht aan het gevelnet toegevoerd. Dit verwarmingsvermogen, dat in het gevelnet is gedissipeerd, is via een aparte meter gemeten en niet bij het verbruik van de kas in rekening gebracht (omdat dit een oneigenlijk verlies is, inherent aan de kleine schaal van de kas).

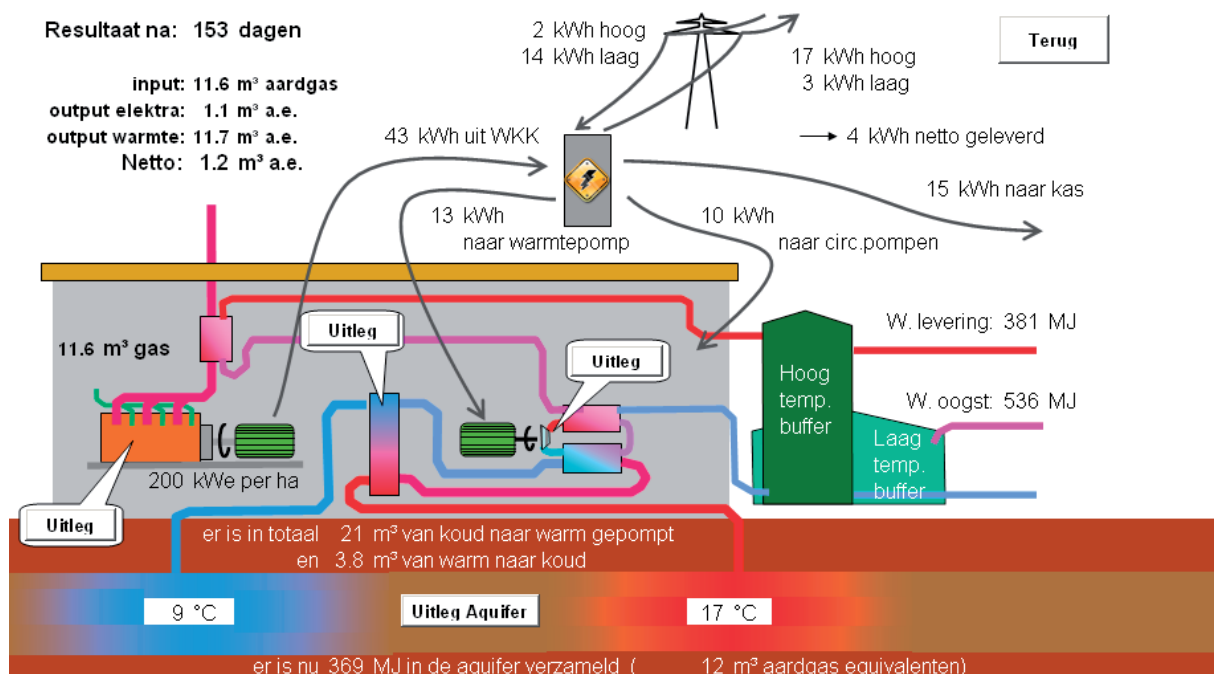
Bij de FlowdeckKas is eveneens  $2 \text{ W}/\text{m}^2_{\text{vloeropp}}$  per graad temperatuurverschil tussen binnen en buiten in het gevelnet gedissipeerd en in de ZonWindkas zelfs  $2.5 \text{ W}/\text{m}^2_{\text{vloeropp}}$  per graad temperatuurverschil omdat de ZonWindKas een verhoudingsgewijs nog groter geveleoppervlak heeft (vooral omdat het vloeroppervlak van de ZonWindKas een stuk kleiner is).

## Bijlage II Het ketelhuis simulatiemodel

In de ontwerpdocumenten van de SunergieKas en de FlowdeckKas wordt veel aandacht besteedt aan de voorzieningen in het ketelhuis in de vorm van een warmtepomp, een WKK-installatie, een scheidingswisselaar, etmaalbuffers en de aquifer. Al deze componenten zijn op het IDC niet fysiek voor de demonstratiekassen beschikbaar. Hierbij speelden kostenoverwegingen een rol, maar ook schaaloverwegingen.

Toch spelen deze zaken een belangrijke rol in de performance van de ontwerpen. Om de interpretatie van de werking van de kasontwerpen in de richting van een praktische situatie mogelijk te maken is een ketelhuis simulatiemodel ontwikkeld. Dit model berekent op kwartierbasis aan de hand van de meetresultaten uit de demokassen de consequentie hiervan voor het primaire energieverbruik en de energie-opslag.

De basis voor de berekening is de gemeten warmte- en koudevraag en de aanvoer en retourtemperaturen die hierbij gemeten zijn. De warmtevraag wordt in eerste instantie uit de hoog-temperatuurbuffer betrokken en de koudevraag vanuit de laag-temperatuur buffer. Beide buffers zijn gemodelleerd als een gestratificeerd opslagsysteem zodat aangebrachte watertemperaturen in principe bij lading en ontlading in tact blijven (enige dispersie wordt evenwel meegenomen). Een schematisch overzicht van de componenten in dit ketelhuis simulatieprogramma is afgebeeld in Figuur 33.



Figuur 34. Schematische weergave van de componenten in het ketelhuis simulatieprogramma

De hoog-temperatuur buffer wordt voornamelijk gevuld vanuit de afvalwarmte van de WK-installatie die in principe elke werkdag tussen 07:00 en 23:00 draait t.b.v. elektriciteitslevering aan het net. De levering aan het net zal in de regel kleiner zijn dan de elektriciteitsproductie omdat de aandrijving van pompen en ventilatoren (en op koude dagen ook nog de warmtepomp) een groot beslag op de elektriciteitsproductie leggen.

Gedurende de zomer kan de hoog-temperatuurbuffer zelfs overvol raken. Om dan toch de WKK te kunnen blijven gebruiken zonder energie te verliezen wordt het overschot aan afvalwarmte in de aquifer opgeslagen (na bijmenging van voldoende koud water om te blijven voldoen aan de eis dat de maximale temperatuur naar de aquifer onder de 25 °C blijft).

In de winter zal de hoog-temperatuurbuffer regelmatig leeg zijn. Dan wordt de warmtepomp voor de warmteproductie bijgeschakeld. Ook 's nachts, als de stroom goedkoop is en er geen behoefte is aan CO<sub>2</sub> wordt er verwarmd met de warmtepomp en wordt stroom uit het net gebruikt in plaats van het zelf te maken met de WKK.

Het maximale waterdebiet waarmee de koelers van koud water worden voorzien is in de regel aanzienlijk groter dan het pompdebiet over de aquifer. Qua ordegrrootte moet voor het koelwaterdebiet gedacht worden aan 350 m<sup>3</sup> per ha per uur, terwijl het pompdebiet over de aquifer meestal niet groter is dan zo'n 150 m<sup>3</sup> per ha. Om dit verschil tussen piekvraag en gemiddelde vraag op te kunnen vangen wordt gebruik gemaakt van een koude etmaalbuffer. De regeling in het ketelhuissimulatiemodel zorgt op basis van de verwachte koudwaterbehoefte per etmaal dat de laagtemperatuur-buffer in voldoende mate gevuld blijft met koud aquiferwater. Op dagen met een beperkte koudevraag en een aanzienlijke warmtevraag (dagen in het voorjaar) wordt de laagtemperatuur etmaalbuffer echter minimaal met koud water geladen zodat op die dagen de overdag verzamelde warmte 's nachts weer door de warmtepomp kan worden gebruikt waardoor de temperatuurverliezen over de scheidingswisselaar worden voorkomen en ook het elektriciteitsverbruik van de aquiferpompen wordt uitgespaard. De grote laagtemperatuurbuffer zorgt er ook voor dat bij het transport van kleine hoeveelheden warmte of koude naar de aquifer de aquiferpomp pulserend kan werken (bijvoorbeeld een uur aan en dan weer twee uur uit) om het parasitaire elektriciteitsverbruik van de voordruk te beperken. Het simulatiemodel gaat namelijk uit van een voordruk van 1 bar op het aquifersysteem (om ontgassing te voorkomen) zodat het minimale verbruik van de bronpomp 0.6 W bedraagt. Bij een hoog pompdebiet (150 m<sup>3</sup>/ha) loopt het elektriciteitsverbruik voor de aquiferpomp op naar 1.5 W/m<sup>2</sup> (dat is 15 kW per ha).

De warmte- en koudeopslag in de aquifer wordt gesimuleerd als grote concentrische grond/water ringen die van worden opgewarmd of afgekoeld doordat er water met een bepaalde temperatuur vanuit het centrum naar buiten stroomt of vanuit de buitenrand naar het centrum. Op deze manier wordt een reëel beeld verkregen van de ondergrondse temperatuur-opbouw en wordt het temperatuurverlies en de afvlakking van temperatuur-fluctuaties in het aangeboden water realistisch bepaald.

Het simulatiemodel gaat uit van een scheidingswisselaar tussen het aquiferwater en het overige water in de installatie. Deze scheidingswisselaar wordt veronderstelt 1.5 °C temperatuurverlies op te leveren. Dit betekent dat als het water op gemiddeld 18 °C uit de koelers van de kas stroomt de aquifer niet warmer kan worden dan 16.5 °C. Ook de warmtepomp moet in de winter water van 7.5 °C maken om de aquifer tot 9 °C te kunnen afkoelen.

De COP waarmee de warmtepomp werkt wordt door het simulatiemodel dynamisch berekend, dat wil zeggen dat rekening gehouden wordt met het temperatuurniveau waarop het verwarmingswater naar de kas gebracht moet worden. Dit was in de meetperiode goed te merken aan het hoge verbruik van de warmtepomp voor de SunergieKas die door de wijziging van het gebruik van de installatie warmer water moest produceren dan oorspronkelijk in het ontwerp was beoogd.

## **Bijlage III      Dankwoord aan de sponsoren**

De ontwerpwedstrijd “Kas Als Energiebron” heeft prijzengeld beschikbaar gesteld ter realisatie van de drie demonstratiekassen. Dit bedrag was echter niet genoeg om demonstratiekassen van de afmeting die op het IDC staan te financieren. Er zijn dus aanzienlijke additionele inspanningen door de consortia gepleegd om de kassen te kunnen bouwen.

Voor wat betreft de ZonWindKas moet vermeld worden dat het consortium dat de kas heeft neergezet (Gakon en ThermoTech) een bijzonder groot doorzettingsvermogen aan de dag hebben gelegd om de bouw tot stand te brengen en alle tegenslagen te incasseren. Er is vele uren engineeringwerk uitgevoerd om vanuit het ruwe plan tot een feitelijk gebouwde kas te komen. De ARRAC-installatie was een compleet nieuwe constructie waarvan elk onderdeel uitgekend moest worden.

Het ZonwindKas consortium heeft ook dankbaar gebruik kunnen maken van sponsorgelden van de Rabobank

De bouw van de SunergieKas was niet mogelijk geweest zonder de ondersteuning uit de Innovatiefondsen van Rabobank Nederland en Rabobank Midden Westland.

De realisatie van de FlowdeckKas kampte met grote problemen met betrekking tot het watervoerend kasdek. Er is met veel inzet gewerkt aan een oplossing daarvoor maar die heeft in de beschouwde meetperiode niet tot een werkend systeem geleid. De verbeterde panelen waren begin december klaar, maar de voor Nederlandse begrippen ongebruikelijk lange vorstperiode in de winter van 2009/2010 maakte dat deze niet konden worden gemonteerd. Het consortium Maurice Kassenbouw en Climeco Engineering verdient evenwel bijzondere waardering voor de vasthoudendheid waarmee is gewerkt.



# **Bijlage IV    Overzicht media-aandacht opening IDC op 15 april 2009**

**090416**

## **Energiegids**

Drie duurzame glastuinbouwconcepten in testfase in Bleiswijk

16-04-2009

Klimaatneutraal telen is voor de glastuinbouw weer een stap dichterbij. In Bleiswijk staan drie veelbelovende kasconcepten die meer duurzame energie kunnen opleveren dan aan fossiele energie voor de teelt nodig is. Gisteren opende LNV-minister Gerda Verburg drie prototypes van de 'energieproducerende kas'.

De prototypes zijn het resultaat van een wereldwijd uitgeschreven ontwerpwedstrijd. Van 42 inzendingen beoordeelde een jury onder leiding van oud-premier Lubbers deze als meest kansrijk. De SunergieKas combineert bewezen technieken tot een vernieuwend systeem. De ZonWindKas bevat een lamellenscherm waarmee de kas zonnestraling absorbeert en omzet in warm water. De FlowdeckKas heeft een dubbelwandig kasdek waar water doorheen stroomt. Het opgewarmde water wordt opgeslagen in een aquifer voor gebruik in de winter.

De kassen staan op het Innovatie- en Democentrum Kas als Energiebron. Het IDC is een initiatief van en medegefinancierd door Kas als Energiebron, het energietransitieprogramma voor de glastuinbouw. Het IDC test en demonstreert nieuwe concepten voor de energiehuishouding in kassen. Het draait om het minimaliseren van het (fossiele) energieverbruik en het oogsten van energie van duurzame bronnen als zon en wind.

Bron: Kas als Energiebron

## ONTWERPWEDSTRIJD Westlanders winnen met energieproducerende kas

# Warmte sparen voor winter

**Tot nu toe**

**D**e ZonWindkas, de Flowdeckkas en de Sunenergiekas zijn de drie prijswinnende concepten in de ontwerpwedstrijd energieproducerende kas. Dit gaat om kassen die meer energie opleveren dan ze gebruiken. De kasbouwers Gakon uit Wateringen en PLJ Bom uit Naaldwijk bouwden twee van deze technische hoogstandjes.

Demo's van deze kassen staan in het nieuwe Innovatie- en Democentrum Kas als Energiebron in Bleiswijk, dat vanmiddag wordt geopend door minister Gerda Verburg van Landbouw. Het programma Kas als Energiebron richt zich op een sterk verminderde afhankelijkheid van fossiele brandstoffen in de glastuinbouw in 2020 en een aanzienlijke vermindering van de uitstoot van CO<sub>2</sub>.

De eerste kas lijkt vanaf de weg doodnormaal. In de Sunenergiekas wordt een aantal bestaande technieken uit gesloten teelten gecombineerd. Het is binnen vies heet, maar de tomatenplanten kunnen dat wel waarden. „Deze kas heeft een maximale lichtopbrengst en warmteopslag,” legt Nlco van Ruiten uit. Hij is voorzitter van LTO Glaskracht en de stuurgroep Kas als Energie-

**☑ Sunenergiekas is geen concept meer, maar kan zo in de praktijk worden gebouwd**

■ De Stuurgroep Kas als Energiebron stelt op 31 augustus 2005 de Ontwerpwedstrijd Energieproducerende Kas open. Deze wedstrijd is een onderdeel van het programma Kas als Energiebron en wordt gefinancierd door het ministerie van Landbouw en het Productschap Tuinbouw.

■ Het doel van de wedstrijd is een kas te ontwikkelen die meer energie oplevert dan ze zelf gebruikt en waarin bovendien duurzaam en economisch rendabel kan worden geteeld.

■ De aanmeldingstermijn sluit op 12 januari 2006 en de Stuurgroep heeft dan 42 voorstellen ontvangen van bedrijven, kennisinstellingen en maatschappelijke organisaties uit verschillende landen.

■ De Beoordelingscommissie, onder leiding van oud-premier Ruud Lubbers, beoordeelt de ontwerpen. Drie ervan resulteren in een demonstratiekas.

bron. „De Sunenergiekas is een samenvoeging van systemen,” zegt Martin van Zeijl van de Bomgroep. „Het is een combinatie van de kas van de gebroeders Van der Lans in Rilland en de Greenportkas van Joep Raemakers in Venlo. De Sunenergiekas is geen concept meer, maar kan zo in de praktijk worden gebouwd.”

Zo'n vijf jaar geleden kwam de stuurgroep volgens Van Ruiten op de gedachte dat een kas van energieverbruiker energieproducent moest worden. Daarvoor werd een aantal projecten opgezet. Per project stelden de stuurgroep en het ministerie van Landbouw een bedrag beschik-

baar. „Maar voor de realisatie was ook privaat geld nodig, vaak van bedrijven,” zegt Van Ruiten.

In alledrie de kassen wordt de warmte opgeslagen voor de winter. Van Ruiten: „Dat gebeurt in de bodem met behulp van warmtepompen. Daarbij gaat net zoveel warmte naar beneden als naar boven. Dit is ook een van de eisen om hiervoor een vergunning te krijgen.”

Het water wordt vijftig tot zestig meter onder de grond opgeslagen. „Voor het naar boven pompen is ook energie nodig. Hier ligt ook een uitdaging: de pompen energiezuiniger en efficiënter maken.”

De tweede kas, de zogenoemde ZonWindKas van ThermoTech, Gakon en HAS Kennistransfer, valt al aan de buitenkant op door zijn verschijning. In tegenstelling tot een 'normale' kas, is het dak asymmetrisch opgebouwd. Het lange gedeelte van het schuine dak is naar de zon toegebouwd. Onder het glas zitten metalen lamellen, met daarin koperen buisjes. „Hier loopt het water doorheen,” legt Van Ruiten uit. „De zon verwarmt het water. Dit wordt in een buffer opgeslagen voor de winter. Omdat de zon een grote rol speelt, is de noord-zuid ligging van de kas erg belangrijk.” De kas is nu nog leeg, maar op de grote tafels moeten in de toekomst potplanten komen. De teelt van phalaenopsis is bij uitstek geschikt.

De derde kas is de flowdeckkas van Maurice Kassenbouw en Climeco Engeneering. „Door het kasdek stroomt water,” zegt Van Ruiten. „Ook hier is het een kwestie van opwarmen en opslaan. Het kasdek moet je eigenlijk zien als de dampkring van de aarde. In de zomer houdt het de warmte buiten, in de winter houdt het de warmte vast.”

Wageningen Universiteit en Researchcentrum gaat de komende tijd onderzoeken of de kassen ook écht licht in warmte omzetten.

NOS Journaal 15 april 2009 (tv, 18.00 en 20.00 uur)

<http://player.omroep.nl/?afid=9287169> (20 uur Journaal, item van 15.55 tot 17.46 min)

<http://player.omroep.nl/?afid=9287164> (18 uur Journaal, item van 8.12 tot 10.04 min)

Volgens de kijkcijfers keken op 15 april 735.000 mensen naar het Journaal van 18 uur en 1.666.000 mensen naar het Journaal van 20 uur.

RTV Rijnmond (tv, 16.36 uur)

Energievriendelijke kassen geopend in Bleiswijk

15 april 2009

**Een tuinbouwkas die geen energie verslindt, maar juist energie oplevert. In Bleiswijk zijn woensdag drie demonstratiekassen geopend door landbouwminister Gerda Verburg. Ze stoten minder CO<sub>2</sub> uit en verbruiken nauwelijks energie.**

Het principe van de kassen is simpel: zonnewarmte die er in de zomer teveel is, wordt opgevangen en bewaard voor de winter. Enorme lamellen in het dak draaien met de zon mee. Water in de lamellen wordt verwarmd en opgeslagen in een groot geïsoleerd bassin onder de grond.

Om er voor te zorgen dat zoveel mogelijk tuinders overstappen naar deze nieuwe vorm van kasverwarming, trekt het ministerie anderhalf miljoen euro uit voor het proefproject.

BNR Nieuwsradio (8.07 uur)

<http://www.bnr.nl/static/jsp/play.jsp?datum=15/04/2009&tijd=08:07:00&lengte=15&titel=Titel>

RTV Rijnmond (radio, 8.54 uur)

<http://217.149.193.67:8080/ramgen/archief/wo2.rm> (item van 54.08 tot 58.26 uur)

NOS Het Filaal (radio, 6.45, 7.25 en 8.45 uur)

Het Filiaal: Warm water uit de kas  
15-4-2009 06:35



'De tomaatjes voelen zich lekker', zegt Nico van Ruiten van LTO Glaskracht, als hij de Sunergiekas binnenloopt. Hij vertegenwoordigt de glastuinbouwers. Glastuinbouwers hebben een slecht imago als het om energieverbruik gaat. Stroom- en aardgasslurpers waren ze jarenlang. Inmiddels is dat wel veranderd. De meeste teelers draaien op zelf gemaakte stroom, die ze aan het energienet leveren terwijl ze hun kassen stoken met de restwarmte. Maar dat kost nog steeds veel aardgas. En dat is duur en het raakt op. Daarom is er nu een nieuw soort kas ontwikkeld. In Bleiswijk, een van de grote kassengebieden staan er drie in een proefopstelling. Met filiaal staan we in de Sunergiekas. Daar groeien de tomaten inderdaad als kool. En dat grotendeels met eigen warmte.

Filiaal 6:45u

Het is eigenlijk een heel simpel principe. Als het warm genoeg is vang je de warmte op. Je slaat hem op in de grond, en gebruikt hem in de winter om de kas te verwarmen. Vroeger werd er een raam open gezet in de zomer, en was de energie verloren. De techniek om de warmte op te vangen en op te slaan was nog niet voldoende ontwikkeld. En de gasprijs was niet hoog genoeg om de investering aantrekkelijk te maken. Nu hebben ze hier in Bleiswijk een innovatiecentrum waar die techniek wordt uitgetoet. In de ene kas lopen er koperen buizen met lamellen onder het raam, in de andere stroomt er water tussen de glasplaten van het dubbelwandige dak, in de kas met de tomaten is het de hete lucht die wordt opgevangen en omgezet in warm water.

Filiaal 7:25u

Nu berichten we wel vaker over revolutionaire uitvindingen die het klimaatprobleem gaan oplossen. En vaak hoor je daar later nooit meer iets over. Of het nieuws is juist dat de hooggespannen verwachtingen uitblijven, zoals onlangs nog met de kleine windmolens voor thuis. Onderzoeker Feije de Zwart van de Wageningse universiteit geeft toe: 'wetenschappers zijn graag optimistisch'. De schema's en modellen die hij op zijn laptop tevoorschijn tovert zien er prachtig uit. Ben benieuwd of hier over een paar jaar kilometers van dit soort nieuwe kassen staan in Bleiswijk.

Filiaal 8:45u

<http://weblogs.nos.nl/radio1journaal/2009/04/15/het-filiaal-warm-water-uit-de-kas/>

# GLASTUINBOUW Kassen moeten duurzamer en energiezuiniger worden

## Warm water bewaren voor de winter

MARTIJN RIP  
BLEISWIJK

**D**e argeloze automobilist zal het in het voorbijrijden misschien niet opmerken, maar aan de Vlietweg in Bleiswijk staan drie bijzondere kassen. Verschillende methoden om het zonlicht in warmte om te zetten en op te slaan worden hier getest. Op 15 april wordt het Innovatie- en Democentrum geopend door minister Gerda Verburg van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV).

De eerste kas vanaf de weg lijkt doodnormaal. Het is binnen vies heet, maar de tomatenplanten kunnen dat wel waarderden. „Deze kas is samengesteld uit de beste technieken die in de tuinbouw worden toegepast. Dat betekent een maximale lichtopbrengst en warmteopslag,” legt Nico van Ruiten uit. Hij is voor-

zitter van LTO Glaskracht en van de stuurgroep Kas als Energiebron.

De kas is een van de winnaars van een ontwerpwedstrijd van de stuurgroep. „Vijf of zes jaar geleden kwamen we op de gedachte dat een kas van energieverbruiker energieproducent moest worden. Daarvoor werd een aantal projecten opgezet.”

De internationale wedstrijd werd in 2006 uitgeschreven. „We riepen iedereen op om met ideeën te komen voor een energieproducerende kas. We kregen 42 reacties. Tien deelnemers kregen geld om een gedetailleerd plan op te zetten. Een jury koos de drie beste projecten uit en die kregen de gelegenheid om hun demoplan op te bouwen.”

Per project stelden de stuurgroep en het ministerie van LNV een bedrag beschikbaar. „Maar voor de realisatie was ook privaat geld nodig, vaak van bedrijven.”

In alledrie de kassen wordt de warmte opgeslagen voor de winter.

Van Ruiten: „Dat gebeurt in de bodem met behulp van warmtepompen. Daarbij gaat net zoveel warmte naar beneden als naar boven. Dit is ook een van de eisen om hiervoor een vergunning te krijgen.”

Het water wordt vijftig tot zestig meter onder de grond opgeslagen. „Voor het naar boven pompen is ook energie nodig. Hier ligt ook een uitdaging: de pompen energiezuiniger en efficiënter maken.”

De tweede kas valt al aan de buitenkant op door zijn verschijning. In tegenstelling tot een 'normale' kas, is het dak asymmetrisch opgebouwd. Het lange gedeelte van het schuine dak is naar de zon toegebouwd. Onder het glas zitten hier metalen lamellen, met daarin koperen buisjes.

„Hier loopt het water door,” legt Van Ruiten uit. „De zon verwarmt het water. Dit wordt in een buffer opgeslagen voor de winter. Omdat de zon een grote rol speelt, is de

noord-zuid ligging van de kas erg belangrijk.” De kas is nu nog leeg, maar op de grote 'tafels' moeten in de toekomst potplanten komen.

Ondertussen wordt met een hoogwerker gewerkt aan de laatste details van de derde kas. „Dit is de *flow-deck* kas. Door het kasdek, de ruiten bovenop de kas, stroomt water. Ook hier een kwestie van opwarmen en opslaan. Het kasdek moet je eigenlijk zien als de dampkring van de aarde. In de zomer houdt het de warmte buiten, in de winter houdt het de warmte vast.”

Of alle mooie ideeën ook in de praktijk werken is nog niet duidelijk. Wageningen Universiteit en Researchcentrum gaat onderzoeken of de kassen ook écht licht in warmte omzetten. Als de demo's succesvol blijken, worden ze bij een tuinder in een grote kas toegepast.

Algemeen Dagblad 26-03-2009

## Betere gewassen en energievernieuwing

Naast het Innovatie- en Democentrum staat het proefstation van de Universiteit Wageningen. Hier worden nieuwe kweektechnieken ontwikkeld. Ook het bestrijden van ziekten bij gewassen en energievernieuwing staan hier hoog op het lijstje.

Niet ver daarvan staat het Improvement Centre, waar vooral aandacht wordt besteed aan het optimaliseren van het teeltproces. Tomaten worden bijvoorbeeld onder verschillende omstandigheden gekweekt om tot de optimale situatie te komen.

Alle technische kennis, zoals kassen verwarmen met aardwarmte, moet in de toekomst met de wereld worden gedeeld via een nog te bouwen innovatiecentrum.

Algemeen Dagblad 26-03-2009

## Telen in klimaat met hogere luchtvochtigheid

Het omzetten van zonlicht in warmte is niet het eindpunt van de ontwikkelingen in de glastuinbouw. Uiteindelijk moeten de kassen van energieverbruiker naar energieproducent gaan. „De technieken in de kassen worden constant vernieuwd en doorontwikkeld,” zegt Nico van Ruiten. „De technieken in de drie demokassen gaan uit van een gesloten systeem.

Nu gaan vaak de ramen open, waardoor warmte verloren gaat. Dat er straks geen ramen open kunnen, betekent ook dat er anders moet worden geteeld. Er heerst een ander klimaat met een hogere luchtvochtigheid en andere CO<sub>2</sub> concentraties. Telers moeten anders telen dan in het verleden, dat vraagt om een omschakeling. Het vraagt ook veel onderzoek,

bijvoorbeeld naar de nieuwe werkomstandigheden.” De glastuinbouwbedrijven hebben veel CO<sub>2</sub> nodig. De planten zetten dit vervolgens om in zuurstof. Van Ruiten: „De nieuwe kassen biedt kansen op een grotere afname uit het Rijnmondgebied. Momenteel wordt er dan ook gewerkt aan een uitbreiding van het CO<sub>2</sub> netwerk in de glastuinbouw.”

Algemeen Dagblad 26-03-2009

## Brabers krijgt leiding fusie VWA, AID en PD

Den Haag – De fusie van de Voedsel en Waren Autoriteit (VWA), Algemene Inspectiedienst (AID) en Plantenziektenkundige Dienst (PD) wordt geleid door Maarten Brabers. De huidige adviseur van landbouwminister Gerda Verburg wordt per 1

april voorzitter dan de raad van directeurs van de nieuwe VWA en waarnemend inspecteur-generaal van de huidige VWA. In die laatste rol volgt Brabers André Kleinmeulman op.

Agrarisch Dagblad 26-03-2009

APS: Glastuinbouw zet volgende stap naar klimaatneutraal Publicatietijd: 15/04/2009 16:51 Rubriek: Binnenland Organisatie: Productschap Tuinbouw IPTC: Economie, Business & Financien / Landbouw-Wetenschap & Technologie / agricultural research and technology-Milieuzaken / Energiebesparing

*Dit is een origineel persbericht.*

Klimaatneutraal telen is voor de glastuinbouw weer een stap dichterbij. In Bleiswijk staan drie veelbelovende kasconcepten die meer duurzame energie kunnen opleveren dan aan fossiele energie voor de teelt nodig is. Vandaag opende LNV-minister Gerda Verburg drie prototypes van de 'energieproducerende kas'.

De prototypes zijn het resultaat van een wereldwijd uitgeschreven ontwerpwedstrijd. Van 42 inzendingen beoordeelde een jury onder leiding van oud-premier Lubbers deze als meest kansrijk. De Sunriegekas combineert bewezen technieken tot een vernieuwend systeem. De ZonWindKas bevat een lamellenscherm waarmee de kas zonnestraling absorbeert en omzet in warm water. De FlowdeckKas heeft een dubbelwandig kasdek waar water doorheen stroomt. Het opgewarmde water wordt opgeslagen in een aquifer voor gebruik in de winter.

De kassen staan op het Innovatie- en Democentrum Kas als Energiebron. Het IDC is een initiatief van en medegefinancierd door Kas als Energiebron, het energietransitieprogramma voor de glastuinbouw. Het IDC test en demonstreert nieuwe concepten voor de energiehuishouding in kassen. Het draait om het minimaliseren van het (fossiele) energieverbruik en het oogsten van energie van duurzame bronnen als zon en wind.

De glastuinbouw ontwikkelt energiesystemen en -concepten met als ambitie om in 2020 in nieuw te bouwen kassen klimaatneutraal en economisch rendabel te telen. Ondernemers werken daarbij nauw samen met overheden, brancheorganisaties, kennisinstellingen en toeleveranciers. "Het is uiterst belangrijk minder afhankelijk te zijn van fossiele brandstoffen. Niet alleen om klimaatdoelen te halen, maar ook om te overleven", stelde Nico van Ruiten, voorzitter van de stuurgroep Kas als Energiebron en van LTO Glaskracht Nederland.

Verburg roemde de innovatie van de glastuinbouw: "De sector ging voortvarend aan de slag om minder fossiele brandstoffen als olie en gas te gebruiken. Dat is nodig omdat gas en olie opraken, we minder CO<sub>2</sub> uit moeten stoten om de klimaatverandering te remmen én voor de telers om minder afhankelijk te zijn van gas en de fluctuerende gasprijzen. Omdat onze gasvelden opraken, worden we afhankelijk van buitenlandse toevoer en prijzen."

Volgens Van Ruiten behoudt én onderstreept de glastuinbouw de vooraanstaande positie in de internationale afzetmarkt en de Nederlandse economie door in ontwikkelingen voorop te lopen. Hij sprak de wens uit dat na een eerder succesvol project in Bergerden de demo's in Bleiswijk netto energie zullen opleveren. Dan zijn energiecombinaties te maken tussen kassen en gebouwde omgeving. Daarbij is de overheid volgens Van Ruiten nodig om verzet van gevestigde belangen en traditioneel denken tegen de duurzame aanpak te breken.

Het Programma Kas als Energiebron is het innovatie- en actieprogramma voor aanzienlijke vermindering van CO<sub>2</sub>-emissie en sterk verminderde afhankelijkheid van fossiele energie voor de glastuinbouw in 2020. LTO Glaskracht Nederland, het Productschap Tuinbouw en het Ministerie van LNV zijn initiatiefnemers, trekkers en financiers. Meer informatie over het programma, ontwerpwedstrijd en het IDC met de prototypes staat op [www.energiek2020.nu](http://www.energiek2020.nu).

Een foto van dit onderwerp is (rechtenvrij) beschikbaar op ANP Fotonet ([www.anp-photo.com](http://www.anp-photo.com)) en zichtbaar op [www.perssupport.nl](http://www.perssupport.nl).

**APS: Minister Gerda Verburg van LNV opent drie prototypes van de energieproducerende kas** Publicatietijd: 15/04/2009 16:54 Rubriek: Binnenland Organisatie: Productschap Tuinbouw IPTC: Wetenschap & Technologie / agricultural research and technology-Milieuzaken / Energiebesparing -Economie, Business & Financien / Energie & Bronnen / Alternatieve energie Innovatie- en Democentrum Kas als Energiebron te Bleiswijk In Bleiswijk staan drie veelbelovende kasconcepten die meer duurzame energie kunnen opleveren dan aan fossiele energie voor de teelt nodig is. Vandaag opende LNV-minister Gerda Verburg drie prototypes van de 'energieproducerende kas'.

**De prototypes zijn het resultaat van een wereldwijd uitgeschreven ontwerpwedstrijd. De Sunergiekas combineert bewezen technieken tot een vernieuwend systeem. De ZonWindKas bevat een lamellenscherm waarmee de kas zonnestraling absorbeert en omzet in warm water. De FlowdeckKas heeft een dubbelwandig kasdek waar water doorheen stroomt.**

WOS (Westlandse Omroep Stichting)

16-04-2009

### **Glastuinbouw zet volgende stap**

Klimaatneutraal telen is voor de glastuinbouw weer een stap dichterbij. In Bleiswijk staan drie veelbelovende kasconcepten die meer duurzame energie kunnen opleveren dan aan fossiele energie voor de teelt nodig is.

De Sunergiekas combineert bewezen technieken tot een vernieuwend systeem. De ZonWindKas bevat een lamellenscherm waarmee de kas zonnestraling absorbeert en omzet in warm water. De FlowdeckKas heeft een dubbelwandig kasdek waar water doorheen stroomt. Het opgewarmde water wordt opgeslagen in een aquifer voor gebruik in de winter.











