



Energieplan Greenportkas II

Verkenning van de besparingsmogelijkheden van het kasconcept

Frank Kempkes, Wouter Verkerke, Eric Poot



Referaat

Op basis van de meest actuele stand van zaken in het onderzoek aan energiezuinige tomatenteelt in kassen en de plannen van de ondernemer, is een concept kassysteem Greenportkas II opgesteld. Het Greenportkas II concept is vergeleken met verschillende energiebesparingsprojecten bij tomaat. Onderling vergelijk van deze projecten is bijzonder lastig omdat de uitgangspunten soms zeer sterk verschillen. In dit rapport is geprobeerd de uitgangspunten en resultaten van deze projecten, waaronder ook Greenportkas I, onderling wel vergelijkbaar te maken, door alles terug te rekenen tot inzet van primaire energie. Hiervoor is gebruik gemaakt van het simulatieprogramma Kaspro. Om te beginnen is de energiebesparing van het Greenportkas II concept berekend op basis van het eerste idee van de ondernemer. De voorgestelde systeemopbouw van de Greenportkas II was een volledig LED belichtingssysteem met 50% tussenlicht, een dubbel kasdek met 4 x AR coating, ontvochtiging met buitenlucht, een enkelvoudige scherminstallatie met een doek om de lichtuitstoot te beperken en een aangepaste klimaatregeling op het gebied van de vocht en minimumbuisregeling. Dit bleek een besparing ten opzichte van de Greenportkas I van 28% op te leveren. Deze uitkomst is bediscussieerd met de ondernemer en met de energie coördinatoren van Kas als Energiebron. Dit leidde tot geleidelijke aanpassingen in de bouwplannen, die vervolgens door het onderzoek opnieuw werden doorgerekend. Vervolgens is in diverse feed back loops de in dit onderzoek gegenereerde kennis besproken met de ondernemer, waarna nieuwe rekensessies volgden. De uiteindelijke configuratie voor Greenportkas II is een combinatie van elementen uit Het Nieuwe Belichten & Het Nieuwe Telen, een dubbeldek met 4 x AR coating, zonder koeling en een verschuiving in de teeltperiode. De besparing op elektriciteit bedraagt 70% ten opzichte van Greenportkas I. Op de benodigde aanvullende warmte wordt in termen van primaire energie niet bespaard, omdat er geen warmte (als restproduct van de koudeproductie) en minder overschot van lampwarmte beschikbaar komt. In absolute termen wordt er in het Greenportkas II concept wel ca. 25% minder warmte gebruikt dan in de Greenportkas I.

Abstract

Based on the most actual scientific and practical knowledge on energy efficient growth of tomatoes, Wageningen UR Greenhouse Horticulture developed together with the grower the greenhouse concept Greenportkas II. This concept was compared with several other energy saving research projects by means of the simulation programme Kaspro. This concept included a full LED lighting system with 50% intermediate lighting, a double glass covering with 4x AR coating, dehumidification by means of outside air, a single screen to prevent light emission and a special climate regulation for humidity and heating. Compared to the Greenportkas I, this lead to a saving of 28% on primary energy. In a series of talks with the entrepreneur the concept was gradually adapted. The ultimate configuration of Greenportkas II saves 70% on electricity and 25% on heat, compared to Greenportkas I.

© 2011 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO).

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen
: Postbus 644, 6700 AP Wageningen
Tel. : 0317 - 48 60 01
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
2	Teeltbeschrijving en resultaten Greenportkas I	7
3	Greenportkas II	9
3.1	Aanpassingen kasconcept	9
3.1.1	Belichting	9
3.1.2	Ontvochtiging met buitenlucht	9
3.1.3	Dubbeldeks kasdek	10
3.1.4	Aanpassingen klimaatregeling	10
3.1.5	Energievoorziening	10
3.2	Resultaten	11
4	Greenportkas II in vergelijking met andere projecten	17
4.1	Vergelijking van teelten	17
4.1.1	Tomaat HNT	17
4.1.2	Tomaat HNT & Dubbeldek (Venlow Energy kas)	17
4.1.3	Tomaat Belichting	17
4.1.4	Tomaat HNB & HNT	18
4.1.5	Greenportkas II	19
4.2	Samenvatting energiestromen van de projecten	20
4.3	Vergelijking van de projecten	21
5	Conclusies	23
6	Aanbevelingen	25
7	Referenties	27
Bijlage I	Setpoints en uitrusting van de referentie kas	29

1 Inleiding

Ten behoeve van verduidelijking van de besparingsmogelijkheden van het Greenport II kasconcept, zijn enkele besprekingen met de ondernemer Joep Raemakers gevoerd welk kasconcept hij voor ogen heeft en hoe hij dit kasconcept denkt in te zetten voor de teelt van fijne tomaten. Vernieuwend hierbij is dat hier duidelijk de keus voor een belichte teelt in combinatie met een energiebesparend kasconcept is gemaakt. In zo'n energiebesparend kasconcept belichten, en dus moeten schermen ten behoeve van de beperking van lichtuitstoot, geeft een nieuwe uitdaging. Aan de hand van gesprekken, kennis uit het verleden (Monitoring technische systemen in semi-gesloten kassen, Gieling 2010) en de laatste stand van zaken met betrekking tot het gebruik van de greenport I kas, is een referentieteelt bepaald met het kasklimaatmodel KASPRO. Het gebruik van de greenport I kas bestaat op onderdelen al uit componenten van het nieuwe telen zoals bevochtiging, koeling, warmtepomp, aquifer. De belangrijkste stap, het ontvochtigen met buitenlucht, is in die kas nog niet geïmplementeerd. In de referentie is deze dan ook niet meegenomen. Daarnaast is er door de belichting eerder sprake van een warmteoverschot dan van een tekort.

In tweede instantie zijn vernieuwingen als LED belichting, ontvochtiging met buitenlucht, dubbel kasdek en een enigszins aangepaste regelstrategie ingezet waarna het KASPRO model de gevolgen op het kasklimaat en de inzet van warmte, koude en elektriciteit berekend heeft. Deze resultaten zijn wederom besproken met de ondernemer waarna er nog een verfijningsslag is aangebracht. In de gesprekken is ook diep ingegaan op gewasreacties m.b.t. het missen van een groot deel van stralingsverwarming zoals bij SON-T en de gevolgen van een dubbeldek op de gewastemperatuur.

In de teeltseizoenen 2009-2010 en 2010-2011 zijn er verschillende projecten uitgevoerd bij tomaat met Het Nieuwe Telen (HNT), dubbel glas en belichting met of zonder LED. Doel van al deze projecten is te komen tot een forse reductie van de input van primaire energie. Onderling vergelijk van deze projecten is lastig omdat de uitgangspunten soms zeer sterk verschillen. In hoofdstuk 4 is geprobeerd de uitgangspunten en resultaten onderling wel vergelijkbaar te maken om de vraag te beantwoorden of het teeltconcept Greenportkas II een wezenlijke stap voorwaarts is.

2 Teeltbeschrijving en resultaten Greenportkas I

De Greenportkas I (referentie) kas bestaat (voor de berekeningen) uit een kas van 4 ha. Om vroeg te kunnen planten (1 november), is de kas voorzien van belichting (SON-T) met een elektrisch vermogen van 111 W/m². Dat komt over een met een lichtintensiteit van 200 μmol/m²/s. De belichting wordt veelvuldig ingezet, ca. 1500 uur per jaar en heeft dan ook een elektriciteitsgebruik tot gevolg van 169 kWh/m².

Er is een scherm aanwezig welke naast energiebesparing vooral ook wordt ingezet om de lichtuitstoot te beperken. Hierbij wordt zodra het donker wordt en de belichting aan staat het scherm voor minimaal 92% gesloten.

Naast de belichting is de kas uitgerust met koelers met een beperkte koelcapaciteit van ca. 150 W/m². Deze capaciteit is uiteraard sterk afhankelijk van de omstandigheden (kasklimaat) en inzet van bronnen om te koelen (watertemperatuur en flow). Deze koeling wordt ingezet om de kop van de dag terug te koelen, maar zijn nog belangrijker om de gewenste voornachtverlaging beter te kunnen bereiken. De geografische ligging zorgt voor warmere nachten dan gewenst. Met koeling kan de etmaal temperatuur beter in de hand gehouden worden en de gewenste voornachtverlaging gerealiseerd. De koeling kan van half april tot begin september worden ingezet tussen 12 uur 's morgens (indien de ruimtetemperatuur boven de 25 °C komt en 4 uur na zonsondergang. In bijlage I zijn de setpointinstellingen terug te vinden. De koeling wordt op jaarbasis ca. 1000 uur ingezet.

In de referentiekas zijn verder geen bijzonderheden zoals ontvochtiging met buitenlucht, aanwezig.

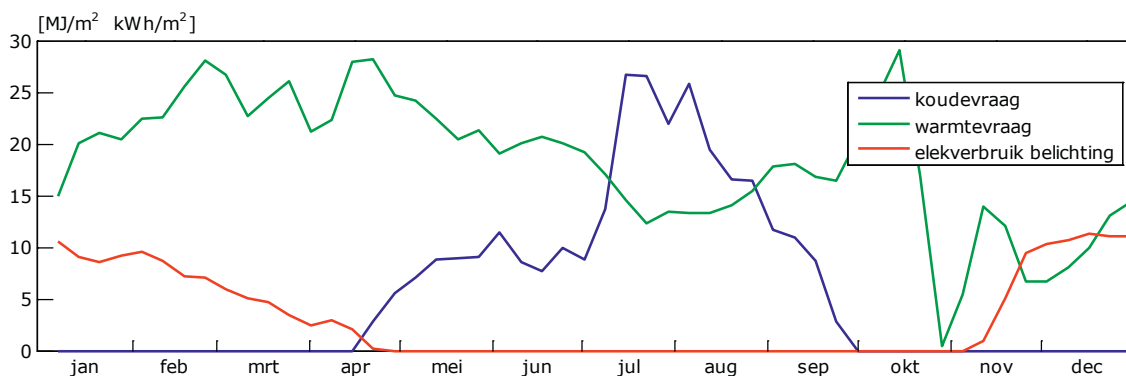
Deze uitgangspunten geven de volgende resultaten m.b.t de energiestromen voor belichting, koeling en verwarming.

Tabel 1. Overzicht energiestromen referentie.

bron		gebruik
warmtevraag	[MJ/m ²]	952
koudevraag	[MJ/m ²]	290
elektriciteit belichting	[kWh/m ²]	169
elektriciteit overig	[kWh/m ²]	7

In de berekeningen is niet direct gebruik gemaakt van een aquifer en warmtepomp. Deze systemen vragen een verfijnde afstelling en regeling en de gestelde vraag in deze is hoe de energiestromen er uit zien. Wel kan globaal worden aangegeven dat bij gebruik van een aquifer met warmtepomp met een COP van 3.5 (koude) bij de productie van de benodigde 290 MJ koude $290/3.5 \times 4.5 = 373$ MJ warmte zou zijn vrijgekomen bij een elektrische input van 83 kWh. De warmtevraag van 952 MJ wordt dan dus slechts ten dele ingevuld met warmtepomp. De restvraag van 579 MJ (952-373) moet dan ook nog met ketel of wk worden ingebracht.

In Figuur 1. is de koude, warmte en elektriciteitsvraag voor de belichting door het jaar heen weergegeven.



Figuur 1. Energievraagpatronen (weeksommen) van warmte, koude en elektriciteit ten behoeve van de belichting voor de referentie situatie.

Het totaal energiegebruik uitgedrukt in aardgasequivalenten is in Tabel 2. gegeven.

Tabel 2. Energiegebruik per bron in aardgasequivalenten.

bron	vraag	conversie factor	aardgasequivalenten [m ³ /m ²]
warmte (restvraag)	579 MJ	31.65 MJ/m ³	18.3
koude	290 MJ	12.6 MJ/kWh & 3.8 kWh/m ³	6.1
elektriciteit belichting	169 kWh	3.8 kWh/m ³	44.5
elektriciteit overig	7 + 15 ¹⁾ kWh	3.8 kWh/m ³	5.8
Totaal			74.7

¹⁾ dit is het geschat gebruik voor het runnen van de aquifer pompen en de koelers.

3 Greenportkas II

Voor de Greenportkas II zijn een aantal technieken volgens het principe van Het Nieuwe Telen goed bruikbaar. Een 4-tal concepten zal in dit hoofdstuk besproken worden.

3.1 Aanpassingen kasconcept

In dit kasconcept zijn de volgende zaken veranderd ten opzichte van de referentie:

1. Belichting uitgevoerd in LED (niet gekoeld)
2. Ontvochtiging met buitenlucht
3. Dubbeldeks kasdek
4. Aanpassing in de klimaatregeling

3.1.1 Belichting

De Belichting zal van SON-T naar een LED systeem gaan. Hierbij wordt uitgegaan van 50% bovenbelichting en 50% tussenbelichting. Uit resultaten uit het project "Lichtbenutting van tomaat onder LED en SON-T belichting" (Dueck, 2010) is naar voren gekomen dat tussenbelichting de efficiëntie verhoogd. Anders gezegd: door toepassing van tussenbelichting kan met minder licht dan in een situatie met alleen SON-T een gelijke productie worden bereikt. Daarnaast is de laatste generatie LED systemen in efficiency van omzetting van elektrische input naar PAR licht wat beter dan de SON-T. Waar de SON-T inclusief voorschakelapparatuur 1.8 μmol per W_{el} produceert is voor een niet gekoeld LED systeem door leveranciers aangegeven dat deze 1.93 μmol per W_{el} produceren. Er is met nadruk voor gekozen om niet met watergekoelde LED systemen te gaan werken omdat dit energetisch niet goed in het concept is in te passen. Voorgaande betekend dat in plaats van 111 W_{el} er in de nieuwe situatie nog 96.4 W_{el} geïnstalleerd wordt.

Naast deze verandering in elektrische input, is ook de output van de lamp aangepast. Waar SON-T zo'n 40% van de elektrische input direct omzet in warmtestraling wordt dit voor de LED ingeschat op nog slechts 5%. Het verschil komt door convectie vrij voor het verwarmen van de kaslucht.

Deze verandering in locatie waar de warmte vrijkomt, heeft ook direct gevolgen voor de klimaatregeling, daar wordt in paragraaf 3.1.4 "aanpassing klimaatregeling" op teruggekomen.

Een additioneel voordeel van de tussenbelichting is dat er minder armaturen hoog in de kas boven het gewas komen te hangen. Gezien de dimensionering van de laatste LED belichtingssystemen is hier nog geen voordeel aan toegekend.

Het missen van het grootste deel van de warmtestraling van de SON-T belichting zal de warmtebalans van het gewas (kop) beïnvloeden. Ook het dubbele dek levert hier een bijdrage aan. In een discussie sessie is besproken dat dit mogelijk gevolgen heeft waar op geanticipeerd moet worden. Model technisch kan alleen aangegeven of en in welke richting de gewastemperatuur in het algemeen zal veranderen. De locatie van de luchtbehandelingskasten geven echter de mogelijkheid om indien noodzakelijk warme lucht over de kop van het gewas te verspreiden. In de berekeningen kan hier geen rekening mee gehouden worden.

3.1.2 Ontvochtiging met buitenlucht

Waar in de referentie gebruik werd gemaakt van een standaard vochtregeling, wordt hier gekozen voor het ontvochtigen met buitenlucht. Door de vroege teeltstart met belichting, in combinatie met het moeten schermen en het dubbele kasdek, vraagt dimensionering van dit systeem een aparte studie met betrekking tot optimalisatie. In eerste instantie is gekozen voor een systeem van 10 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{uur}$. Berekeningen aan en testen in de Venlow Energy kas hebben laten zien dat deze capaciteit (nog) niet beperkend was. Worden de ramen verder dan 20% open gestuurd, dan wordt dit systeem uitgeschakeld. Er zullen nieuwe innovatieve ventilatoren worden ingezet die een gebruik kennen van 0.1 W per m^3/m^2 . Anders gezegd bij een maximum stand zal dit systeem 1 W per m^2 gebruiken. Er wordt geen gebruik gemaakt van warmteterugwinning.

3.1.3 Dubbeldeks kasdek

Het enkele glas van de referentiekas wordt vervangen door dubbelglas welke aan vier zijden gecoat is met een Anti Reflectie (AR) coating. In vergelijking met het glas van de Venlow Energy kas wordt hier met betrekking tot de energiebesparing iets prijsgegeven. Waar de U-waarde van dubbelglas met 3 x AR en 1 X low- ϵ ca. $1.8 \text{ W/m}^2/\text{K}$ zou bedragen, wordt voor dit glas uitgegaan van $4.8 \text{ W/m}^2/\text{K}$. Daar staat tegenover dat dit glas zelfs nog meer licht doorlaat dan de referentie. Voor de referentie (enkel glas) wordt met een diffuse transmissie van 82% voor het materiaal gerekend. Voor het dubbelglas in 4x AR uitvoering is de diffuse transmissie 83%. Met betrekking tot de kasdekconstructie en afmetingen is aangenomen dat deze vergelijkbare lichtverliezen heeft als het referentiedek. De uitvoering staat nog teveel in discussie om hier al conclusies aan te verbinden.

3.1.4 Aanpassingen klimaatregeling

Bij het doorspreken van de effecten van de in de voorgaande drie paragrafen beschreven aanpassingen zijn op voorhand al een aantal setpoint wijzigingen doorgevoerd. Het betreft de volgende parameters:

1. minimumbuis op 3 niveaus (a, b en c)
2. vochtregeling

In de referentie wordt nog veelvuldig gebruik gemaakt van een minimumbuis op de buisrail, dan wel op de groeibuis. Bij tussenbelichting kan de tussenlicht balk gezien worden als een verwarmingselement. Deze kan een minimumbuis temperatuur op de groeibuis en of de buisrail prima vervangen. Bij een elektrische input van de tussenbelichting van 48.2 W/m^2 . Dit komt overeen met een over-temperatuur van $27 \text{ }^\circ\text{C}$ bij een buisdiameter van 45 mm als er 1 meter buis per m^2 kas ligt. Aanpassing 1a) is dan ook om alle minimumbuis temperaturen op 0 te stellen zodra de belichting aan is.

Omdat de kas dubbeldeks is, zal het warmteverlies van de kas kleiner zijn. Anders gezegd bij een gelijke buis temperatuur ten opzichte van de referentie zal de kas warmer worden. Dit kan voorkomen worden door de minimumbuis temperatuur te verminderen. Bij aanpassing 1b) is de minimumbuis temperatuur ten opzichte van de referentie gehalveerd. Ervaringen in de Venlow energy kas in de komkommerteelt en deze winter/voorjaar in de tomatenteelt hebben laten zien dat er ook zonder minimumbuis gewerkt kan worden. In aanpassing 1c) is de minimumbuis dan ok volledig weggelaten. De vochtregeling met de buis kan hier nog wel iets overrulen, dat wordt echter in de volgende alinea besproken.

De vochtregeling is in de referentie jaarrond gesteld op een setpoint van 2.5 g/m^3 . Dankzij de hulp van de buitenluchtontvochtiging is deze teruggebracht tot 2 g/m^3 . De regeling van de ontvochtiging met buitenlucht is zodanig afgesteld dat zodra de luchtramen meer dan 20% geopend zijn dit systeem wordt uitgeschakeld. daar is één uitzondering op gemaakt, mocht er op momenten dat er belicht wordt en het scherm voor lichtuitstoot gesloten is, meer dan 20% lucht staan, dan blijft de ontvochtiging met buitenlucht wel in bedrijf. Is het systeem uitgeschakeld, maar is het vochtdeficiet toch onder de gestelde setpoint gekomen, dan wordt er een buis temperatuurverhoging ingesteld die maximaal $10 \text{ }^\circ\text{C}$ boven de kasluchttemperatuur kan komen te liggen. Deze regeling kan als een vochtafhankelijke minimumbuis gezien worden.

Bij verdere fine-tuning is het zeker mogelijk verbeteringen in de klimaatregeling te maken. In dit stadium is hier niet voor gekozen.

3.1.5 Energievoorziening

In deze berekeningen is geen gebruik gemaakt van een in het model geïntegreerd ketelhuis.

3.2 Resultaten

De in paragraaf 3.1 besproken punten worden in deze paragraaf aan de hand van de volgende 4 cases besproken.

Tabel 3. Overzicht berekende cases.

case	belichting	vocht	minimumbuis	koeling	dek	scherm
referentie	111 Wel	2.5 g/m ³	jaarrond	middag en avond	enkel	op temperatuur en lichtuitstoot
LED	96.4 Wel	2.0 g/m ³ + 10 m ³ /m ² /uur buitenlucht	niet tijdens belichten	als referentie	dubbel 4 x AR	als referentie
LED +1/2 minbuis	96.4 Wel	2.0 g/m ³ + 10 m ³ /m ² /uur buitenlucht	niet bij belichten + helft van referentie	als referentie	dubbel 4 x AR	als referentie
LED zonder minbuis	96.4 Wel	2.0 g/m ³ + 10 m ³ /m ² /uur buitenlucht	nooit, alleen stoken op warmtevraag	als referentie	dubbel 4 x AR	als referentie

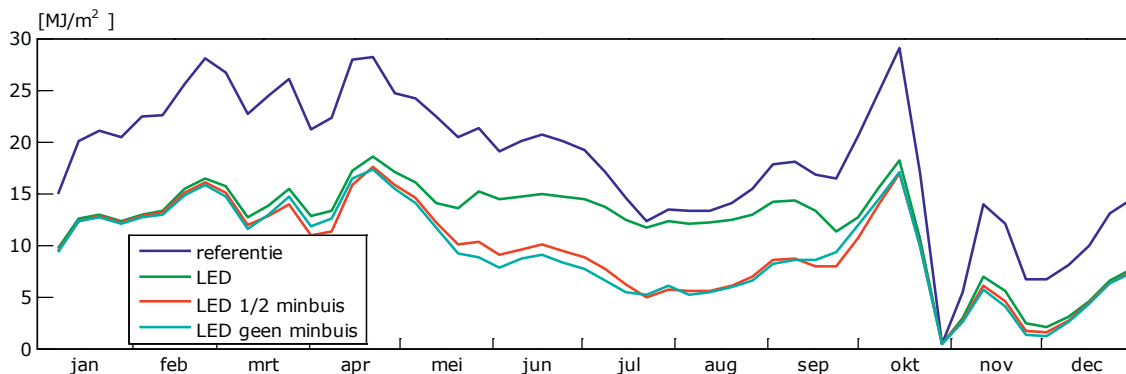
In Tabel 4. zijn de resultaten weergegeven in energiestromen, input aan aardgas equivalenten en een besparing ten opzichte van de referentie berekend.

Tabel 4. Resultaten berekeningen.

	warmte vraag kas	koude vraag kas	el vraag WP	warmte productie WP	el vraag belichting	el vraag ontvochtiging	el vraag verwarming en motoren
case	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[kWh/m ²]	[MJ/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]
referentie	952	290	27	387	169	0	7
LED	626	337	31	449	147	2	5
LED +1/2 minbuis	493	318	29	424	147	2	4
LED zonder minbuis	485	318	29	424	147	2	4
	el vraag koeling en aquifer systeem	el vraag totaal	resterende warmte vraag	ae. vraag el iproductie	ae. vraag warmte productie	ae vraag totaal	besparing
case	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[MJ/m ²]	[m ³ ae/m ²]	[m ³ ae/m ²]	[m ³ ae/m ²]	[%]
referentie	15	218	565	57	18	75	0
LED	17	201	177	53	6	59	22
LED +1/2 minbuis	16	198	69	52	2	54	28
LED zonder minbuis	16	198	61	52	2	54	28

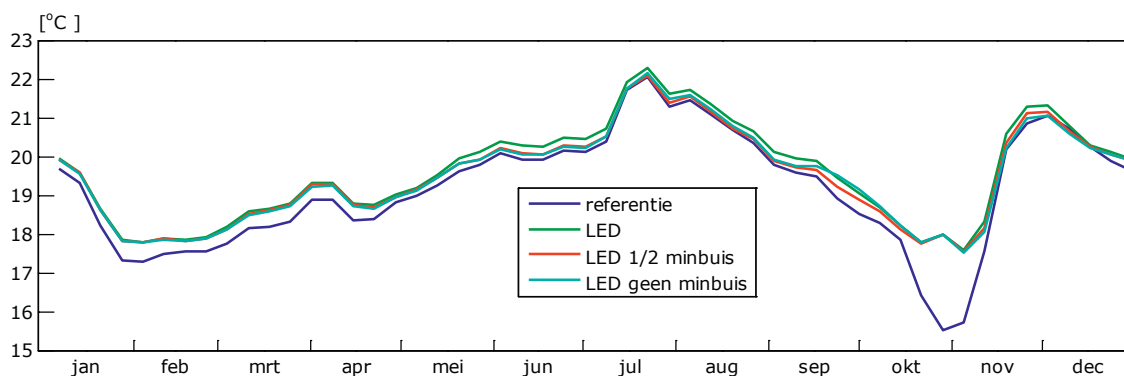
Inzet van een dubbeldek met 4x AR coating verlaagd de warmtevraag met ca. 22% . Verdere verlaging kan bereikt worden door het minimumbuisgebruik verder terug te dringen. De warmtevraag zal maximaal met ca. 50% teruggedrongen kunnen worden. Voor verdere verlaging van de warmtevraag zal overgestapt moeten worden op een ander type glas (1x low-ε coating). Bij toepassing van een dubbeldek gaat de koelvraag iets omhoog. De gegevens in Tabel 4. laten ook zien dat een deel van de minimumbuis warmte er met de koeling er weer uit gekoeld worden. Immers een afbouw van de minimumbuis doet ook de koelvraag verminderen. De introductie van de LED verlichting doet de elektriciteitsvraag voor de belichting met zo'n 13% afnemen. Deze besparing is het resultaat van een systeemeigenschap. Middels de regeling is hier niets aan geoptimaliseerd. De elektriciteitsvraag voor ontvochtiging is vrijwel gelijk en zal op jaarbasis tussen de 2 en 3 kWh vergen.

In Figuur 2. is de warmtevraag voor de in Tabel 4. weergegeven cases gepresenteerd.



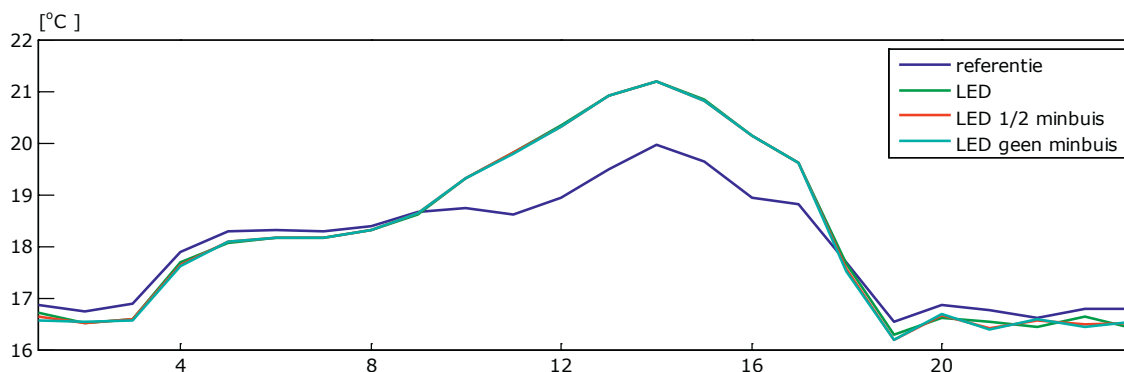
Figuur 2. Warmtevraag (weeksommen) voor de verschillende besparingscases. (voortschrijdend gemiddelde over 2 weken).

De figuur laat duidelijk zien dat er vooral in de zomermaanden additionele besparing mogelijk is. Aanpassingen in de regeling hebben in de winter en het voorjaar vrijwel geen invloed op het vraagpatroon. Het vraagpatroon kan in de winter pas weer beïnvloed worden door een ander kasdek te plaatsen. Daar staat tegenover dat in dat geval er een forse toename is in etmaaltemperatuur in de belichtingsperiode zoals Figuur 3. toont. Het kleine verschil in energievraag in de zomer tussen LED met halve minimumbuis of geen minimumbuis komt door de ontvochtiging bij grote raamopeningen. Op momenten dat het raam meer dan 20% geopend is en er een vochtdeficiet van minder dan 2 g/m³ is, wordt de buistemperatuur verhoogd tot maximaal 10 °C boven de kasluchttemperatuur. Hier gaat nog een behoorlijke hoeveelheid warmte inzitten, zoals uit de figuur blijkt.



Figuur 3. Etmaaltemperatuur (weekgemiddelde) voor de verschillende besparingscases. (voortschrijdend gemiddelde over 2 weken).

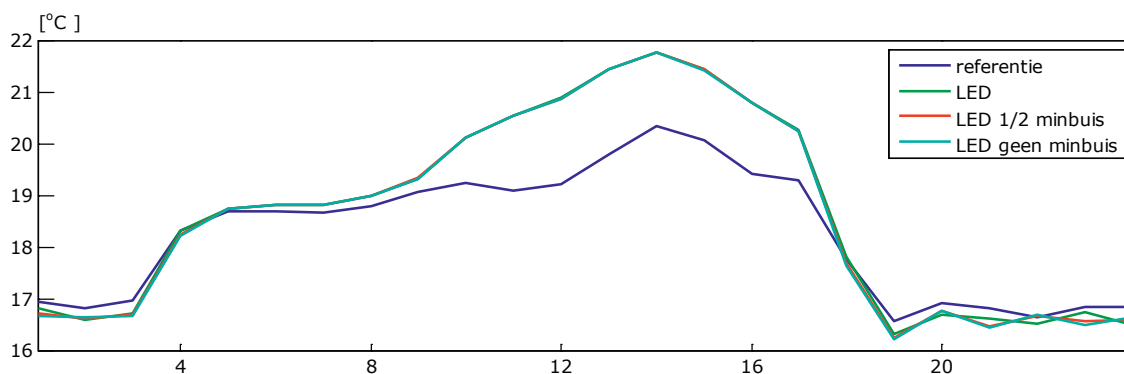
Figuur 3. laat zien dat in een groot deel van het jaar bij toepassing van een dubbel dek er sprake is van een kleine toename in de etmaaltemperatuur. Indien nodig zou dit zal met een aanpassing in de regeling opgelost moeten kunnen worden. In Figuur 4. is van de maand januari het cyclisch gemiddelde van de gewastemperatuur getoond.



Figuur 4. Cyclisch gemiddelde gewastemperatuur in januari voor de verschillende besparingscases.

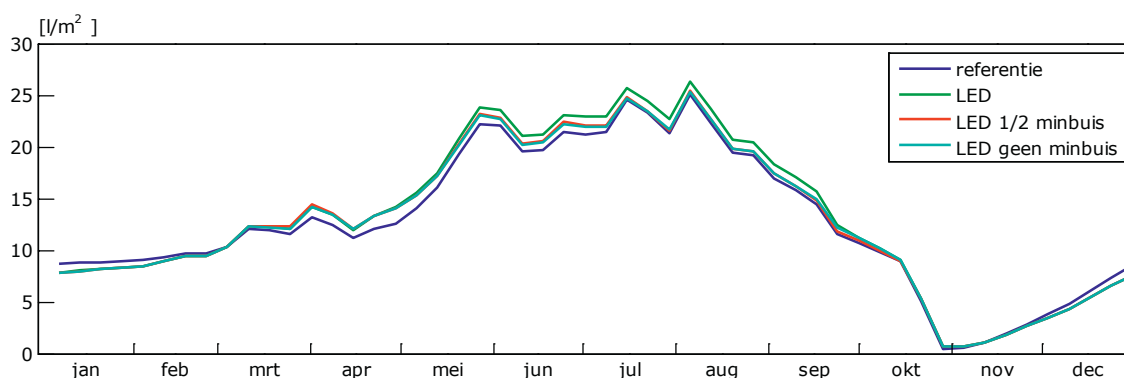
Het relatief kleine verschil in de avond en nacht wordt zeer waarschijnlijk veroorzaakt door het moeten schermen en het dubbel glas. Overdag gaat het scherm open en juist dan ontstaat een groot verschil met de referentie. De lampen branden in de periode globaal van 3 uur 's nachts tot maximaal 16:00 uur.

Voor vergelijking met de kasluchttemperatuur is in Figuur 5. het cyclisch gemiddelde van de kasluchttemperatuur in januari gegeven.



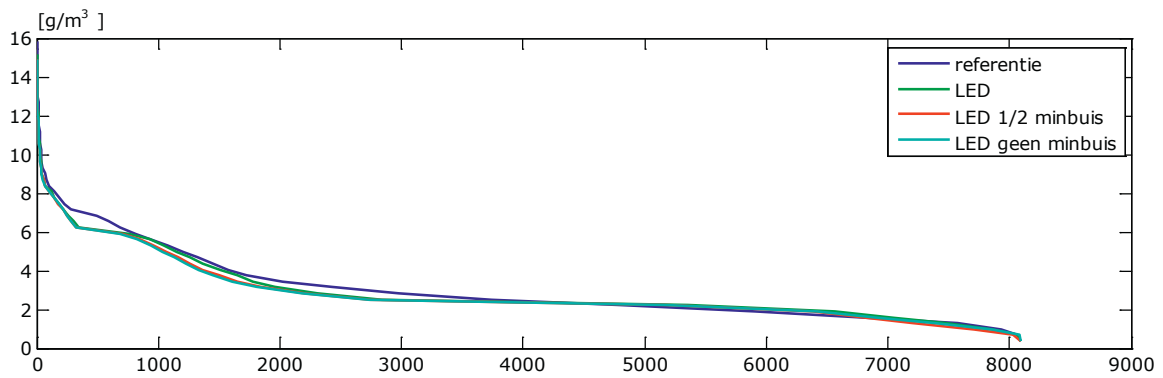
Figuur 5. Cyclisch gemiddelde kasluchttemperatuur in januari voor de verschillende besparingscases.

Als de SON-T in de referentie aan is, ligt de gewastemperatuur van de referentieafdeling dicht bij de ruimtetemperatuur dan bij de LED belichting. Een verandering in de energiehuishouding van het gewas zal ook de gewasverdamping beïnvloeden. In Figuur 6. is de weksom verdamping voor de verschillende cases gegeven. In de winter verdampt het gewas onder de LED iets minder, maar dit patroon is in de zomer juist omgekeerd. Dit patroon van de hogere zomerverdamping was ook al te zien in Figuur 3. waar de minimumbuis de ruimtetemperatuur liet oplopen, wat in meer verdamping zal resulteren. Ook de wat hogere transmissie van de dubbeldekskas ten opzichte van de transmissie heeft hier invloed op.



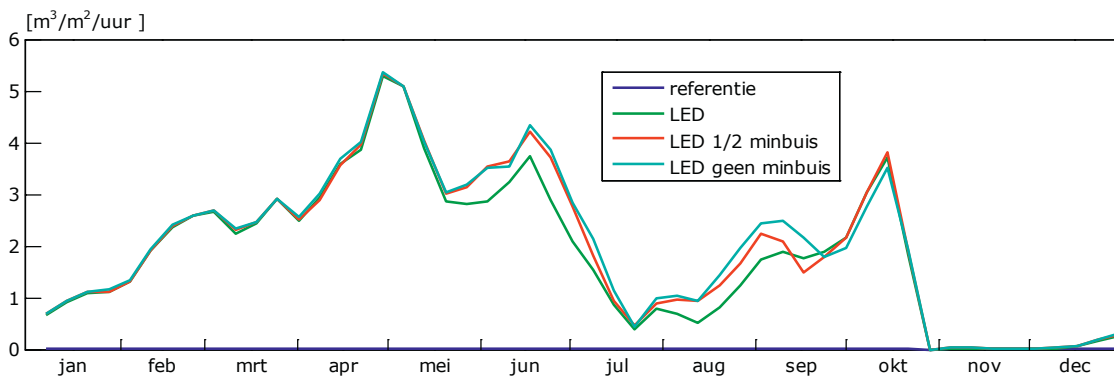
Figuur 6. Weksom verdamping voor de verschillende besparingscases.

Figuur 7. laat de jaarbelastingduurkromme van het vochniveau in de kas zien gedurende het jaar, de teeltwisselingsperiode buiten beschouwing houdend.



Figuur 7. Jaarbelasting duerkromme van het vochtdeficiet voor de verschillende besparingscases. (de teeltwisseling is buitenbeschouwing gelaten).

De gerealiseerde verschillen zijn klein ondanks het lager gekozen vochtsetpoint in de dubbeldek situatie. In de concepten met LED's is het wat minder vaak erg droog dan in de referentie. Qua hoge luchtvochtigheid heeft de referentie 2500 uur een vochtdeficiet van minder dan 2 g/m^3 gehad, en de LED's niet meer dan 1800 uur met een vochtdeficiet van minder dan 2 g/m^3 . De ontvochtiging doet dan ook nuttig werk. De inzet van dit systeem is in Figuur 8. getoond.



Figuur 8. Weekgemiddelde capaciteit van de ontvochtigingsinstallatie voor de verschillende besparingscases.

De figuur laat zien dat de minimumbuis een ontvochtigend effect heeft. Immers in de zomer is de case met de grootste minimumbuis ook de case met de minste draaiuren van het systeem. De maximum capaciteit van de ontvochtiging is ca. 400 tot 600 uur op jaarbasis volledig benut.

4 Greenportkas II in vergelijking met andere projecten

De laatste twee teeltseizoenen zijn er verschillende projecten uitgevoerd bij tomaat met HNT, dubbel glas en belichting met of zonder LED. Doel van al deze projecten is te komen tot een forse reductie van de input van primaire energie. Onderling vergelijk van deze projecten is lastig omdat de uitgangspunten soms zeer sterk verschillen. In dit document is geprobeerd uitgangspunten en resultaten onderling wel vergelijkbaar te maken om de vraag te beantwoorden of het teeltconcept Greenportkas II een wezenlijke stap voorwaarts is. Om de discussie rondom de opwekking van warmte en elektriciteit zoals wel/geen wkk, gedeeltelijke of gehele inkoop van elektriciteit e.d. te voorkomen, worden alle energiestromen herleid naar MJ warmte en koude en kWh elektriciteit. In de elektriciteitsgebruiken is niet de "basislast" aan gebruik opgenomen voor waterbehandeling en watergift, pompen en motoren voor de klimaatregeling. Deze post voor pompen, ontsmetting, motoren van schermen en ramen e.d. wordt voor alle teelten gelijk gesteld op ca. 7 kWh/m² en worden verder dan ook niet meer in deze cijfers meegenomen.

In paragraaf 4.1.5 is een case 5C opgenomen als zijnde een interessant alternatief voor greenportkas II die niet in hoofdstuk 3 besproken is. In deze case wordt het teeltseizoen iets verschoven zodat minder belichting geïnstalleerd kan worden.

4.1 Vergelijking van teelten

In deze paragraaf zal van een aantal proeven, teelten in Greenportkas I en het teeltconcept Greenportkas II een korte samenvatting gegeven worden van de hoofdpunten waar deze teelten afwijken en de resultaten op gebied van energieprestaties.

4.1.1 Tomaat HNT

Case 1: In dit project, uitgevoerd bij GreenQ Improvement Centre te Bleiswijk, werd een maximale isolatiegraad bereikt door toepassing van 3 schermen (XLS 18 Firebreak, XLS 10 Ultra Revolux en een tijdelijk vast AC-Folie 20x20 perforatie). Er is een niet belichte teelt geplant op 23 december 2009 en beëindigd op 23 november 2010, deze is rondgezet met 728 MJ warmte /m² (23 m³ gas) en een extra elektriciteitsgebruik van 8.9 kWh/m² voor de LBK. Er was een alternatieve CO₂ bron in de vorm van een OCAP aansluiting aanwezig.

4.1.2 Tomaat HNT & Dubbeldek (Venlow Energy kas)

Case 2: Project uitgevoerd in de Venlow Energy kas op het IDC Kas als Energiebron te Bleiswijk. Waar in het onder 4.1.1 besproken project de isolatie werd bereikt door de inzet van 3 schermen, is in dit project nog één scherm over maar is het dek vervangen door een dubbel kasdek met op 3 zijden een AR (Anti Reflectie) coating en op één zijde een low-e coating. De AR coatings zijn noodzakelijk om het lichtverlies te minimaliseren. Het geprognostiseerde warmtegebruik in dit project is 506 MJ/m² (16 m³) bij een elektriciteitsgebruik voor de LBK met een aan- en afvoer-ventilator van in totaal 6 kWh. Eind oktober lag het warmtegebruik met 482 MJ wat boven de prognose. De prognose zal bijgesteld moeten worden richting de 520 MJ/m² (ca. 16.5 m³) Ook in dit project is een alternatieve CO₂ bron in de vorm van een OCAP aansluiting aanwezig. De teeltperiode is van 23 december tot en met 10 november.

4.1.3 Tomaat Belichting

Dit zijn een aantal projecten waar nog met SON-T belicht wordt.

Tomaat SON-T

Case 3A: Project uitgevoerd bij GreenQ IC. Het was de vergelijkingsafdeling van de bij Case 4 beschreven proef. Bij belichting speelt niet alleen de belichtingsintensiteit maar ook de belichtingsduur een grote rol in het elektriciteitsgebruik. Voor deze teelt is uitgegaan van een 100% SON-T belichting met een intensiteit van $215 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ die op jaarbasis 2500 uur gebuikt wordt. In de belichting wordt 300 kWh gestoken ($1.8 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ per W_{el}) Dit levert veel uren warmteoverschot op, zodat er minder warmte via de buizen toegevoerd hoeft te worden. Omdat er geen vorm van HNT wordt toegepast wordt de minimumbuis nog veelvuldig ingezet. Hierbij wordt nog $1076 \text{ MJ}/\text{m}^2$ aan additionele warmte ingebracht. De teeltperiode is van 15 oktober tot 15 september.

Tomaat Greenportkas I SON-T zonder koeling

Case 3B: Deze casus is gebaseerd op de teelt in de huidige Greenportkas I in Venlo. De kas is 4 ha groot. Om vroeg te kunnen planten (1 november), is de kas voorzien van belichting (SON-T) met een elektrisch vermogen van $111 \text{ W}/\text{m}^2$. Dat komt overeen met een lichtintensiteit van $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. De belichting wordt ca. 1500 uur per jaar en heeft dan ook een elektriciteitsgebruik tot gevolg van $169 \text{ kWh}/\text{m}^2$. De belichtingsduur verschilt zoveel van optie 3A doordat er regelmatig voor gekozen wordt in geval van warmteoverschot de belichting uit te schakelen om het gewas te beschermen. Ook ligt de teeltstart hier enkele weken later. Er is een scherm aanwezig welke naast energiebesparing vooral ook wordt ingezet om de lichtuitstoot te beperken. Hierbij wordt zodra het donker wordt en de belichting aan staat het scherm voor minimaal 92% gesloten. De benodigde energiestroom voor verwarming is $944 \text{ MJ}/\text{m}^2$. De teeltperiode is dus van 1 november tot 1 oktober.

Tomaat Greenportkas I SON-T met koeling

Case 3C: Deze referentie kas is identiek aan de vorige casus 3B (Greenportkas I zk) maar naast de belichting is de kas nu ook uitgerust met koelers met een beperkte koelcapaciteit van ca. $150 \text{ W}/\text{m}^2$. Deze capaciteit is uiteraard sterk afhankelijk van de omstandigheden (kasklimaat) en inzet van bronnen om te koelen (watertemperatuur en flow). Deze koeling wordt ingezet om de kop van de dag terug te koelen, maar is nog belangrijker om de gewenste voornachtverlaging beter te kunnen bereiken. De geografische ligging zorgt voor warmere nachten dan gewenst. Op deze manier kan de etmaaltemperatuur beter in de hand gehouden worden. De koeling kan van half april tot begin september worden ingezet tussen 12 uur 's morgens (indien de ruimtetemperatuur boven de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ komt en 4 uur na zonsondergang. De koeling wordt op jaarbasis ca. 1000 uur ingezet. In de referentiekas zijn verder geen bijzonderheden zoals ontvochtiging met buitenlucht, aanwezig. Deze uitgangspunten geven de volgende resultaten m.b.t de energiestromen voor verwarming en koeling zijn respectievelijk $952 \text{ MJ}/\text{m}^2$ en $290 \text{ MJ}/\text{m}^2$. Het elektriciteitsgebruik voor de belichting van $169 \text{ kWh}/\text{m}^2$ zoals beschreven bij 3B blijft gelijk. De teeltperiode is dus van 1 november tot 1 oktober.

4.1.4 Tomaat HNB & HNT

Case 4: In de proef met Het Nieuwe Belichten (HNB) bij GreenQ-IC is een deel van de SON-T belichting vervangen door LED belichting. Deze LED belichting kenmerkt zich door een iets hogere omzettingsefficiëntie door er vrijwel geen blauw licht mee te produceren. Daarom weet dit systeem $1.9 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ per W_{el} te produceren. Er is een belichtingscapaciteit van $210 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verdeeld in $110 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T en $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ LED. In de huidige proef heeft de SON-T uiteindelijk 2156 uur gebrand, wat 132 kWh elektriciteit heeft gekost. Daarnaast heeft de LED 3010 uur gebrand, wat 158 kWh elektriciteit heeft gekost. De belichting heeft dan ook $290 \text{ kWh}/\text{m}^2$ gebruikt. Naast de aanpassingen in de belichting is hier ook HNT geïntroduceerd. Het minimumbuisgebruik is grotendeels achterwege gebleven en er is actief ontvochtigd met een buitenluchtaanzuiging. Het elektriciteitsgebruik voor de LBK is 5 kWh (geschat) en de warmteinput in buizen en naverwarming van de LBK is $730 \text{ MJ}/\text{m}^2$. Net als de vergelijkingsteelt die beschreven is bij Case 3A liep de teelt van 15 oktober tot 20 september.

4.1.5 Greenportkas II

De volgende vier cases zijn teeltconcepten die in Greenportkas II zouden kunnen worden toegepast.

Tomaat Greenportkas II zonder koeling

Case 5A: De belichting zal van SON-T naar een LED systeem gaan. Hierbij wordt uitgegaan van 50% bovenbelichting en 50% tussenbelichting. Resultaten uit het project "Lichtbenutting van tomaat onder LED en SON-T belichting" (Dueck, 2010) is naar voren gekomen dat tussenbelichting de efficiëntie verhoogd. Anders gezegd door toepassing van tussenbelichting kan met minder licht dan in een situatie met alleen SON-T een gelijke productie worden bereikt. Daarnaast is de laatste generatie LED systemen in efficiency van omzetting van elektrische input naar PAR licht wat beter dan de SON-T. Waar de SON-T inclusief voorschakelapparatuur $1.8 \mu\text{mol per } W_{\text{el}}$ produceert is voor een niet gekoeld LED systeem door leveranciers aangegeven dat deze $1.93 \mu\text{mol per } W_{\text{el}}$ produceren. Er is met nadruk voor gekozen om niet met gekoelde LED systemen te gaan werken omdat dit energetisch niet goed in het concept is in te passen. Voorgaande betekend dat in plaats van $111 W_{\text{el}}$ er in de nieuwe situatie nog $96.4 W_{\text{el}}$ geïnstalleerd wordt. Waar in de referentie gebruik werd gemaakt van een standaard vochtregeling, wordt hier gekozen voor het ontvochtigen met buitenlucht. Door de vroege teeltstart met belichting, in combinatie met het moeten schermen en het dubbele kasdek, vraagt dimensionering van dit systeem een aparte studie met betrekking tot optimalisatie. In eerste instantie is gekozen voor een systeem van $10 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{uur}$. Berekningen aan en testen in de Venlow Energy kas hebben laten zien dat deze capaciteit (nog) niet beperkend was. Worden de ramen verder dan 20% open gestuurd, dan wordt dit systeem uitgeschakeld. Er zullen nieuwe innovatieve ventilatoren worden ingezet die een gebruik kennen van $0.1 \text{ W per m}^3/\text{m}^2$. Anders gezegd bij een maximum stand zal dit systeem 1 W per m^2 gebruiken. Er wordt geen gebruik gemaakt van warmteterugwinning. Het enkele glas van de referentiekas wordt vervangen door dubbelglas welke opgebouwd is uit $4 \times \text{AR}$. In vergelijking met het glas van de Venlow Energy kas wordt hier met betrekking tot de energiebesparing iets prijsgegeven. Waar de U-waarde van dubbelglas met $3 \times \text{AR}$ en $1 \times \text{low-}\epsilon$ ca. $1.8 \text{ W/m}^2/\text{K}$ zou bedragen, wordt voor dit glas uitgegaan van $3.8 \text{ W/m}^2/\text{K}$. Daar staat tegenover dat dit glas zelfs nog meer licht doorlaat dan de referentie. Voor de referentie (enkel glas) wordt met een diffuse transmissie van 82% voor het materiaal gerekend. Voor het dubbelglas in $4 \times \text{AR}$ uitvoering is de diffuse transmissie 83%. Met betrekking tot de kasdeconstructie en afmetingen is aangenomen dat deze vergelijkbare lichtverliezen heeft als het referentiedek. De uitvoering staat nog teveel in discussie om hier al conclusies aan te verbinden. In de referentie wordt nog veelvuldig gebruik gemaakt van een minimumbuis op de buisrail, dan wel op de groeibuis. Bij tussenbelichting kan de tussenlicht balk gezien worden als een verwarmingselement. Deze kan een minimumbuis temperatuur op de groeibuis en of de buisrail prima vervangen. Bij een elektrische input van de tussenbelichting van 48.2 W/m^2 . Dit komt overeen met een over-temperatuur van $27 \text{ }^\circ\text{C}$ bij een buisdiameter van 45 mm als er $1 \text{ meter buis per m}^2$ kas ligt. Ervaringen in de Venlow energy kas in de komkommerteelt (2010) maar ook in de tomatenteelt (2011) hebben laten zien dat er ook zonder minimumbuis gewerkt kan worden. De minimumbuis is dan ook volledig weggelaten. De vochtregeling is in de referentie jaarrond gesteld op een setpoint van 2.5 g/m^3 . Dankzij de hulp van de buitenluchtontvochtiging is deze teruggebracht tot 2 g/m^3 . De regeling van de ontvochtiging met buitenlucht is zodanig afgesteld dat zodra de luchtramen meer dan 20% geopend zijn dit systeem wordt uitgeschakeld. Daar is één uitzondering op gemaakt, mocht er op momenten dat er belicht wordt en het scherm voor lichtuitstoot gesloten is, meer dan 20% lucht staan, dan blijft de ontvochtiging met buitenlucht wel in bedrijf. Is het systeem uitgeschakeld, maar is het vochtdeficiet toch onder de gestelde setpoint gekomen, dan wordt er een buistemperatuurverhoging ingesteld die maximaal $10 \text{ }^\circ\text{C}$ boven de kasluchttemperatuur kan komen te liggen. Deze regeling kan als een vochtafhankelijke minimumbuis gezien worden. Deze combinatie leidt tot een elektriciteitsgebruik voor de belichting en LBK van de buitenluchtaanzuiging van respectievelijk 147 en 2 kWh/m^2 . De warmtevraag is gereduceerd tot 482 MJ/m^2 . Er is niet gekoeld. De teeltperiode loopt van 1 november tot 15 oktober.

Tomaat Greenportkas II met koeling

Case 5B: Voor de zelfde reden als onder punt 3C genoemd, wordt aan de onder punt 5A beschreven kas alsnog koeling toegevoegd, die wederom op de zelfde manier als beschreven onder punt 3C ingezet zal worden. Het elektriciteitsgebruik voor de belichting en LBK van de buitenluchtaanzuiging blijven met respectievelijk 147 en 2 kWh/m^2 gelijk aan 5A. De warmte en koudevraag worden nu respectievelijk 485 en 318 MJ/m^2 . De teeltperiode loopt van 1 november tot 15 oktober.

Tomaat Greenportkas II met koeling beperkt belichten

Case 5C: In de hiervoor genoemde scenario's is de belichting ingezet om een jaarrond productie te kunnen realiseren. Bij een vroege start in oktober wordt de plantbelasting rond de kortste dag al zodanig dat er dan ook zeer zwaar belicht moet worden met inzet van een aanzienlijke hoeveelheid elektriciteit. Vanuit de duurzaamheidsgedachte zou een tussenstap een behoorlijk besparingspotentieel hebben. Door de teelt half december te starten, maar met slechts $83 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ te belichten ($46 W_e$), kan wel een goede kwaliteit product in het vroege voorjaar (rond eind februari) in de markt worden gezet. De belichting wordt dan ook beperkt ingezet ter ondersteuning/aanvulling van het natuurlijk licht.

Tomaat Greenportkas II zonder koeling beperkt belichten

Case 5D: De discussie wel of geen koeling heeft verschillende gevolgen. De investering wordt beperkt maar daar staat tegenover dat warmtewinning en deze warmte in een later stadium weer inzetten wordt uitgesloten. Ook het doel van inzet van koeling in de Greenportkas I, kan niet zomaar terzijde worden gezet. Als er geen koeling is zullen de bereikte effecten van de koeling op het kasklimaat en de plant op een alternatieve manier moeten worden bereikt. Op voorhand wordt er van uit gegaan dat dit met gewasmanagement bereikt moet kunnen worden.

4.2 Samenvatting energiestromen van de projecten

Samengevat staan de karakteristieken van deze Cases in de volgende Tabel weergegeven:

Tabel 5. Karakterisering van de cases.

Case	Naam	HNT	Kasdek	Belichting	Belichtingsduur	Koeling
1	HNT	Ja	Enkel	Geen	Nvt	Nee
2	Venlow Energy	Ja	Dubbel	Geen	Nvt	Nee
3A	SON-T	Nee	Enkel	SON-T	Gangbaar	Nee
3B	GPK 1 ZK	Nee	Enkel	SON-T	Gangbaar	Nee
3C	GPK 1 MK	Nee	Enkel	SON-T	Gangbaar	Ja
4	HNB	Ja	Enkel	LED	Gangbaar	Nee
5A	GPK 2 ZK	Ja	Dubbel	LED	Gangbaar	Nee
5B	GPK 2 MK	Ja	Dubbel	LED	Gangbaar	Ja
5C	GPK 2 MK BB	Ja	Dubbel	LED	Beperkt	Ja
5D	GPK 2 ZK BB	Ja	Dubbel	LED	Beperkt	Nee

In Tabel 5. is van alle Cases het elektriciteitsgebruik voor de belichting, luchtbehandelingskasten en algemeen zoals pompen en motoren, de warmte en koude behoefte en de teeltperiode getoond.

Tabel 6. Overzicht energiestromen per case.

Case	El belichting [kWh]	EL lbk [kWh]	EL overig [kWh]	Warmte [MJ]	Koude [MJ]	Teeltperiode [dd-mm]
1	–	8.9	7	728	–	23-12 23-11
2	–	6	7	550	–	23-12 15-11
3A	300	–	7	1076	–	15-10 20-9
3B	169	–	7	944	–	1-11 1-10
3C	169	15	7	952	290	1-11 1-10
4	290	5	7	730	–	15-10 20-9
5A	147	2	7	482	–	1-11 15-10
5B	147	17	7	485	318	1-11 15-10
5C	55	17	7	601	321	10-12 15-11
5D	55	3	7	715	–	10-12 15-11

4.3 Vergelijking van de projecten

Het elektriciteitsgebruik verschilt nogal sterk tussen Case 4 en 5A. Hier spelen een paar dingen door elkaar. Case 4 is het huidige teeltsysteem belichting bij IC (teelt 2011) waar, door de grote elektrische input voor de belichting er met de regelgeving omtrent lichtuitstoot meer ontvochtigd moet worden onder het scherm. Daarnaast zal in de nieuwe generatie ventilatoren van Vostermans beduidend efficiëntere motoren/ventilatoren ingezet worden. Deze getallen liggen wel in de orde grote zoals die in de Venlow Energy kas zijn gerealiseerd. De 5 kWh van case 4 is ook conform de opgave van het IC met betrekking tot het elektriciteitsgebruik van de lbk's zoals ze in de teelt van 2011 zijn ingezet. De elektriciteitsvraag voor de belichting neemt zo sterk af doordat Case 5C en 5D een 6 weken latere teeltstart kennen waardoor met minder belichtingscapaciteit (14%) door de winter geteeld kan worden. Op het moment dat de plantbelasting echt toe gaat nemen, neemt gelijktijdig het natuurlijke licht ook toe.

Voor het vergelijk wordt uit Tabel 5, Case 3C, de huidige Greenport kas I situatie en in case 5C, de verwachte greenportkas II situatie getoond. Door de sterk teruglopende warmtevraag en het gebruik van een warmtepomp, wordt in deze berekening ervan uitgegaan dat een wk-installatie voor teveel warmteoverschot gaat zorgen. De koude wordt geproduceerd met een warmtepomp met een COP van 4 aan de warme kant. Voor de productie van 290 MJ koude is dan 97 MJ elektriciteit benodigd. Hier komt tevens 387 MJ warmte vrij. Voor Case 3A betekent dit dat voor de koude productie 97 MJ elektriciteit of te wel 27 kWh nodig is. Door de warmte productie van de warmtepomp is er voor de verwarming nog slechts $944 - 387 = 557$ MJ nodig. Het totaal elektriciteitsgebruik van Case 3A is (belichting + LBK + overig + warmtepomp) $169 + 15 + 7 + 27 = 218$ kWh. Daarnaast moet er nog 557 MJ aan warmte geproduceerd worden.

In Case 5C is iets meer koude nodig dan in de referentie. Hoewel de koude alleen in de zomer (half april tot half september) wordt gebruikt, is er door de latere start van Case 5C in deze periode een net iets ander setpoint verloop van de verwarming, waardoor de koelvraag iets oploopt. Het is nog discutabel of deze extra koude vraag ook benodigd is. Desondanks: voor de 321 MJ koude is indien gelijke uitgangspunten van case 3C genomen worden voor de koude productie, 30 kWh elektriciteit nodig. De warmtestroom die dit oplevert is 428 MJ waardoor de resterende warmtevraag 173 MJ wordt ($601 - 428$). Het totaal elektriciteitsgebruik wordt voor case 5C is dan $55 + 17 + 7 + 30 = 109$ kWh waarbij nog 173 MJ warmte moet worden aangevuld. Dit resulteert in een besparing op warmte van 69% en op elektriciteit van 50% zoals in Tabel 6. wordt getoond.

Tabel 7. Overzicht energiestromen per case.

Case	Elektriciteitsgebruik [kWh]	Aanvullende warmtevraag [MJ]	Besparing elektriciteit [%]	Besparing warmte [%]
3C	218	557	-	-
5C	109	173	50	69
5D	65	715	70	-28

Wordt de koeling achterwege gelaten (case 5D), dan zal de besparing op elektriciteit verder stijgen 70% ten opzichte van Greenportkas I maar op (benodigde aanvullende) warmte wordt niet bespaard omdat het restproduct van de koude productie (warmte) niet meer en (overschot) van lampwarmte minder beschikbaar komt. Het missen van het grootste deel van de warmtestraling van de SON-T belichting zal de warmtebalans van het gewas vooral in de kop beïnvloeden. In proeven bij TTO in het teeltjaar 2011 (Peekstok, 2012) is hiervoor naar een oplossing gezocht middels het zeer actief inzetten van een (minimum) buis in de kop van het gewas en infraroodstralers. De groeibuis bij de kop van het gewas had een temperatuur van rond de 40 graden en dat ging goed, alleen was het lastiger het gewas in balans te houden. Met de IR stralers ging het ook goed, waarbij een lager vermogen aan straling is geïnstalleerd dan dat er als straling uit de SON-T komt. De oplossing is hier nog niet helemaal uitgekristalliseerd alhoewel bleek dat het sturen van het gewas met de groeibuis in de kop niet eenvoudig was, Een groot verschil ten opzichte van het concept van Greenportkas II is dat het dubbele glas de kop temperatuur kan laten stijgen, In een discussiesessie is besproken dat dit mogelijk gevolgen heeft waar op geanticipeerd moet worden.

5 Conclusies

Afhankelijk van de uitgangspunten en de gewenste toekomstige situatie zijn er in een nieuwe teeltconcept voor de Greenportkas II interessante besparingsmogelijkheden haalbaar.

De in eerste instantie voorgestelde systeemopbouw van de Greenportkas II met een volledig LED belichtingssysteem met 50% tussenlicht, een dubbel kasdek met 4 x AR coating, ontvochtiging met buitenlucht, een enkelvoudige scherminstallatie met een doek om de lichtuitstoot te beperken en een aangepaste klimaatregeling op het gebied van de vocht en minimumbuisregeling kan een besparing ten opzichte van de Greenportkas I van ruim 28% opleveren. Hierbij zal in het bijzonder aandacht besteed moeten worden aan de gevolgen van de verandering van de koeltemperatuur en gewassturing, zoals ook bij de TTO proeven naar voren is gekomen.

Als de benodigde koude met een warmtepomp geproduceerd wordt blijft er nog slechts een kleine restvraag aan warmte van ca. 2.5 m³ ae /m² over. De elektriciteitsbehoefte voor lampen en overige systemen kan in dit concept niet met een wk-installatie geproduceerd worden gezien de kleine resterende warmtevraag.

Om bij een vroege planting een goede plantopbouw weg te kunnen zetten is vanuit "veiligheids overwegingen" beperkte inzet van belichting noodzakelijk. Hierbij kan de besparing oplopen tot 50% op elektriciteit en zelfs 69% op warmte ten opzichte van Greenportkas I.

Onafhankelijk van de keuze die gemaakt wordt, zal de kleine inzet van fossiele brandstof op de "kas-locatie" ook een alternatieve inzet van de CO₂ voorziening vragen.

6 Aanbevelingen

- Uit energie overwegingen wordt variant 5C of 5D als meest interessant voorgesteld: een kas met dubbel dek en Het Nieuwe Telen, LED verlichting die in een beperkte periode worden ingezet
- De beslissing om géén koeling te installeren (variant 5D), hangt af of er een teeltrecept kan worden opgesteld, waarbij met teeltmaatregelen de negatieve gevolgen van de warme zomernachten kan worden ondervangen. Het gaat daarbij om het “sparen” (het beperken van een te hoog verbruik aan assimilaten voor onderhoudsademhaling) van het gewas om voldoende koelend gewas over te houden voor de periode na de langste dag, en voldoende hoge productie kunnen halen. Voor het teeltrecept moet dan bijvoorbeeld gedacht worden aan een aangepaste strategie van bladplukken en wellicht een andere voedingsstrategie.
- Voorafgaand aan de beslissing omtrent het te installeren vermogen aan LED belichting, moet met bijvoorbeeld KASPRO worden doorgerekend wat een robuuste combinatie is van belichtingsniveau en plantdatum in verband met een gewenste eerste oogst.

7 Referenties

- Poot, E., De Zwart, F., Bakker, S., Bot, G., Dieleman, A., De Gelder, A., Marcelis, L. Kuiper, D. 2009.
Richtinggevende beelden voor energiezuinig telen in semigesloten kassen. Nota 568, Wageningen UR
Glastuinbouw.
- Poot, E., F.L.K. Kempkes, A. de Gelder, J. Janse en M. Raaphorst, 2010.
Nieuw kasdek voor het nieuwe telen. nota GTB-1050,
Wageningen UR Glastuinbouw.
- Gieling, Th.H, M.A. Bruins, J.B. Campen, H.J.J Janssen, F.L.K. Kempkes, M.G.M. Raaphorst en A. Sapounas. 2010.
Monitoring technische systemen in semi-gesloten kassen. Nota GTB-1008,
Wageningen UR Glastuinbouw.
- Peekstok T., R. Duyvesteyn, S. Persoon, J. Sanders, A. de Jong. 2012.
Eindverslag LED Proeven TTO 2010-2011;- Focus op energie - TTO verslag in concept.

Bijlage I Setpoints en uitrusting van de referentie kas

KASCONSTRUCTIE

D i m e n s i e s

Akas: 40000

Padbreedte: 3

hGutter: 5

Roofslope: 22

Kapbreedte: 4.8

Vakmaat: 5

E i g e n s c h a p p e n

GHorient: 0

frSunAir: 0.04

Dekmateriaal: enk_Bom_480x450

InclusiefGevel: Ja

Leakage: 1e-4

L u c h t r a m e n 1

Windowlength: 1.67

Windowheight: 1.40

fr_Window: 0.0417

G e o i n f o r m a t i e

Latitude: 52

VERWARMINGSNETTEN

PrimNet: Low

O n d e r n e t

Ondernettype: 45-er

nLowPerKap: 5

B o v e n n e t

Bovennettype: 45-er

nUppPerKap: 2.5

VERWARMINGSUNITS

K e t e l

Pketel: 100

Ketelverlies: 1

WARMTEOPLAG

B u f f e r

Buffervolume: 200

AlsBufVol: stoppen

GEWAS

Gewas: tomaat

Plantdatum: 1-11

Ruimdatum: 15-10

SETPOINTS

T e m p e r a t u u r
StookTemp: 01/11 15/01 20 18
" 15/01 15/10 16 17 20
" 15/10 01/11 20
" 01/11 01/11 18
StookTempTijdstip: 01/11 15/01 opon+1
" 15/01 15/10 on+1 op+1 op+5
" 15/10 01/11 0
DodeZone: 01/11 15/01 2
" 15/01 15/03 1
" 15/03 01/11 1
DodeZoneTijdstip: 0
LichtVbeg: 50
LichtVend: 200
LichtV: 08/12 01/02 1
" 01/02 08/12 2
V o c h t
SpVocht: 2.5
SpVochtTijdstip: 0
C O 2
SpCO₂: 1000 300
SpCO₂Tijdstip: 01/06 15/08 op+2 on-2
" 15/08 01/06 op+1 on-1
CO₂bron: zuiver
kgCO₂: 150
L u c h t r a m e n 2
Vorstgrens: -1
StartWhet: 08/11 01/05 50
" 01/05 16/09 25
" 16/09 08/11 20
WinLeeMin: 0
WinWhetMin: 0
WinLeeMax: 100
WinWhetMax: 08/11 01/02 0
" 01/02 01/04 20
" 01/04 10/05 50
" 10/05 15/09 100
" 15/09 08/11 80
MaxWin: 60
B u i z e n
MinBuisLow: 15/05 15/09 0 45 45 0
" 15/09 15/05 0
MinBuisLowTijdstip: 15/05 15/09 45 10 11
" 15/09 15/05 0
MinBuisUpp: 15/11 01/02 30
" 01/02 01/05 35
" 01/05 15/11 40 30

MinBuisUppTijdstip: 15/11 01/02 0
" 01/02 01/05 0
" 01/05 15/11 op on
MinBuisBeg: 900
MinBuisEnd: 900
MaxBuisLow: 60
MaxBuisLowTijdstip: 0
MaxBuisUpp: 50
MaxBuisUppTijdstip: 0
T2ndAcc: 50

BELICHTING

Belichting: 10/11 10/04 Ja
" 10/04 10/11 Nee
Lampvermogen: 111
S e t p o i n t s 1
MaxIGlob: 15/11 15/02 150
" 15/02 15/03 100
" 15/03 15/11 75
MaxLichtsom: 01/11 01/12 200
" 01/12 15/12 300
" 15/12 01/01 500
" 01/01 01/11 600
UitPerEtmaal: 01/11 15/11 12
" 15/11 01/01 7.5
" 01/01 15/02 10
" 15/02 15/03 11
" 15/03 01/11 13
BlokUitBegin: 17
L a m p e i g e n s c h a p p e n
FracPAR: 0.3
FracNIR: 0.3
FracSens: 0.4

SCHERM

Gevelscher: beweegbaar
O n d e r s t e S c h e r m
Scherm: Ja
Schermtype: XLSObscura
IGlobOpen: 08/11 15/02 25
" 15/02 08/11 10
TbuitMax: 10/11 15/01 10
" 15/01 15/02 9
" 15/02 15/03 8
" 15/03 01/05 7
" 01/05 01/10 -10
" 01/10 10/11 8
Scrfile: none
VerduisterSchermOpenDicht: 0 0
MaxTexcess: 1.5
VoorloopSchermkier: 2
MaxVochtKier: 6

INNOVATIEF

K o e l i n g

Koeling: none

KoelTemp: 15/09 15/04 80

" 15/04 15/09 25 25 20 17 17 30

KoelTempTijdstip: 15/09 15/04 0

" 15/04 15/09 12 on on-1 on+1 on+2 on+3

