WAGENINGEN UR
For quality of life

Nieuw Kasdek voor Het Nieuwe Telen

Eric Poot, Frank Kempkes, Arie de Gelder, Jan Janse, Marcel Raaphorst





Productschap Tuinbouw

Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie

Kas als Energiebron

Rapport GTB-1050



Referaat

Nieuwe kasdekmaterialen hebben de potentie om het energiegebruik van komkommer en tomaat substantieel te verlagen, en/of de energie-efficiency te verhogen. Bij tomaat is het energiegebruik van 42 m^3 in een gangbare teelt tot 29 m^3 te verlagen als volgens principes van Het Nieuwe Telen wordt gewerkt. Dit is door een kasdek met gecoat dubbelglas verder te verlagen tot 23 m^3/m^2*jaar, en zelfs tot 16 m^3 als ook met mechanische koeling in combinatie met seizoensbuffering van warmte wordt gewerkt. Gebruik van een ander kasdek heeft effect op het kasklimaat, en beïnvloedt daarmee de groei en ontwikkeling van het gewas. Hoewel nog niet alle consequenties kunnen worden voorzien, lijken de stuurmiddelen die met Het Nieuwe Telen voorhanden zijn, voldoende om eventuele negatieve gevolgen te voorkomen. Enige aanpassingen van het teeltsysteem zijn raadzaam, zoals een grotere capaciteit ontvochtiging en technieken om lokaal het microklimaat tussen het gewas te kunnen meten en beïnvloeden.

Abstract

Innovative greenhouse cover materials can decrease the use of fossil energy and/or improve the energy efficiency. For tomato cultivation in Dutch greenhouses, the use of energy can be lowered from 42 m^3 natural gas to 29 m^3 when principles of “next generation greenhouse cultivation” (“het nieuwe telen”) are used. With coated double insulation glass this can be decreased to 23 m^3 and even 16 m^3 if also mechanical cooling, heatpumps and thermal storage are used. An innovative greenhouse cover affects the climate in the greenhouse and also the growth and development of the crop. With the next generation greenhouse cultivation techniques, potential negative effects can be diminished. Diffuse glass improves the energy efficiency by increasing production, but has no effect on the energy needs of the greenhouse. Also no substantial effects on greenhouse climate and crop growth are expected.

© 2010 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen
: Postbus 644, 6700 AP Wageningen
Tel. : +31 317 - 48 57 01
Fax : +31 317 - 41 80 94
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

1	Samenvatting			5
	1.1	Energie		5
	1.2	Kasklimaat, gevolgen voor gewas en mogelijke oplossingen		6
2	Inleiding			9
	2.1	Achtergrond		9
	2.2	Doelstelling		9
	2.3	Aanpak		10
3	Beschrijving kas en teeltsystemen			11
	3.1	Het Nieuwe Telen		11
		3.1.1	Het Nieuwe Telen komkommer	12
		3.1.2	Het Nieuwe Telen tomaat	13
	3.2	Standaard glas		15
	3.3	Dubbelglas		15
	3.4	Diffuusglas		16
4	Effecten van dubbelglas op komkommerteelt			17
	4.1	Energiegebruik komkommer		17
	4.2	Kasklimaat komkommer		18
	4.3	Kasklimaat komkommer op kritische momenten		26
		4.3.1	Donkere winterdag	26
		4.3.2	Lichte koude winterdag	28
		4.3.3	Donkere zomerdag	29
		4.3.4	Lichte zomerdag	31
		4.3.5	Donkere najaarsdag	32
		4.3.6	Lichte najaarsdag	33
5	Effecten van dubbelglas op tomatenteelt			35
	5.1	Energiegebruik tomaat		35
	5.2	Kasklimaat tomaat		36
	5.3	Kasklimaat tomaat op kritische momenten		43
		5.3.1	Donkere winterdag	43
		5.3.2	Lichte koude winterdag	45
		5.3.3	Donkere zomerdag	47
		5.3.4	Lichte zomerdag	49
		5.3.5	Donkere najaarsdag	51
		5.3.6	Lichte najaarsdag	53
6	Verwachte gewasreacties onder dubbelglas			55
	6.1	Verwachte gewasreacties komkommer		55
		6.1.1	Configuratie verwarming	55
		6.1.2	Koptemperatuur	56
		6.1.3	Verdamping	56
		6.1.4	Luchtbeweging	56
		6.1.5	Temperatuurverloop binnen 24 uur	57
		6.1.6	Vochtbeheersing	57

	6.2	Verwachte gewasreacties tomaat	58
	6.3	Samenvattend	58
	6.4	Aanbeveling	58
7	Effecten van diffuusglas		59
	7.1	Achtergrond	59
	7.2	Effect op energie-efficiency	59
	7.2.1	Energie-efficiency komkommerteelt	60
	7.2.2	Energie-efficiency tomatenteelt	60
	7.3	Effecten diffuusglas op kasklimaat	60
	7.3.1	Kastemperatuur	61
	7.3.2	Relatieve luchtvochtigheid	62
	7.3.3	CO_2 concentratie	63
	7.3.4	Koptemperatuur	64
	7.4	Verwachte gewasreacties onder diffuusglas	64
8	Economisch perspectief		65
	8.1	Gevoeligheidsanalyse kasconcepten tomaat	66
	8.2	Conclusies	67
9	Expert discussie		69
	9.1	Dubbelglas	69
	9.1.1	Koeling	70
	9.1.2	Verdamping	70
	9.1.3	Vocht	70
	9.1.4	Verwarming	70
	9.1.5	Lichttransmissie dubbelglas inclusief constructie	71
	9.1.6	Coatings	71
	9.2	Diffuusglas	71
10	Conclusies		73
	10.1	Energie	73
	10.2	Kasklimaat	74
	10.3	Gewasreacties en interventiemogelijkheden	74
	10.4	Validatie door experimenteel onderzoek	75
11	Literatuur		77
Bijlage I	Gemeten en berekend energiegebruik komkommerproef Het Nieuwe Telen 2009		79
	1.1	Komkommer	79
	1.2	Kasuitrusting	79
	1.3	Corrigeren voor de oppervlakte van de proefkas	80
	1.4	Aanpak	80
	1.5	De voorjaarsteelt	81
	11.6	Zomer en herfstteelt	83

1 Samenvatting

In de energietransitie voor de glastuinbouw is een belangrijke stap gezet door de ontwikkeling en toepassing van Het Nieuwe Telen. Tot nu is dit teeltconcept toegepast in kassen met een traditioneel, gangbaar dek. Door de principes van Het Nieuwe Telen (HNT) toe te passen onder vernieuwende kasdekmaterialen kan nog meer op het energiegebruik worden bespaard, dan wel de energie-efficiency worden verhoogd.

Middels deskstudy en expert beoordeling zijn energieberekeningen gemaakt voor de volgende combinaties van teeltsysteem en kasdek, vergeleken met een referentie met standaard teelt onder enkelglas dek: Het Nieuwe Telen onder standaard enkelglas dek; Het Nieuwe Telen onder gecoat dubbelglas zonder koeling (tomaat en komkommer) en met koeling (tomaat); Het Nieuwe Telen onder diffuusglas.
De energieberekeningen zijn gemaakt met het simulatieprogramma KASPRO. Als basis zijn gerealiseerde kasklimaat gegevens bij kasproeven van HNT komkommer en tomaat gebruikt, alsmede beschikbare informatie over het nieuwe kasdekmateriaal. Op basis van berekende veranderingen in het kasklimaat onder de nieuwe dekken ten opzichte van een gangbaar dek, zijn de gevolgen voor het gewas door experts beredeneerd. Indien er nadelige gewaseffecten worden verwacht, is vervolgens doordacht welke teeltmaatregelen en/of aanvullende technieken ingezet kunnen worden. Tenslotte zijn de bevindingen met een panel van experts uit de praktijk bediscussieerd.

De resultaten van Nieuw Kasdek voor Het Nieuwe Telen kunnen als volgt worden samengevat.

1.1 Energie

Uit de berekeningen aan de vernieuwende kasdekken, blijkt dat deze een interessante toevoeging kunnen zijn aan het concept van Het Nieuwe Telen, tenminste voor de gewassen komkommer en tomaat. Diffuusglas verhoogt de energie-efficiency, dubbelglas met moderne coatings verlaagt het energiegebruik aanzienlijk. In Tabel I staan de gegevens met betrekking tot het energiegebruik samengevat. Hierin is te zien dat zowel qua energiegebruik als qua energie efficiency de variant “Het Nieuwe Telen onder Dubbelglas met koeling” het meest gunstig is.

Tabel I. Berekende energieprestaties voor verschillende combinaties van teeltsystemen en kasdekken

	komkommer				tomaat				
	referentie	HNT	dubbel zk[1)]	diffuus	referentie	HNT	dubbel zk[1)]	dubbel mk[1)]	diffuus
Energieverbruik									
- Warmte [m^3/m^2]	40	25	12	25	40	25	18	1	25
- Elektriciteit [kWh/m^2]	7	13	18	13	7	14	18	55	14
- CO_2 verbruik2) [kg/m^2]	36	37	43	37	46	47	51	49	47
Totaal verbruik in m^3 a.e./ m^2*jaar	42	29	17	29	42	29	23	16	29
Productie [kg/m^2]	75	75	75	79	68	68	68	70	72
Energie efficiency [m^3 a.e. /kg]	0.56	0.39	0.23	0.37	0.62	0.43	0.34	0.23	0.40

(1) zk: zonder koeling ; mk: met koeling ; (2) Alle CO_2 vraag zuiver ingevuld.

Over de economische aantrekkelijkheid zegt een hogere energie efficiency nog niet zoveel. Er moet dan nog gecorrigeerd worden voor de hogere investeringen, de rentekosten en het extra onderhoud. In Tabel II staat de berekening van de investeringsruimte voor de verschillende varianten. Er is gerekend met rentekosten ter hoogte van 3% van de aanschafprijs (wat overeenkomt met 5 ½ % rente over het gemiddeld geïnvesteerd vermogen).

Voor een tomatenkas met gecoat dubbelglas en Het Nieuwe Telen zonder koeling is de investeringsruimte € 27 per m^2. Dit betekent dat de HNT installatie (buitenlucht aanzuiging en een extra scherm) plus de meerkosten van het gecoate dubbelglas ten opzichte van standaardglas samen maximaal € 27 per m^2 mogen bedragen, wil het binnen een afschrijvingstermijn van 15 jaar terug te verdienen zijn.
Uit gevoeligheidsanalyse voor variatie in de verschillende uitgangspunten blijkt dat de investeringsruimte bij alle varianten sterk bepaald wordt door de kostprijs van de bespaarde warmte.

Tabel II. Berekend economisch perspectief voor verschillende combinaties van teeltsystemen en kasdekken

	komkommer				tomaat				
	refe-rentie	HNT	dubbel zonder koeling	diffuus	refe-rentie	HNT	dubbel zonder koeling	dubbel met koeling	diffuus
Opbrengst [€/m^2*jaar]	41.86	41.86	41.86	44.09	48.96	48.96	48.96	50.40	51.84
Kosten oogst verpakking en afzet [€/m^2*jaar]	15.52	15.52	15.52	16.35	13.60	13.60	13.60	14.00	14.40
Energiekosten [€/m^2*jaar]	10.94	8.37	6.49	8.37	11.64	9.13	8.25	6.93	9.13
Opbrengst -/- kosten [€/m^2*jaar]	15.40	17.97	19.85	19.37	23.72	26.23	27.11	29.47	28.31
Verschil tov referentie [€/m^2*jaar]		2.57	4.45	3.97		2.51	3.39	5.75	4.59
Extra onderhoud kosten[€/m^2*jaar]		0.50	0.75	0.75		0.50	0.75	0.75	0.75
Afschrijvingstermijn [jaar]		15	15	15		15	15	15	15
Investeringsruimte [€/m^2]		21	38	33		21	27	52	40

1.2 Kasklimaat, gevolgen voor gewas en mogelijke oplossingen

Door het berekenen en analyseren van cyclische gemiddelden in een aantal maanden van het jaar, en door in te zoomen op een aantal kritische dagen in het jaar, zijn de effecten van de vernieuwende kasdekmaterialen op kasklimaat en daarmee op de gewasreactie ingeschat. Bij mogelijke negatieve effecten zijn oplossingen geformuleerd, die de problemen helpen voorkomen. De uitkomsten zijn getoetst bij het expertpanel.

Voor dubbelglas kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

Tabel III: Beredeneerde gevolgen voor het gewas van een teelt onder dubbelglas

Effect op kasklimaat	Eventuele gewasreactie	Mogelijke oplossing	Mening expertpanel
's Avonds langzamer afkoelen	Vegetatieve reactie, verstoring plantbalans.	Agressiever ventileren; grotere DIF; aangepaste stengeldichtheid, aantal vruchten; generatiever ras	Eens, wordt als belangrijk aandachtspunt gezien.
Warmere nachten	Hogere etmaaltemperaturen: hogere onderhoudsademhaling, zwakkere kop	Ventileren	Eens. Ligt in het verlengde van bovenstaande stelling.
's Winters lagere RV overdag	Compactere plant met lagere LAI.	Vernevelen	Niet problematisch, oplossing is niet nuttig.
Overige perioden: hogere RV	Meer risico op ziekten en fysiogene afwijkingen.	Agressiever ventileren, grotere capaciteit ontvochtiger	Eens, wordt als belangrijk aandachtspunt gezien.
Vochtiger microklimaat	Meer risico op ziekten	Groeibuis, ontvochtigen met luchtslurven tussen het gewas, verticale luchtbeweging mbv verticale ventilatoren	Eens. Ligt in het verlengde van bovenstaande stelling.
Temperatuurgradiënt onderin kouder	Langzamer afrijpen / uitgroeien vruchten	Groeibuis	Eens, wordt als belangrijk aandachtspunt gezien.

Voor diffuusglas kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

Tabel IV: Beredeneerde gevolgen voor het gewas van een teelt onder diffuusglas

Effect op kasklimaat	Eventuele gewasreactie	Mogelijke oplossing	Mening expertpanel
Hogere RV bij hogere diffusiteit.	Meer risico op ziekten en fysiogene afwijkingen.	Agressiever ventileren, grotere capaciteit ontvochtiger.	Geen probleem. Hogere RV is in de zomer (bij veel licht, als dit zich voordoet) juist prettig.
Lagere CO_2 concentratie onder diffuusglas dan onder standaard glas.	Waarschijnlijk onder diffuusglas hogere CO_2 opname.	Indien CO_2 te ver weg zakt: additioneel doseren. Indien temperatuur en vocht het toe laat: beperken ventilatie, evt mbv verneveling (en/of koeling).	Geen probleem. Er wordt een overmaat aan CO_2 gedoseerd. Als er minder beschikbaar is, neemt een plant efficiënter op.
Lagere koptemperatuur onder diffuusglas	Bij een lagere temperatuur zal de kop wat minder verdampen en minder calcium aangevoerd krijgen, waardoor de dan ontstane zwakkere cellen aan de bladranden eerder zullen 'verbroeien'.	Groeibuis.	Op zich klopt dit. Het verschil is erg klein. In de zomer kan het juist gunstig uitpakken.

In de discussie met de experts zijn verder nog de volgende conclusies getrokken:

- Met gecoat dubbelglas kan nog een aanzienlijke energiebesparing bereikt worden.
- Echter onder dubbelglas zal de luchtvochtigheid regelmatig hoger oplopen dan gewenst, vanwege het gebrek aan condensatie aan het dek.
- Daarom is een installatie onontbeerlijk waarmee de kaslucht ontvochtigd kan worden. Een systeem waarmee buitenlucht kan worden ingeblazen, zoals die centraal staat in Het Nieuwe Telen, biedt perspectief. Deze zal echter op een aantal momenten per jaar, bij warme vochtige buitenomstandigheden, niet voldoen. Verwarmen van de kas lijkt dan (net als in de huidige praktijk) de enige optie.
- (Mechanische) Koeling lijkt onder dubbelglas op substantieel meer momenten nodig voor een goede teelt dan onder enkel glas. Bijkomend voordeel is dat dan ook de ontvochtigende werking van de koeling benut kan worden.
- De effecten van diffuusglas op het kasklimaat en daarmee op het gewas lijken marginaal ten opzichte van helder enkel glas. Eventuele negatieve effecten zullen waarschijnlijk door de compensatiecapaciteit van het gewas teniet worden gedaan. Puur vanwege teelttechnische redenen is een installatie à la Het Nieuwe Telen bij diffuus glas niet nodig. Uiteraard kan Het Nieuwe Telen wel interessant zijn voor energiebesparing.
- Interessante “herontwerpen” voor het dubbelglas lijken onder meer:
    - Dubbelglas met vierzijdige AR coating (dus géén energiecoating meer, maar maximale lichtbenutting),
    - Dubbelglas combinatie van een heldere glasplaat met een diffuse glasplaat.

Ondanks deze studie zijn er nog de nodige onzekerheden over de potentie en consequenties van Het Nieuwe Telen onder Nieuw Kasdek. Dat betreft energiegebruik en kasklimaat, maar ook plantreacties bij dubbeldek (en zeker voor tomaat ook nog voor diffuusglas). Om meer zekerheid te krijgen is experimenteel onderzoek nodig. Het onderzoek in Bleiswijk in het seizoen 2010-2011 aan tomaat onder zowel gecoat dubbelglas (in de Venlow Energy kas op het IDC), als onder verschillende soorten diffuusglas, zal hierin voorzien. Het blijft dan nog de vraag wat de potenties zijn voor andere gewassen, welke configuraties daarbij optimaal zijn en onder welke randvoorwaarden (bijvoorbeeld gelimiteerde beschikbaarheid van CO_2). Al met al is met deze studie een basis gelegd voor een verdere ontwikkeling in de richting van klimaatneutrale glastuinbouw.

2 Inleiding

2.1 Achtergrond

Een belangrijke denklijn in de energietransitie in de glastuinbouw is de Trias Energetica. Volgens die lijn is ook Het Nieuwe Telen (HNT) ontwikkeld (Poot *et al.*, 2008):

1. Verminderen van de energiebehoefte van het teeltsysteem. Dit door beter te isoleren en door andere manier van vochtbeheersing (m.n. buitenluchtaanzuiging).
2. Zo efficiënt mogelijk inzetten van energiebronnen. Met de natuur mee telen, temperatuurintegratie gekoppeld aan straling, zo veel mogelijk zonne-energie toelaten, betere benutting CO_2 m.b.v. verneveling, optimaal uitkoelen van systemen met warmtepompen of aardwarmte, scherpere regelingen voor schermgebruik & RV beheersing.
3. Vervangen van fossiele energie door energie uit duurzame bronnen. Zonnewarmte (met actieve koeling, warmte-koude opslag & warmtepompen), aardwarmte, biomassa.

In een aantal onderzoeks- en ontwikkelprojecten is het perspectief van HNT aangetoond (zie bijv. www.energiek2020.nu), en zijn substantiële energiebesparingen gerealiseerd (De Gelder *et al.*, 2010). De vraag is nu: Hoe komen we tot een nog verdere reductie van het energiegebruik in de glastuinbouw, met behoud van productie en kwaliteit?

In de lopende onderzoeks- en demoprojecten van HNT is de isolatie uit stap 1 gedaan door meer schermen (2 of 3) en meer schermuren. Parallel aan de ontwikkeling van HNT is er aandacht besteed aan andere kasdekmaterialen. De laatste tijd is er aandacht voor dubbelglas (met op 4 zijden coating), onder meer door een proefproject van de Greenportkas Venlo met zogenaamd “Scheuten glas” (Jagers op Akkerhuis, 2009), en diffuusglas in proefprojecten bij de Wageningen UR in Bleiswijk (Hemming *et al.*, 2007; Dueck *et al.*, 2009; Eveleens *et al.*, 2009) en bij een tomatenkweker in de praktijk (Van Telgen, 2009).

2.2 Doelstelling

Een belangrijke vervolgstap in de energietransitie in de glastuinbouw zal de combinatie zijn van teelttechnieken uit Het Nieuwe Telen met deze alternatieve kasdekken. Een belangrijke vraag is dan: welk kasdek of kasomhulling presteert het beste: is dat het gebruikelijke enkele, heldere glas in combinatie met schermen (de referentie), of is dubbelglas met coatings, of diffuusglas beter? De keuze wordt niet alleen bepaald door de potentiële energiebesparing, maar ook door de consequenties voor de teelt en het gewas, en uiteraard door het economisch perspectief.
Doel van deze studie is op basis van expertkennis en modelberekeningen een vergelijking te maken van de volgende varianten:

- Enkelglas met schermen
- Het Nieuwe Telen onder enkelglas
- Het Nieuwe Telen onder dubbelglas met moderne coatings
- Het Nieuwe Telen onder diffuusglas

De vergelijking wordt gemaakt op basis van energiegebruik en energie-efficiëncy, en effecten op kasklimaat en verwachte gewasreacties. Voor eventuele negatieve gewasreacties wordt doordacht, met welke methoden en technieken deze het hoofd geboden kunnen worden.

Het resultaat van dit onderzoek is een overzicht van de mogelijkheden qua energiebesparing, teeltresultaten en economisch perspectief. Dit zal richting geven aan een eventueel vervolg met (praktijk) experimenten en/ of demonstratieprojecten.

2.3 Aanpak

De studie is gedaan voor het gewas komkommer en tomaat, in beide gevallen wordt uitgegaan van toepassing van Het Nieuwe Telen. Tevens wordt er voor tomaat ook een vergelijking gegeven met de toepassing van diffuusglas.
Op basis van beschikbare gegevens over proeven met Het Nieuwe Telen komkommer en tomaat, beide uitgevoerd bij het Improvement Centre in Bleiswijk in 2009, alsmede informatie over het gecoate dubbelglas, is met het kassimulatieprogramma KASPRO berekend wat het energiegebruik is en wat de effecten zijn op het kasklimaat. Met experts is vervolgens geanalyseerd en beredeneerd wat de opvallende afwijkingen zijn in het kasklimaat ten opzichte van een teelt onder gangbaar glas, wat de consequenties hiervan zijn op het gewas, en hoe eventuele negatieve effecten tegen gegaan kunnen worden.
Omdat diffuusglas nauwelijks direct invloed heeft op het kasklimaat, niet op de temperatuur en niet op de RV kan dit niet met KASPRO gesimuleerd worden. (Mits de lichttransmissie vergelijkbaar is met dat van standaardglas.) Er is wel een indirect effect, door een andere lichtverdeling in het gewas. Op basis van gegevens uit het kasexperiment met diffuusglas bij komkommer, zoals dat in 2008 voor komkommer in Bleiswijk is uitgevoerd (Dueck *et al.*, 2009), is getracht dit na te gaan.

De berekeningen en analyses zijn in bijeenkomsten met deskundigen bediscussieerd en aangescherpt. Op 20 mei is er een overleg geweest tussen de onderzoekscoördinatoren van het programma Kas als Energiebron en de betrokken onderzoekers. Op 19 november is er een workshop gehouden met tomatentelers, een R&D manager van een toeleveringsbedrijf, de onderzoekscoördinatoren van Kas als Energiebron en onderzoekers van Wageningen UR Glastuinbouw. Gedurende het project is een aantal keer bilateraal contact geweest tussen onderzoekers en telers.

3 Beschrijving kas en teeltsystemen

In deze studie worden de effecten van andere typen kasdekmateriaal op het energiegebruik en de teelt ingeschat. Hierbij worden de volgende kas- en teeltsystemen met elkaar vergeleken:

- Gangbare manier van telen in een gangbare kas zoals in KWIN beschreven.
- Het Nieuwe Telen (HNT) onder enkelglas, zoals bij het Improvement Centre in 2009 is uitgevoerd. Zie voor een uitgebreide beschrijving van de proefkas Bijlage 1.
- Het Nieuwe Telen (HNT) onder dubbelglas.
- Het Nieuwe Telen (HNT) onder diffuusglas.

De belangrijkste verschillen tussen de systemen kunnen als volgt getypeerd worden:

Tabel 1. Typering kasdek teeltsysteem varianten

	Praktijk	HNT	Dubbelglas	Diffuusglas
Kasdek	enkelglas	enkelglas	dubbelglas, vierzijdig gecoat: 3 met AR coating en 1 met low ε coating	enkel, diffuusglas met hoge haze factor
Schermen	XLS 10 (tomaat); XLS 10 + AC folie (komkommer)	XLS 10 + XLS 18 firebreak (tomaat); XLS 10 + XLS 18 firebreak + AC folie (komkommer)	XLS 10 (tomaat); XLS 10 (komkommer)	XLS 10 (tomaat); XLS 10 + AC folie (komkommer)
Ontvochtiging	traditioneel: met (minimum) buiswarmte en ventileren	met gecontroleerde inblaas buitenlucht, capaciteit 5 m^3*m-2*uur-1	met gecontroleerde inblaas buitenlucht, capaciteit 10 m^3*m-2*uur-1	met gecontroleerde inblaas buitenlucht, capaciteit 5 m^3*m-2*uur-1
Mechanische koeling	nee	nee (komkommer) ja (tomaat)	nee (komkommer) ja (tomaat) nee (tomaat)	nee (komkommer) ja (tomaat)

In de variant met mechanische koeling (alleen bij tomaat) is er sprake van een configuratie met koelers, warmtepomp en aquifer. De warmte komt in deze variant vrijwel geheel uit de warmtepomp. In deze variant kan ook gewoon met luchtramen geventileerd worden (in tegenstelling tot bijvoorbeeld de Sunergy kas, waar alleen met mechanische koeling de temperatuur gedrukt kan worden, met een heel ander elektragebruik tot gevolg).

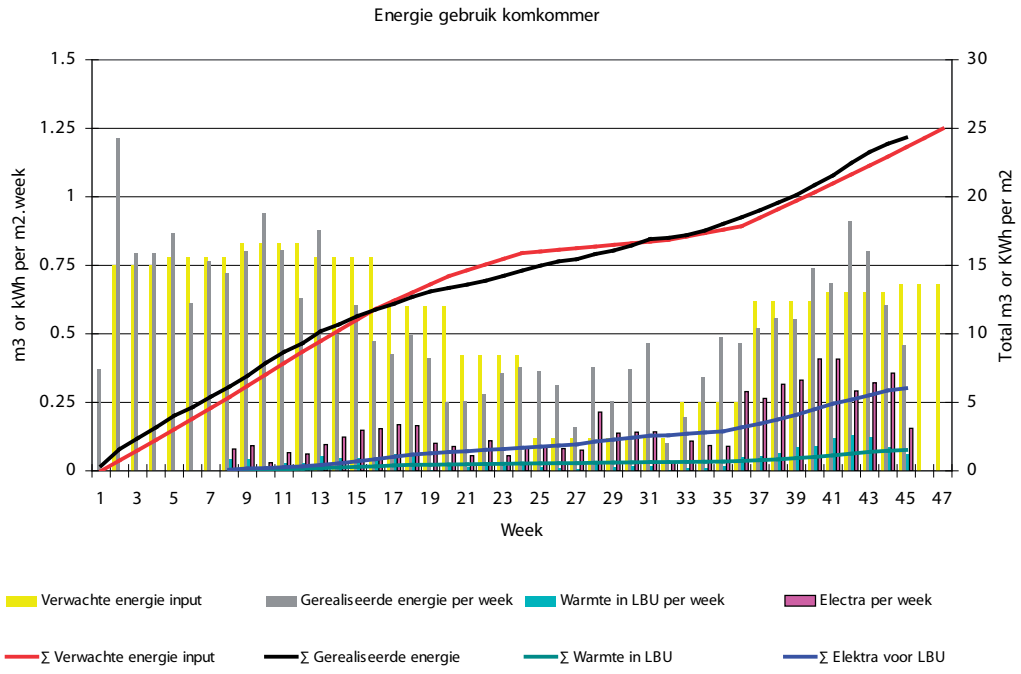
3.1 Het Nieuwe Telen

Voor een uitgebreide beschrijving van de kasuitrusting voor het nieuwe telen, zie Bijlage 1. De kasuitrusting en de teeltstrategie zijn het gevolg van het in “Richtinggevende beelden” (Poot *et al.*, 2008) ontwikkelde teeltconcept, dat voor de kasproeven “Het Nieuwe Telen Komkommer” en ‘Het Nieuwe Telen Tomaat” verder geconcretiseerd en uitgevoerd is (De Gelder *et al.*, 2010).

3.1.1 Het Nieuwe Telen komkommer

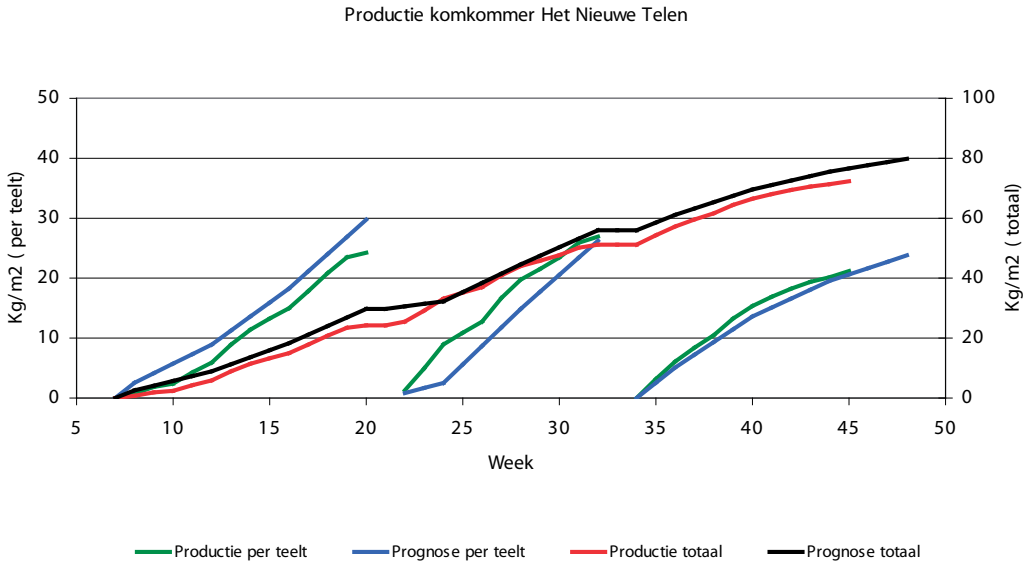
In 2009 werd een semi-praktijk onderzoek uitgevoerd naar Het Nieuwe Telen komkommer in een afdeling van 1000 m^2 bij het Improvement Centre. De klimaatsetpoints werden per week aangepast aan de ontwikkeling van de plant. Er is zo min mogelijk met een vaste minimumbuis gewerkt en als het mogelijk was werd de groeibuis als primaire verwarming gebruikt. Het vochtdeficiet werd bij vochtige condities door ontvochtigen boven de 1.5 g/m^3 gehouden. Bij een vochtdeficiet boven de 6 g/m^3 werd de bevochtiging aangezet. De temperatuursetpoints waren redelijk vergelijkbaar met de gangbare praktijk, waarbij er naar gestreefd is de energie van de zon voor opwarmen van de kas maximaal te benutten, zonder dat dit condensatierisico's voor het gewas zou opleveren.

Het resultaat in termen van energiegebruik kan worden weergegeven in de volgende grafiek.



Figuur 1. Overzicht geprognosticeerde en gerealiseerde energiegebruiken komkommerteelt 2009

Hierbij hoorde een verloop van de gewasproductie zoals in onderstaande grafiek.



Figuur 2. Geprognosticeerde en gerealiseerde productie komkommerteelt 2009

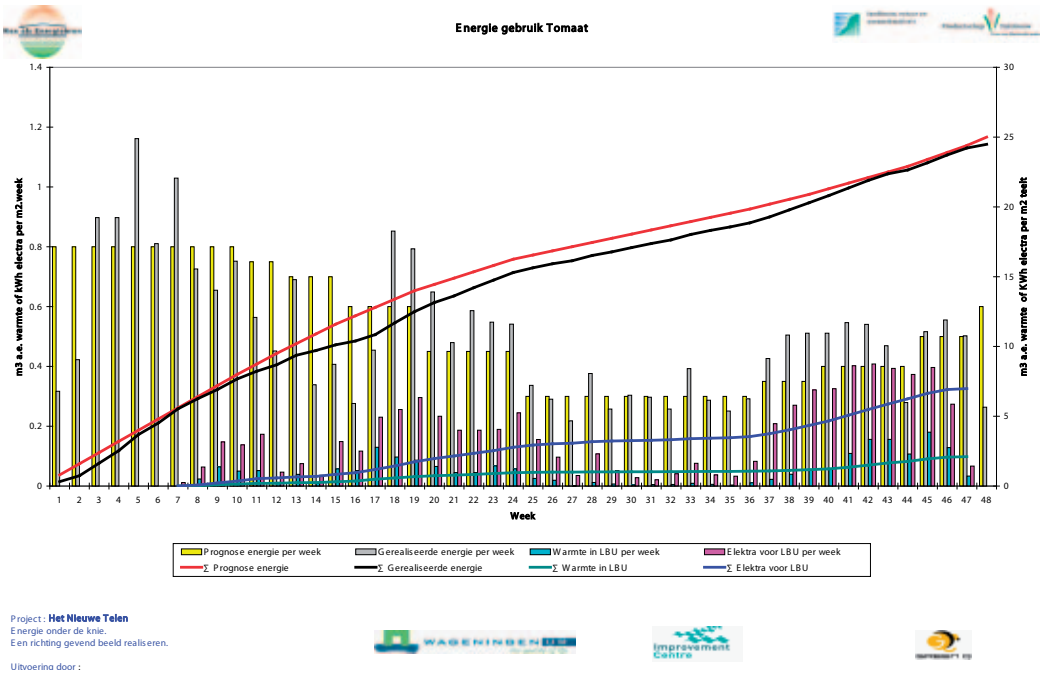
Een volledig verslag met alle voors en tegens is beschreven in het Nieuwe Telen, Energie onder de Knie: Komkommer (De Gelder *et al.*, 2010).

Met Het Nieuwe Telen Komkommer kan een daling van het energiegebruik van 40 m^3 in een traditionele teelt naar 25 m^3 en 6 kWh extra elektra worden gehaald, waarbij de gewasproductie op hetzelfde niveau van 75 kg komkommer per jaar blijft. Dat betekent een verbetering van de energie-efficiëntie van 0.53 m^3 gas per kg komkommer naar 0.36 m^3 gas. Hierbij moet wel worden aangetekend dat in de referentie de CO_2 afkomstig is van ketel en/of WKK en bij HNT afkomstig is van OCAP. Bij HNT komkommer werd in 2009 34 kg/m^2 CO_2 gebruikt.

3.1.2 Het Nieuwe Telen tomaat

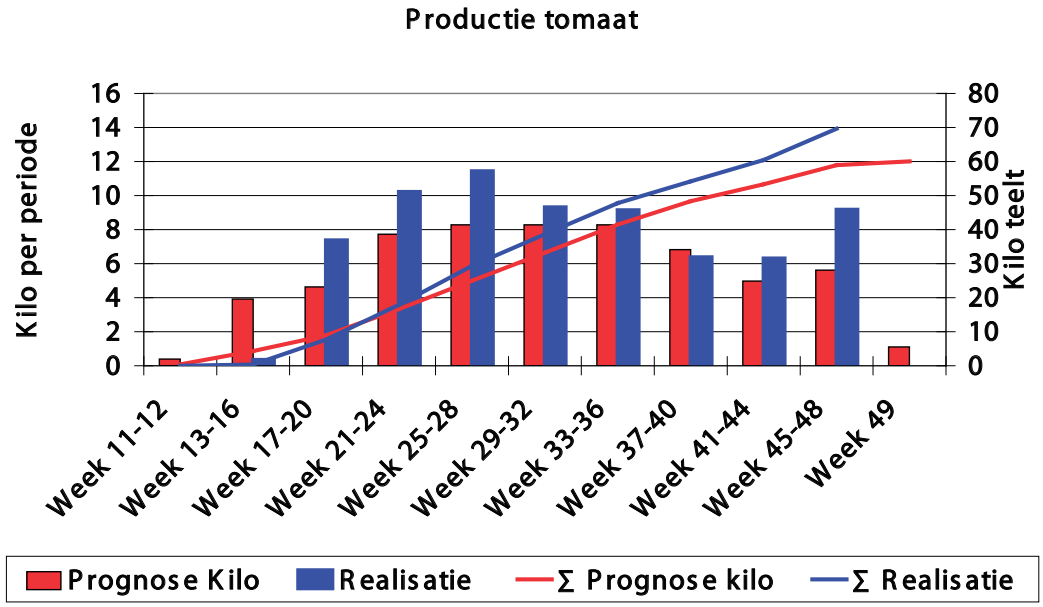
In 2009 werd eveneens een semi-praktijkproef uitgevoerd naar Het Nieuwe Telen tomaat in het Improvement Center. De kasuitrusting is in de basis gelijk aan die bij komkommer.
Bij de tomatenteelt is bij de start geen gebruik gemaakt van folie en was de kas uitgerust met een koelinstallatie met units boven het gewas die 100 W/m^2 koelcapaciteit hadden.
De plantdatum was 13 januari, waarbij een grote plant is gebruikt. Ook bij tomaat zijn de setpoints wekelijks aangepast aan de ontwikkeling van het gewas en de ziektedruk.

Het resultaat in termen van energiegebruik kan worden weergegeven in de volgende grafiek.



Figuur 3. Overzicht geprognosticeerde en gerealiseerde energiegebruiken tomatenteelt 2009

Hierbij hoorde een verloop van de gewasproductie zoals in onderstaande grafiek.



Figuur 4. Geprognosticeerde en gerealiseerde productie tomatenteelt 2009

Er kan worden gesteld, dat het energiegebruik van een tomatengewas daalde van 40 m^3 (praktijkreferentie) in een traditionele teelt naar 25 m^3 en 7 kWh extra elektra met toepassing van Het Nieuwe Telen. De gewasproductie was hoger dan de prognose en vergelijkbaar met de praktijk in 2009 op een niveau van 68 kg/m^2 tomaat per jaar. Dat betekent een verbetering van de energie-efficiëntie van 0.59 m^3 gas per kg tomaat naar 0.42 m^3 per kg.
Ook hierbij moet worden opgemerkt dat de CO_2 afkomstig is van OCAP en niet van ketel of WKK zoals in de referentie.
Via de koeling werd 0.46 GJ/m^2 warmte geoogst, wat overeen komt met 15 m^3 a.e., die in combinatie met een warmtepomp en WKK het primaire energiegebruik voor de teelt nog verder verkleint.
De warmtepomp heeft in deze variant een elektrisch vermogen van 30 W/m^2. Ze draait ruim 900 uur op vollast, en gebruikt daarbij 28 kWh op jaarbasis. Door het koelen moet er meer ontvochtigd worden, hierdoor loopt het elektriciteitsgebruik met 20 kWh/m^2 op.

3.2 Standaard glas

In de referentie en bij de variant Het Nieuwe Telen is uitgegaan van standaard enkel tuinbouwglas. Voor dit standaard glas zijn door onder meer Wageningen UR Glastuinbouw en TNO normen afgesproken voor de lichttransmissie. Dit is 90 % voor loodrecht direct licht en 82 % voor diffuus licht.

3.3 Dubbelglas

Voor de berekeningen aan de variant “Het Nieuwe Telen onder dubbelglas” is uitgegaan van een nieuw type kasdekmateriaal. Dit heeft de volgende gevolgen voor de uitrusting van deze variant:

- Kasdek. Dit type bestaat uit dubbelglas, waarvan drie van de vier zijden een AR coating hebben, en de 4^e, opgesloten in de spouw, een low ε coating. Dit dek reflecteert jaarrond 42% uit het NIR spectrum. Uit metingen aan dit materiaal blijkt dat de transmissie voor loodrecht invallend licht vergelijkbaar is met dat van standaard enkelglas (89%) . De transmissie van diffuus licht is fractioneel minder (80%). Het dubbelglas is wel zwaarder dan enkelglas. Hiervoor zou een zwaardere constructie nodig zijn, die meer licht onderschept. Maar omdat de materiaaleigenschappen dusdanig zijn, kan het dubbele glas ook onderdeel gemaakt worden van de kasconstructie. Hierdoor kan een andere constructie gemaakt worden, met minder lichtonderscheppende delen. Dit wordt momenteel in de praktijk ontwikkeld. We gaan in deze studie alvast uit van deze variant. Per saldo is er dan een verwaarloosbaar lagere lichttransmissie bij een kas met dubbelglas ten opzichte van één met enkelglas.
- De isolerende eigenschappen van het dubbele dek zijn logischerwijs veel beter dan dat van enkeldek. Daarom wordt deze variant met slechts één XLS 10 scherm uitgevoerd (tegen drie schermen bij de HNT variant). Dit scherm wordt geopend en gesloten bij een globale straling van 25 W/m^2 en een buitentemperatuur van onder de 10 ^oC. Voor zonwering, bij komkommer, sluit het scherm bij meer dan 700 W/m^2 globale straling.
- In de HNT proeven bij het Improvement Centre werd nog een aantal keer gebruik gemaakt van een minimumbuis. In de dubbelglas variant is de minimumbuis instelling er helemaal uitgelaten.
- Op voorhand was al duidelijk dat de vochtigheid onder het dubbelglas vaker hoger dan gewenst zou oplopen. Er is daarom op voorhand al gekozen voor een ontvochtigingsinstallatie op basis van buitenlucht aanzuiging met een regain unit met een capaciteit van 10 $m^3.m^{-2}.uur^{-1}$ in plaats van 5 $m^3. m^{-2}.uur^{-1}$. Voor de regain unit wordt aangenomen dat deze 75% van de voelbare warmte weet terug te winnen. Indien het rendement van een dergelijke unit in de praktijk tegen blijkt te vallen, dan wordt het energieplaatje voor deze variant minder gunstig.

3.4 Diffuusglas

Voor de berekeningen aan de variant “Het Nieuwe Telen onder diffuusglas” wordt uitgegaan van een nieuw type kasdekmateriaal. Dit heeft de volgende gevolgen voor de uitrusting van deze variant:

- Kasdek. Dit type bestaat uit enkelglas dat het invallend licht diffuus maakt. Gekozen is voor glas met hoge haze (74%) en 3% lichtverlies ten opzichte van de standaard.
- Scherminstallaties. Omdat het diffuse glas qua isolatiewaarde vergelijkbaar is met gewoon enkelglas, wordt in deze variant gewerkt met eenzelfde aantal schermen en een vergelijkbare schermstrategie als bij Het Nieuwe Telen.
- Ontvochtiging. Diffuus licht wordt over meer bladlagen verdeeld. De kop van de plant krijgt daardoor minder straling, en zal daardoor minder verdampen. De onderliggende bladlagen krijgen meer licht, en zullen meer verdampen. Omdat de huidmondjesweerstand van ouder blad anders kan zijn dan van jong blad, hoeft de verdamping op gewasniveau niet hetzelfde te zijn als onder gewoon glas. Als er al een verschil in gewasverdamping is, zal die onder diffuusglas wellicht iets lager zijn dan onder gewoon glas. Dit betekent dat er qua ontvochtigingsinstallatie met eenzelfde capaciteit gerekend kan worden als bij Het Nieuwe Telen.

4 Effecten van dubbelglas op komkommerteelt

4.1 Energiegebruik komkommer

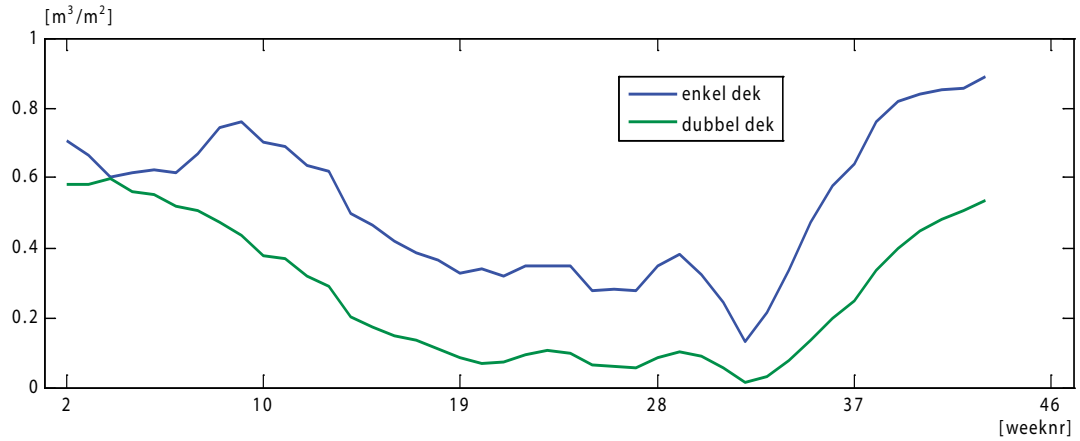
Het energiegebruik van Het Nieuwe Telen komkommer onder enkeldek met drie schermen is met KASPRO nagerekend, waarbij de gegevens van de kasproef bij het Improvement Centre in 2009 de basis vormden. Zie bijlage 1 voor deze berekening. Vervolgens is een berekening gemaakt waarin Het Nieuwe Telen onder dubbelglas met één scherm is gesimuleerd. De resultaten staan in Tabel 2.

Tabel 2. Berekend energiegebruik komkommer onder enkel en dubbelglas

	referentie	HNT	dubbelglas
Energieverbruik			
- Warmte [m^3/m^2]	40	25	12
- Elektriciteit [kWh/m^2]	7	13	18
- CO_2 verbruik1) [kg/m^2]	36	37	43
Totaal verbruik in m^3 a.e./m^2*jaar	42	29	17
Productie [kg/m^2]	75	75	75
Energie efficiency [m^3 a.e. /kg]	0.56	0.39	0.23

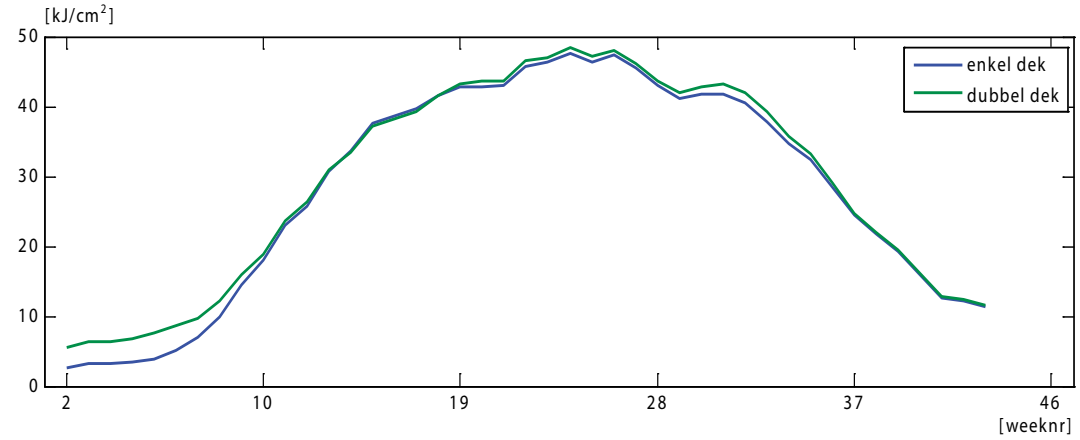
1) Alle CO_2 vraag zuiver ingevuld

In Figuur 5. wordt het energiegebruik van HNT komkommer onder een enkeldek vergeleken met HNT komkommer onder dubbeldek voor de teeltperiode van de komkommerteelt (week 2 t/m 45).



Figuur 5. Energiegebruik van Het Nieuwe Telen met drie schermen onder enkeldek vergeleken met dat van een teelt onder dubbeldek met 1 scherm

De berekeningen zijn gebaseerd op de gegevens uit de kasproef bij het Improvement Center en gaan derhalve niet over een heel jaar: de kas ligt twee maanden (november en december) leeg. Zoals nog zou kunnen blijken, zouden op bepaalde momenten energie gebruikende maatregelen genomen moeten worden om een voor de plant acceptabel klimaat te waarborgen. Dit betekent op jaarrond basis een hoger energiegebruik.

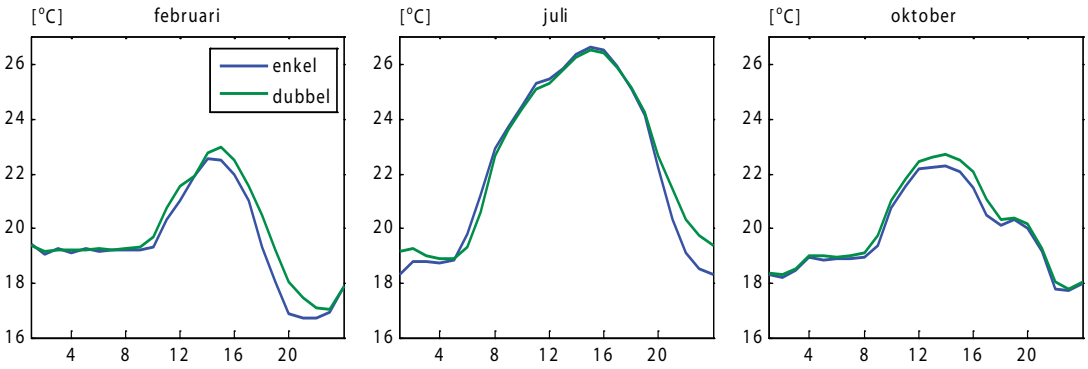


Figuur 6. PAR stralingssom van de oude teelt met drie schermen en een dubbeldek met één scherm

De Figuur laat zien dat er in de winter doordat er overdag niet geschermd wordt, veel lichtwinst wordt behaald. Tot en met week 8 was het in de komkommerteelt mogelijk dat naast het vaste folie scherm, ook nog het XLS 10 doek dicht lag. Tot en met week 10 heeft het dubbele dek 30% meer PAR-licht op gewasniveau gehad dan de teelt met meerdere schermen. Omdat er nu nog maar één scherm in de kas aanwezig is, wordt er additioneel 3% lichtonderschepping door het scherm jaarrond teruggewonnen.

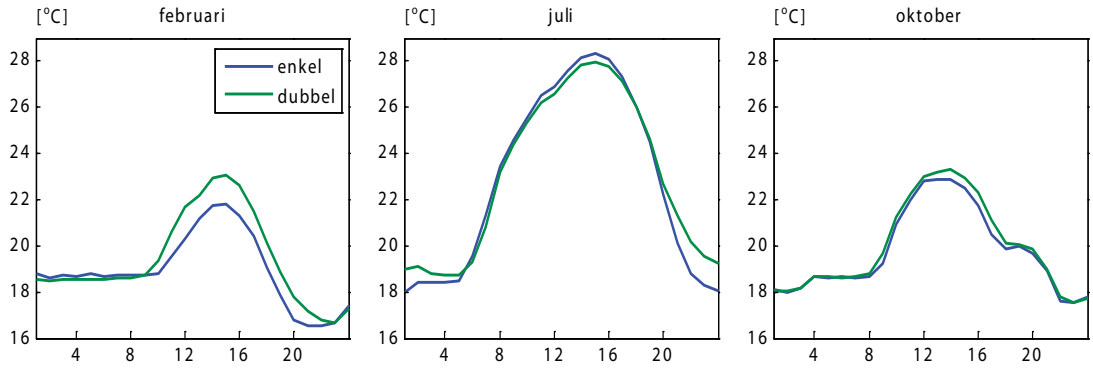
4.2 Kasklimaat komkommer

Het kasklimaat zal door de wijzigingen veranderen. Niet alleen op absoluut niveau, maar ook dagpatronen zullen veranderen. Zo zal door de NIR reflecterende werking van het kasdek de warmtebelasting van de kas wat afnemen, waardoor er minder geventileerd hoeft te worden. Daarnaast zal door de isolerende werking van het dek de kas langzamer afkoelen, anders gezegd in de avond zal er meer geventileerd moeten worden.
In de volgende figuren zal dit voor drie maanden (februari, juli en oktober) in een cyclisch gemiddelde worden verduidelijkt.



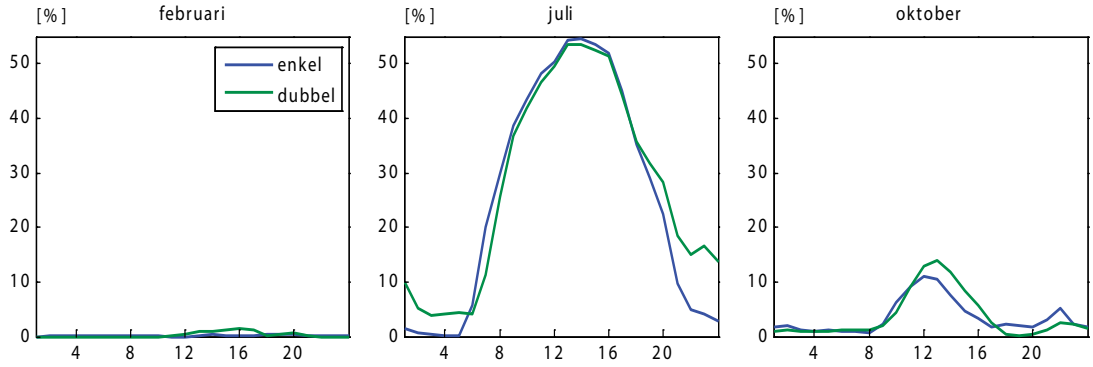
Figuur 7. Kasluchttemperatuur

De kasluchttemperatuur komt in de winter overdag hoger te liggen. In de zomer is het gewas ‘s nachts warmer maar overdag wat koeler. Dit had meer kunnen zijn maar de feedback van de controller zorgt er al voor dat er iets minder geventileerd gaat worden (Figuur 9.). In de herfst gaat de kasluchttemperatuur overdag weer wat omhoog.



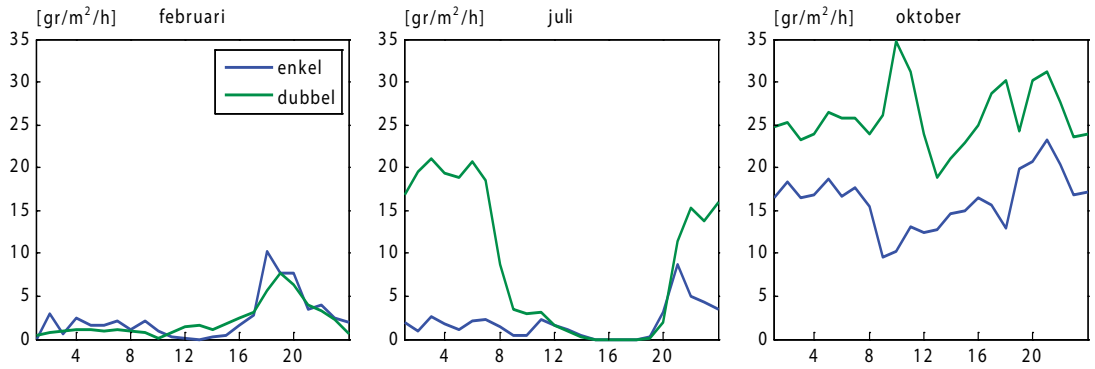
Figuur 8. Gewastemperatuur

De gewastemperatuur volgt de trend van de kasluchttemperatuur. In de winter is het gewas overdag bijna een graad warmer. Met drie schermen komt de gewastemperatuur toch nog iets hoger te liggen dan met een dubbeldek met 1 scherm. In de zomer is in de avond en nacht de gewastemperatuur met bijna 1 °C toegenomen. Bedenk wel dat de hier gepresenteerde gewastemperatuur een indicatie is. Het gewas heeft in werkelijkheid een driedimensionale structuur, waarbinnen de verschillende lagen door vele invloeden (buistemperatuur, direct aanstralen door de zon, het kijken naar koud oppervlak als het kasdek) verschillende temperaturen zullen hebben. Ook het na-ijlen van vruchttemperaturen door de massa van de vrucht hoort hierbij. In het gebruikte rekenmodel is het gewas vereenvoudigd tot een tweedimensionale laag.



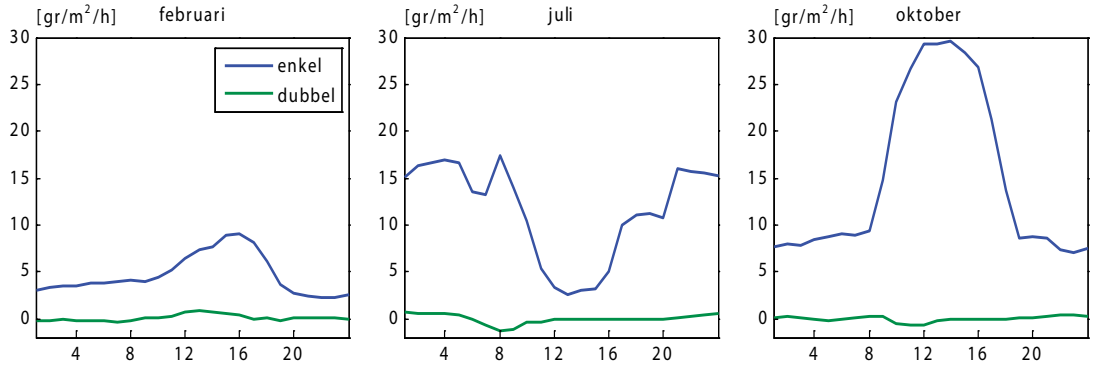
Figuur 9. Raamstand

In de winter wordt er voornamelijk op temperatuur geventileerd. De kasluchttemperatuur ligt bij dubbelglas dan wat hoger, dus zal er ook eerder geventileerd worden. In de zomer moet er ‘s nachts meer geventileerd worden. De kas koelt langzamer af (zie ook kasluchttemperatuur Figuur 7.). In de herfst geldt dit ook, maar dan weet de controller in de avond en nacht een gelijke kasluchttemperatuur te realiseren.



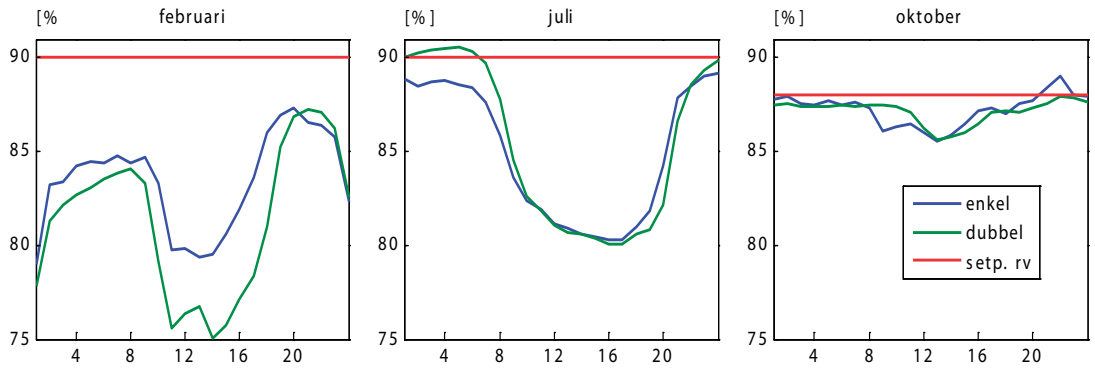
Figuur 10. Mechanisch afgevoerd vocht

In de winter is er bijna geen verschil in gebruik. In de zomer is het opvallend dat er vooral in de nacht veel meer vocht wordt afgevoerd. Bij vergelijk met Figuur 11., condensatie tegen kasdek, is het opmerkelijk dat wat niet tegen het kasdek condenseert grotendeels door de mechanische vochtafvoer wordt afgevoerd. Bij het enkele dek wordt er door de mechanische ontvochtiging 35 l/m^2 afgevoerd en bij het dubbeldek 83 l/m^2. Het systeem onder dubbelglas, met grotere capaciteit dan onder enkelglas, draait een kleine 300 uur op vollast en is ca. 3800 uur van deze teelt in gebruik. In de enkeldeks kas (capaciteit 5 m^3/m^2.uur was dit 400 uur vollast en ca. 2500 uur in gebruik.



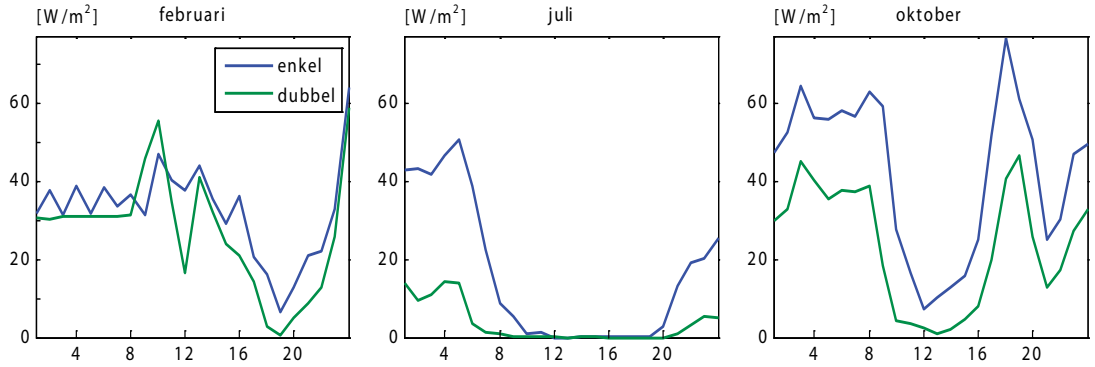
Figuur 11. Condensatie kasdek

De condensatie tegen het kasdek is vrijwel nihil. Een enkele keer is deze zelfs negatief, dat betekent dat de ruit op dat moment opdroogt. In de winter is deze stroom klein doordat er door de vele schermen een grote barrière is tussen de plant en het kasdek. In de zomer is overdag de condensatie tegen het kasdek zo laag omdat de kaslucht vaak droog is (zie Figuur 12.) en de kastemperatuur hoog. De dektemperatuur komt dan niet zo snel onder de dauwpunttemperatuur van de kaslucht. Op jaarbasis is tijdens de teeltperiode ca. 105 liter water per m^2 door condensatie in de enkeldeks kas afgevoerd. In de dubbeldekskas is dit slechts enkele liters.



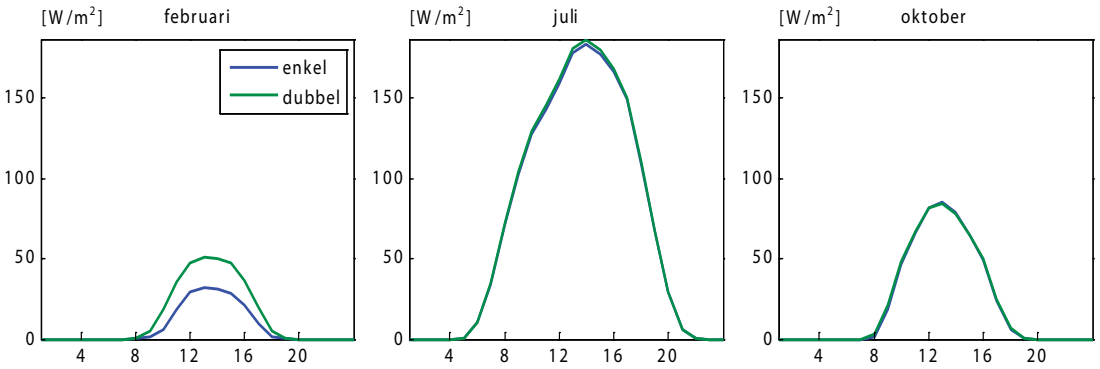
Figuur 12. Kaslucht RV

De kaslucht RV is in de winter onder het setpoint van 90%. Doordat er wat meer geventileerd wordt, en omdat er in de enkeldekskas door de 3 schermen weinig lekverlies zal zijn, wordt de dubbeldeks kas wat droger. In de zomer zijn de nachten (te) vochtig. De mechanische ontvochtiging weet blijkbaar niet genoeg af te voeren. In de zomer is er overdag weinig verschil doordat de verneveling de 80% probeert te handhaven. Ook in de herfst zijn de nachten (te) vochtig. In deze periode is het vochtsetpoint wel wat lager gelegd dan in de rest van het jaar. Op de wintermaanden na wordt de dubbeldekskas over het algemeen vochtiger. Echter door de kleinere ontvochtigingscapaciteit wordt het vochtsetpoint 450 uur in de enkeldekskas overschreden, tegen 280 uur in de dubbeldekskas.



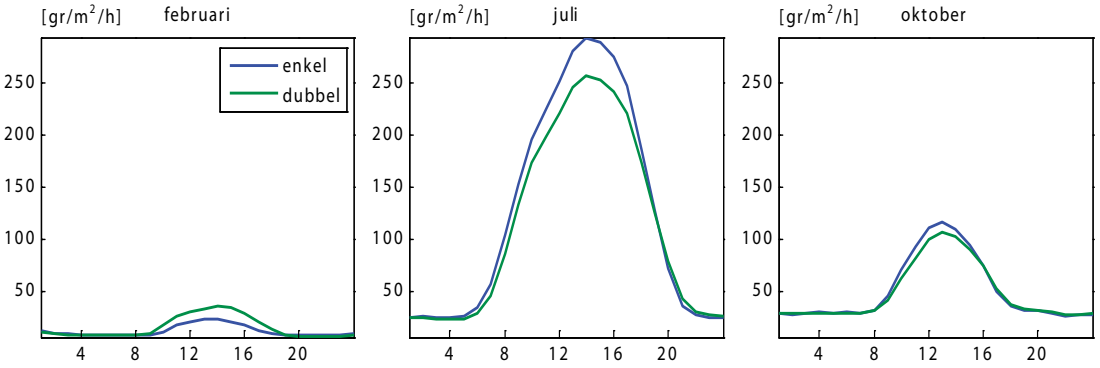
Figuur 13. Afgegeven buisvermogen

In de winter wordt er in de configuratie met 1 scherm, welke overdag altijd geopend wordt, geen energie bespaard. Daar staat wel een behoorlijke lichtwinst tegenover (zie Figuur 14.), welke in de praktijk nog hoger uit kan pakken omdat vele schermen na enkele jaren behoorlijk vervuild raken waardoor de transmissie verder afneemt. In de zomer komt het verbruik een stuk lager te liggen door een combinatie van energiebesparing door het kasdek en het weglaten van de minimumbuis. Het najaar valt op door de hoge absolute energie-input, welke nog groter is dan in de winter, waarbij het dubbeldek toch nog een behoorlijke besparing weet te realiseren. Het ontvochtigen neemt in de herfstperiode toe, wat een verhoging van de energie input met zich meebrengt. In de herfst wordt er in de enkeldeks kas in de avond en nacht al weer volop geschermd (Figuur 16.) waar dit in de dubbeldekskas beduidend minder is.
De gedurende langere perioden continue lagere warmte-inbreng door middel van de buizen, in combinatie met de veranderende gewastemperatuur, kan de temperatuuropbouw in het gewas doen veranderen. Het kan dus belangrijk worden om primair met de groeibuis te gaan stoken.



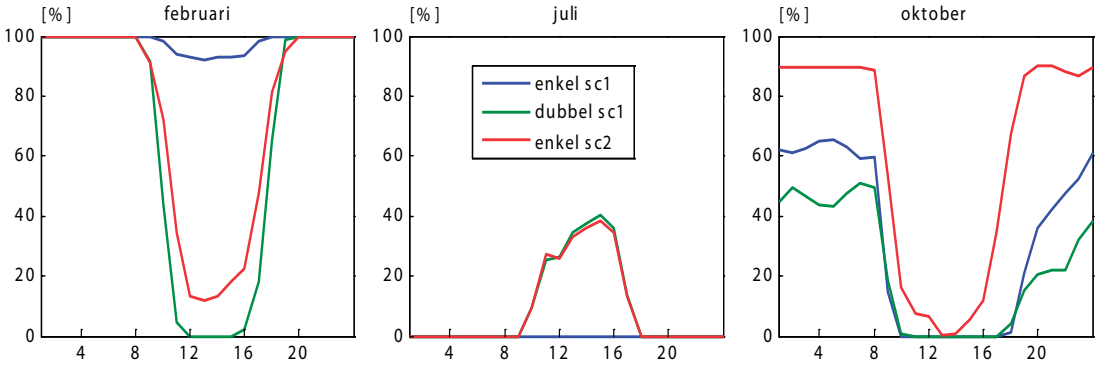
Figuur 14. PAR licht

Het in de winter openen van het enkele scherm, waar in de enkeldeks kas altijd minimaal 1 scherm (het vaste folie) maar ook vaak nog het XLS 10 doek nog dicht zit(ten), zorgt voor een fors hoger lichtniveau. In de enkeldeks kas is er in de februari maand ca. 45% minder PAR licht op het gewas gevallen. Ten opzichte van de enkeldeks kas is de transmissie van de dubbeldeks kas een fractie lager. Daar staat tegenover dat doordat er maar 1 scherm aanwezig is er een 3% lichtwinst (jaarrond) wordt gewonnen. Dat is ook de reden dat in de herfst geen verschil zichtbaar is. In de zomer is dit verschil wel zichtbaar omdat de regeling voor de zonwering hierop al iets is aangepast, wat ook uit het schermen in de zomermaand blijkt (Figuur 16.). Deze had wellicht nog iets naar beneden bijgesteld moeten worden.



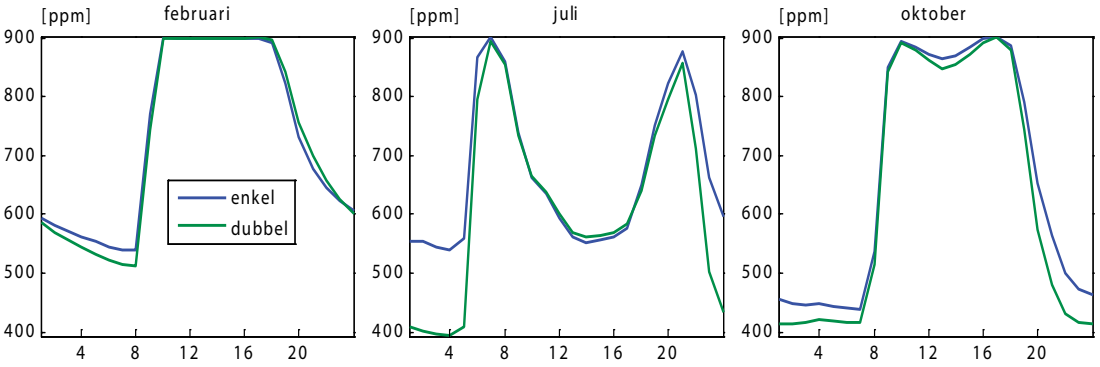
Figuur 15. Verdamping

De verdamping is uiteraard sterk gerelateerd aan de hoeveelheid straling. Door het hogere lichtniveau in de winter (dankzij het niet gebruiken van enig scherm overdag), zal ondanks de NIR reflectie de verdamping op een hoger niveau komen te liggen. In de zomer en herfst gaat die NIR reflectie wel zichtbare invloed hebben, zodat de verdamping op een iets lager niveau komt te liggen. Tijdens de gehele teelt is de verdamping met 7% afgenomen.



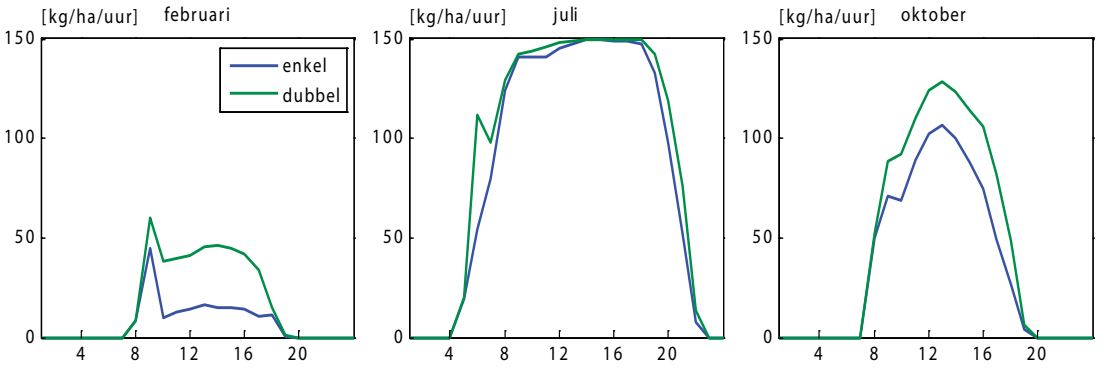
Figuur 16. Scherm

In de Figuur is het vaste folie niet aangegeven. In de enkeldeks kas, wordt het XLS 18 scherm (sc2) overdag vrijwel altijd geopend omdat dit erg veel licht wegneemt. Het XLS 10 scherm (sc1) is slechts beperkt opengegaan. In de winter hebben dus vrijwel constant twee schermen dichtgelegen. Dit is ook de verklaring voor het grote verschil in PAR licht (Figuur 14.). In de zomer wordt het scherm (XLS 10) alleen gebruikt voor zonwering. In de herfst wordt er in de enkeldeks kas beduidend meer geschermd dan in de dubbeldeks kas. Dit is mede één van de oorzaken voor de eerder genoemde hoge energie input in de herfst (Figuur 13.).



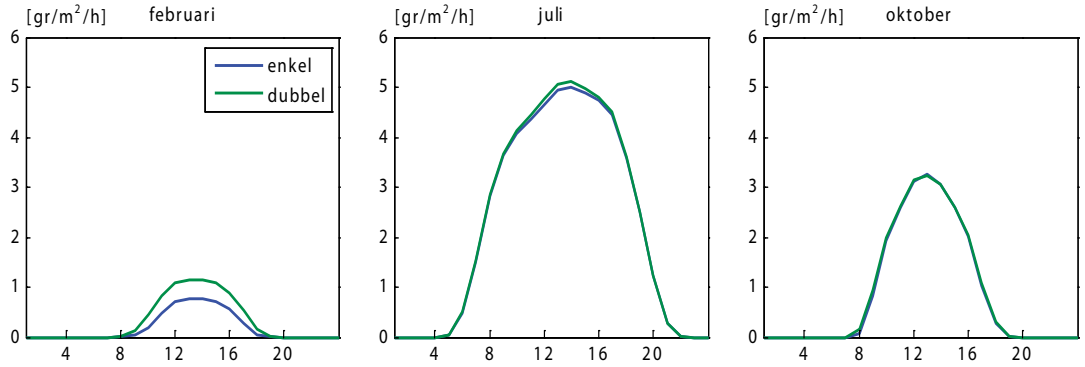
Figuur 17. CO_2 concentratie

Naast licht is CO_2 een belangrijke groeifactor. Ook het CO_2-niveau wordt beïnvloed door het dek. De getoonde verschillen zijn vooral in de nacht zichtbaar. Er wordt meer geventileerd in de nacht, waardoor het CO_2-niveau in die perioden lager komt te liggen. Overdag probeert de controller het CO_2-niveau op de ingestelde 900 ppm te handhaven met zuivere CO_2 met een maximale flow van 150 kg/ha.uur.



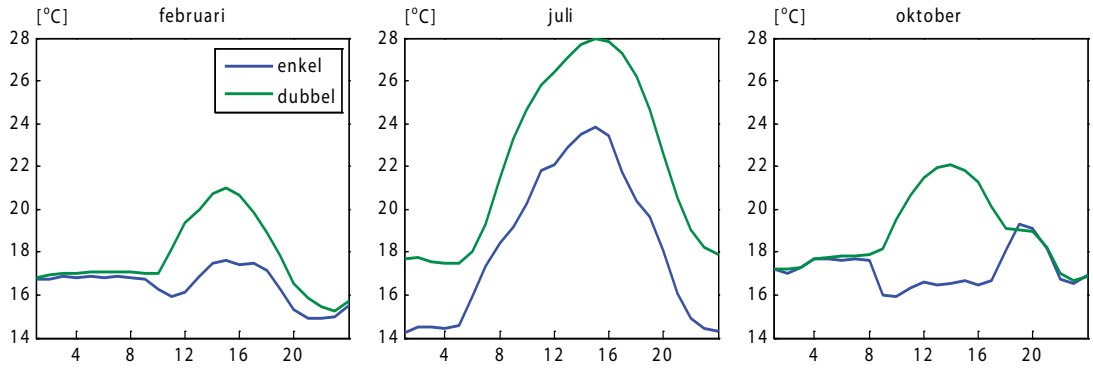
Figuur 18. CO_2 dosering

Door de hogere ventilatie wordt er in de winter iets meer CO_2 gedoseerd. In de zomer wordt overdag altijd de maximale doseercapaciteit benut. In de vroege morgen en avond wordt er wat meer gedoseerd omdat in de dubbeldeks kas op die momenten ook meer geventileerd wordt. Dat is ook in de herfst het geval. De gedoseerde hoeveelheid CO_2 neemt toe met 16% tot ruim 43 kg CO_2/m^2. De toename van deze doseerbehoefte is vrijwel volledig zuivere CO_2.



Figuur 19. Fotosynthese capaciteit

Omdat er weinig verschillen zijn in het gerealiseerde CO_2-niveau, zal een eventueel verschil in lichtniveau de grootste invloedsparameter zijn op de fotosynthese capaciteit. Deze Figuur is dan ook vrijwel een kopie van Figuur 14. De grotere lichttoetreding in de winter zorgt voor meer fotosynthese capaciteit.



Figuur 20. Temperatuur uitstralingsoppervlak

Het uitstralingsoppervlak is het oppervlak waarmee de kop van het gewas via straling energie uitwisselt. Zodra er een scherm wordt gebruikt (in de enkeldeks kas is dat 's nachts vaak dubbel of zelfs driedubbel) is er vrijwel geen verschil. Zodra er geen scherm meer aanwezig is lopen de temperatuurverschillen sterk op. In de enkeldeks kas 'ziet' de kop van het gewas dan het koude dek, waar in de dubbeldekskas het gewas een warmer binnenblad van de dubbele ruit 'ziet'. Hierdoor zal de kop van het gewas op deze momenten zeker warmer blijven. Hoeveel en welke invloed dit op het gewas heeft is onbekend.

Uit de figuren 7 tot en met 20 kunnen de volgende globale conclusies getrokken worden:

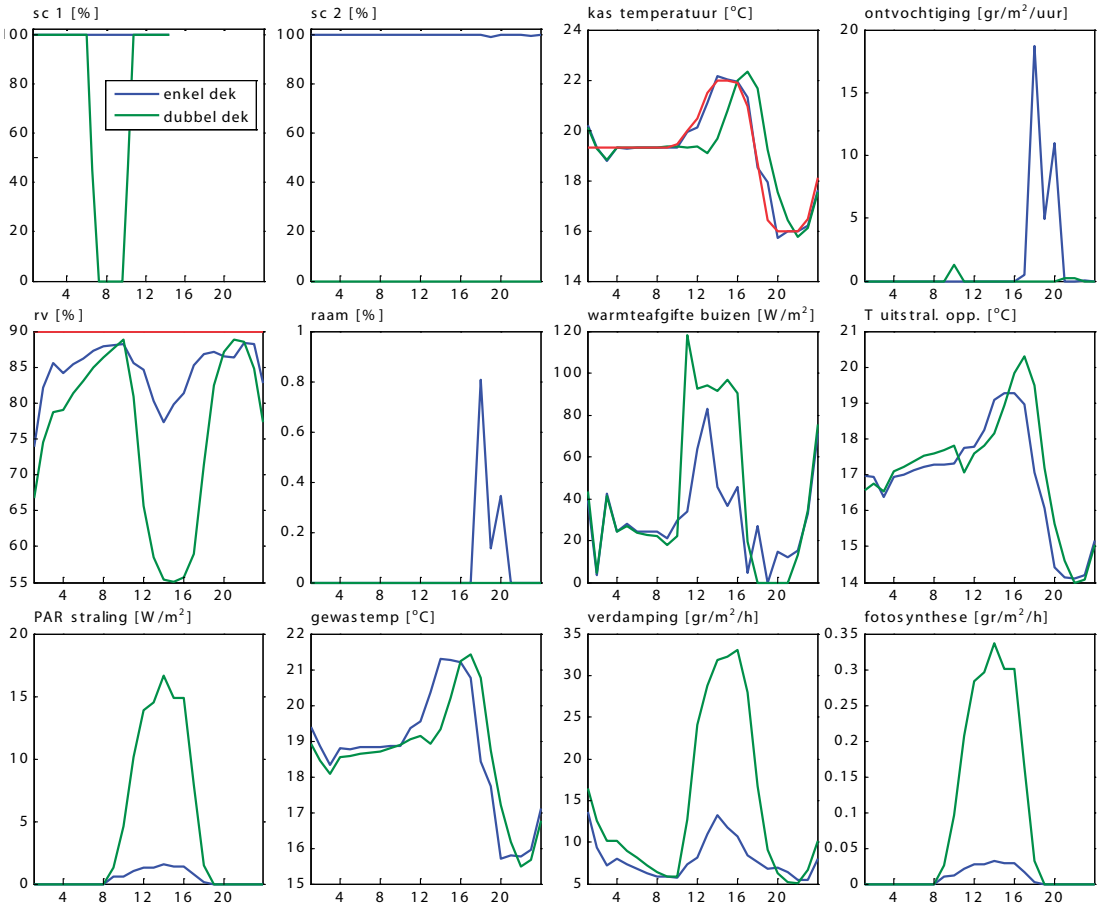
- De kasluchttemperatuur daalt langzamer en in de zomer blijft deze in de avond en nacht op een hoger niveau liggen dan bij de enkeldeks kas.
- Het ontbreken van de bovenscherminstallatie en het openen van het scherm in de winter levert veel lichtwinst op in deze periode.
- De mismatch tussen beschikbare CO_2 en benodigde CO_2 neemt verder toe.
- Door het verhogen van de ontvochtigingscapaciteit zijn er minder uren overschrijding van het vochtsetpoint, maar de RV komt wel veel meer uren rondom het vochtsetpoint te liggen.
- De temperatuur van het uitstralingsoppervlak gaat toenemen, vooral als er geen scherm gesloten is. Wat de exacte gevolgen hiervan op de koptemperatuur zijn, is nog onbekend. De koptemperatuur zal op deze momenten zeker hoger komen te liggen, maar hoeveel is onbekend. Door verdamping en convectie kan de koptemperatuur ook nog beïnvloed worden.

Om bovenstaande verder te analyseren, wordt op momenten waarop de gesimuleerde verschillen erg groot worden, de zogenaamde 'moeilijke momenten', op dagbasis ingezoomd. Dit geeft niet alleen een verduidelijking van het 'probleem' maar moet ook oplossingen aanreiken hoe geanticipeerd kan worden op deze situatie.
In een bepaalde periode van het jaar wordt volgens de KASPRO simulatie bijvoorbeeld een bepaald opvallend verschil verwacht. De vraag is dan wat de risico's zijn van deze afwijkende klimaatomstandigheden, wat de oorzaken zijn, en hoe problemen mogelijk opgevangen kunnen worden.

4.3 Kasklimaat komkommer op kritische momenten

4.3.1 Donkere winterdag

In Figuur 21. is een donkere dag in februari (115 J/cm^2), met een buitentemperatuur tussen 1 en 8 ^{o}C, waarbij de nacht warm was en het overdag koud is geworden, gegeven.



Figuur 21. Detail klimaatfactoren op 10 februari, een donkere dag (rode lijnen zijn setpoints)

Opvallend is dat het vocht bij dubbelglas overdag wegzakt. Dit komt niet door ventilatie, maar is een combinatie van weinig condensatie en lek van de kas. In de enkeldek kas is het gewascompartiment nog door 3 schermen gescheiden van het kasdek. De lek (vochtafvoer) is dan zeer klein. Dit lage vochtniveau kan eenvoudig worden opgevangen met de vernevelinginstallatie. Verneveling past echter niet bij een teeltactie die gericht is op het generatief maken van de plant: daarbij is dus voorzichtigheid geboden.
Het achterblijven van de kasluchttemperatuur, althans het pas rond 13:00 uur oplopen komt door de beperkte verwarmingscapaciteit. De gekozen maximum buistemperaturen zorgen daarvoor. Een enkeldeks kas met 3 schermen dicht heeft nu eenmaal een hogere isolatiegraad dan een dubbeldeks kas zonder scherm (het scherm is op dat moment geopend).
De combinatie van de droge kaslucht met een verwarmingssysteem dat op de maximumcapaciteit zit, had ook opgelost kunnen worden door het transparante scherm te sluiten.
Het vele licht op deze dag laat een zeer groot voordeel van het dubbeldek zien.

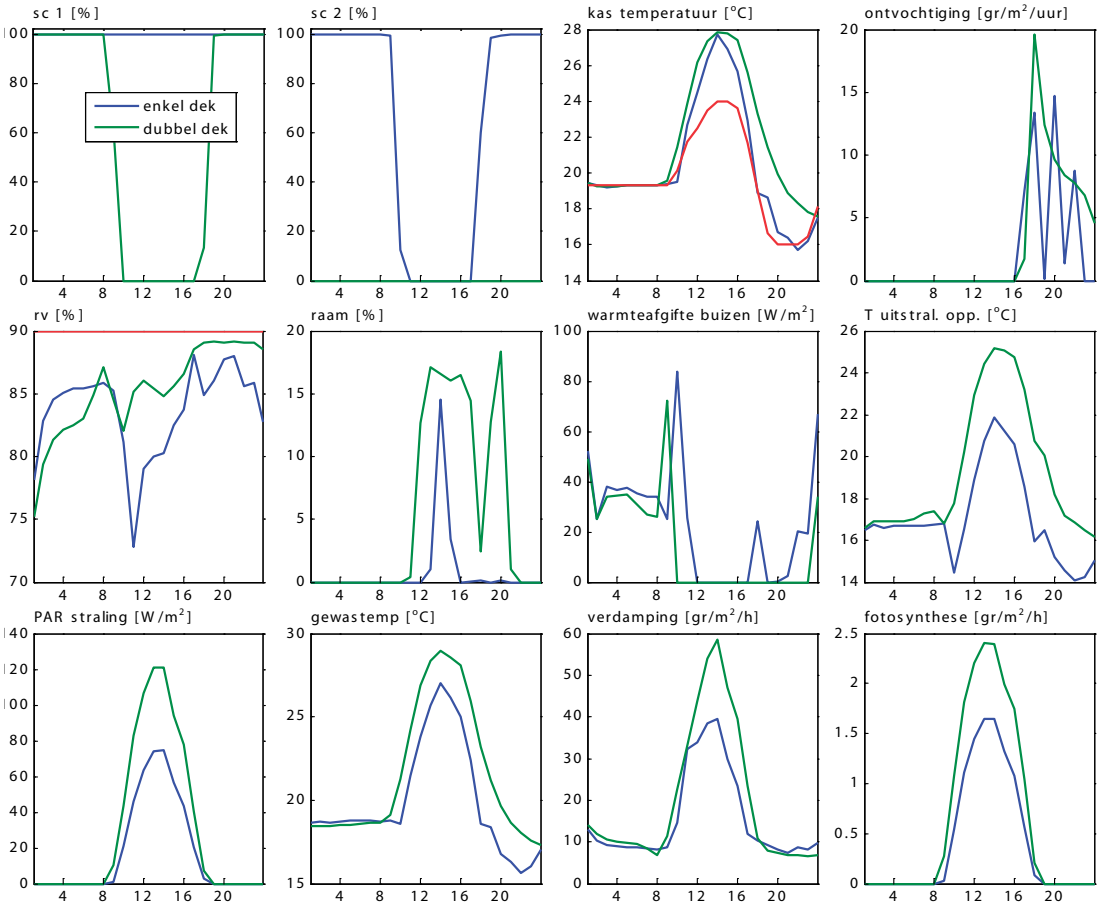
Samenvattend:

Belangrijk voordeel dubbelglas t.o.v. enkelglas			
Meer PAR licht in de kas			
Opvallende afwijking klimaat onder dubbelglas tov enkelglas	Risico	Oorzaak	Mogelijke oplossing
RV daalt overdag sterk	Planten blijven compacter: lagere LAI	Meer lek	Verneveling
Temperatuur loopt later op	Groei- en ontwikkelings-snelheid blijven achter	Beperkte verwarmings-capaciteit	Scherm sluiten

Aan de hand van de gepresenteerde analyse worden er geen niet-beheersbare problemen op dit type dagen voorzien.

4.3.2 Lichte koude winterdag

In Figuur 22. is een lichte dag in februari (903 J/cm²), met een buitentemperatuur tussen -1 en 4 °C, een echte mooie maar koude winterdag gegeven.



Figuur 22. Detail klimaatfactoren op 14 februari, een lichte dag (rode lijnen zijn setpoints)

Hoewel de kastemperaturen elkaar maar weinig ontlopen, is op deze dag wel een behoorlijk verschil in gewastemperatuur ontstaan. In basis hoeft dit niet negatief te zijn, en zou nog kunnen worden opgelost door agressiever te gaan ventileren. Dat kost wel iets van de ruimtetemperatuur, maar de gewastemperatuur is in principe leidend. Hogere gewastemperaturen kunnen namelijk bij tere vruchten ook eerder zonnebrandplekken op vruchten geven.

De hogere kas- en gewastemperatuur in de avond zou met agressiever luchten of het later sluiten van het scherm gelijk getrokken kunnen worden. Of dit ook nodig is zou de stand van het gewas uit moeten wijzen.
Ook op deze dag is er een behoorlijke potentiële verhoging van de fotosynthesecapaciteit te verwachten.

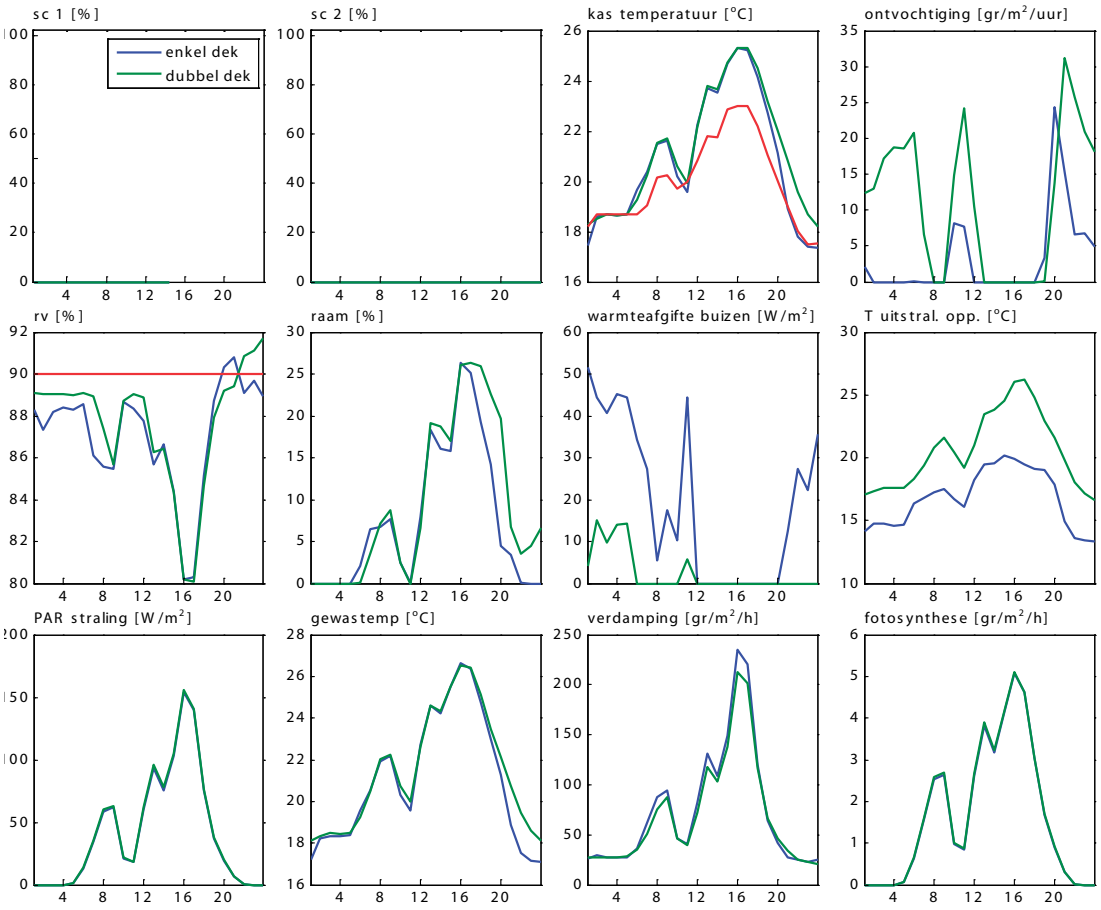
Samenvattend:

Belangrijk voordeel dubbelglas t.o.v. enkelglas			
Meer PAR licht in de kas			
Opvallende afwijking klimaat onder dubbelglas t.o.v. enkelglas	Risico	Oorzaak	Mogelijke oplossing
Hogere gewastemperatuur	Zonnebrandplekken op vruchten	Minder uitstraling	Agressiever ventileren

Aan de hand van de gepresenteerde analyse worden er geen niet-beheersbare problemen op dit type dagen voorzien.

4.3.3 Donkere zomerdag

De gevolgen van een donkere dag in juli (1048 J/cm^2), met een buitentemperatuur variërend tussen 14 en 18 ^{o}C op het kasklimaat, is in Figuur 23. te zien.



Figuur 23. Detail klimaatfactoren op 7 juli, een donkere dag (rode lijnen zijn setpoints)

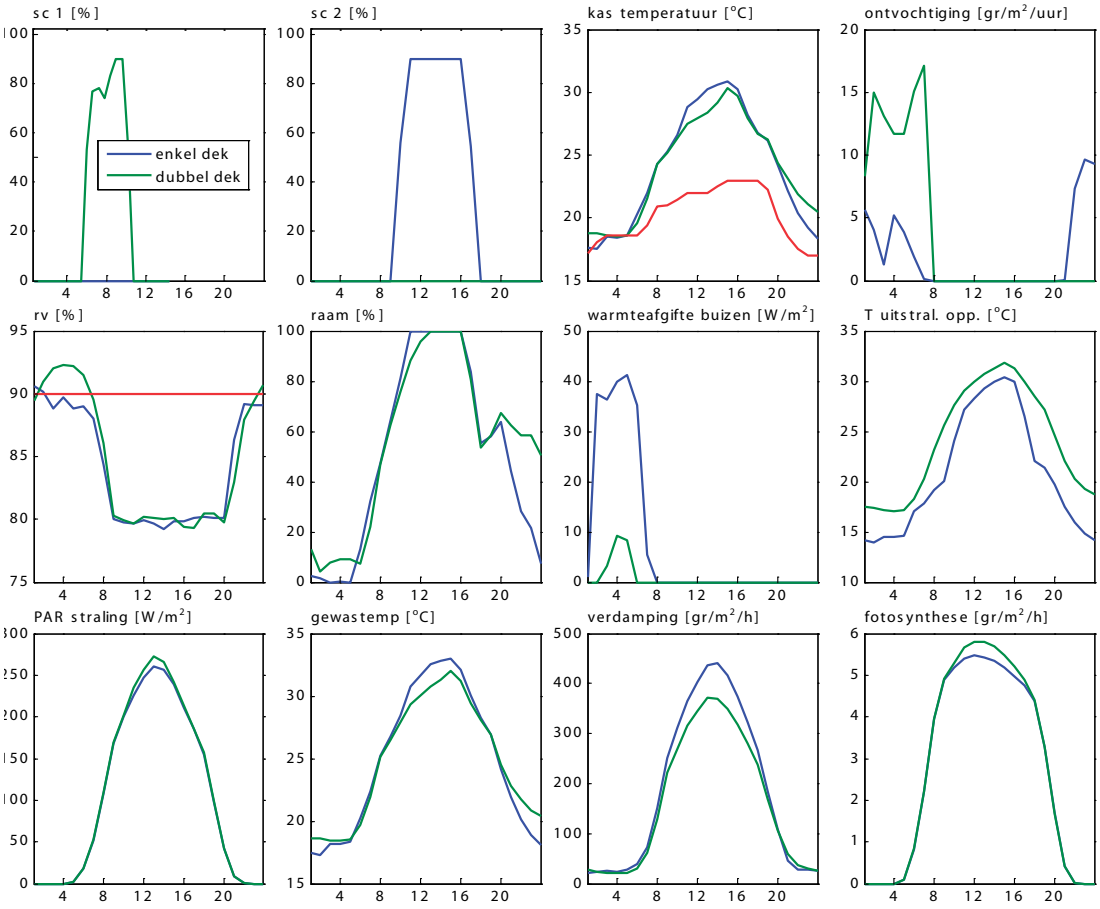
Het gerealiseerde klimaat is vrijwel vergelijkbaar. Vanuit dat oogpunt zijn er geen problemen te verwachten. De hogere kas en gewastemperatuur in de avond zou met agressiever luchten of het later sluiten van het scherm gelijk getrokken kunnen worden. Of dit ook nodig is zou de stand van het gewas uit moeten wijzen. De ontvochtigingsinstallatie moet meer vocht afvoeren. In de late avond lijkt de capaciteit (te) beperkt te zijn gezien de overschrijding van het vochtsetpoint. Echter ook in de enkeldeks kas komt dit voor. Alleen indien langdurig op een hoger vochtniveau geteeld zou worden zou de capaciteit verder verhoogd moeten worden.
Mogelijk punt van aandacht is wel de temperatuurgradiënt in het gewas. Op deze dag wordt er hoegenaamd niet gestookt. Dat kan de vruchttemperatuur en temperatuurverdeling in het gewas beïnvloeden. Het zal raadzaam zijn om alle warmte via een groeibuis ter hoogte van de uitgroeiende vruchten in te brengen, opdat die optimaal van de stralingswarmte profiteren.

Samenvattend:

Belangrijk voordeel dubbelglas t.o.v. enkelglas			
Nauwelijks stookenergie nodig			
Opvallende afwijking klimaat onder dubbelglas t.o.v. enkelglas	Risico	Oorzaak	Mogelijke oplossing
Hogere temperatuur in de avond	Vegetatieve reactie. Bij hogere etmaaltemperatuur ook meer onderhoudsademhaling met zwakkere kop en/of meer vruchtabortie tot gevolg.	Minder uitstraling	Agressiever ventileren
Hogere RV in de avond	Hoger risico op ziekten (botrytis, mycosphaerella)	Geen condensatie aan het dek	Hogere capaciteit ontvochtiging installeren
(Waarschijnlijk) Andere temperatuur gradiënt	Koudere (tragere vruchtuitgroei), vochtigere vruchten (groter risico op ziekten)	Geen stookwarmte onderin het gewas	Groeibuis

4.3.4 Lichte zomerdag

In Figuur 24. is een lichte dag in juni (2927 J/cm^2), met een buitentemperatuur tussen 16 en 24 °C, gegeven.



Figuur 24. Detail klimaatfactoren op 4 juli, een lichte dag (rode lijnen zijn setpoints)

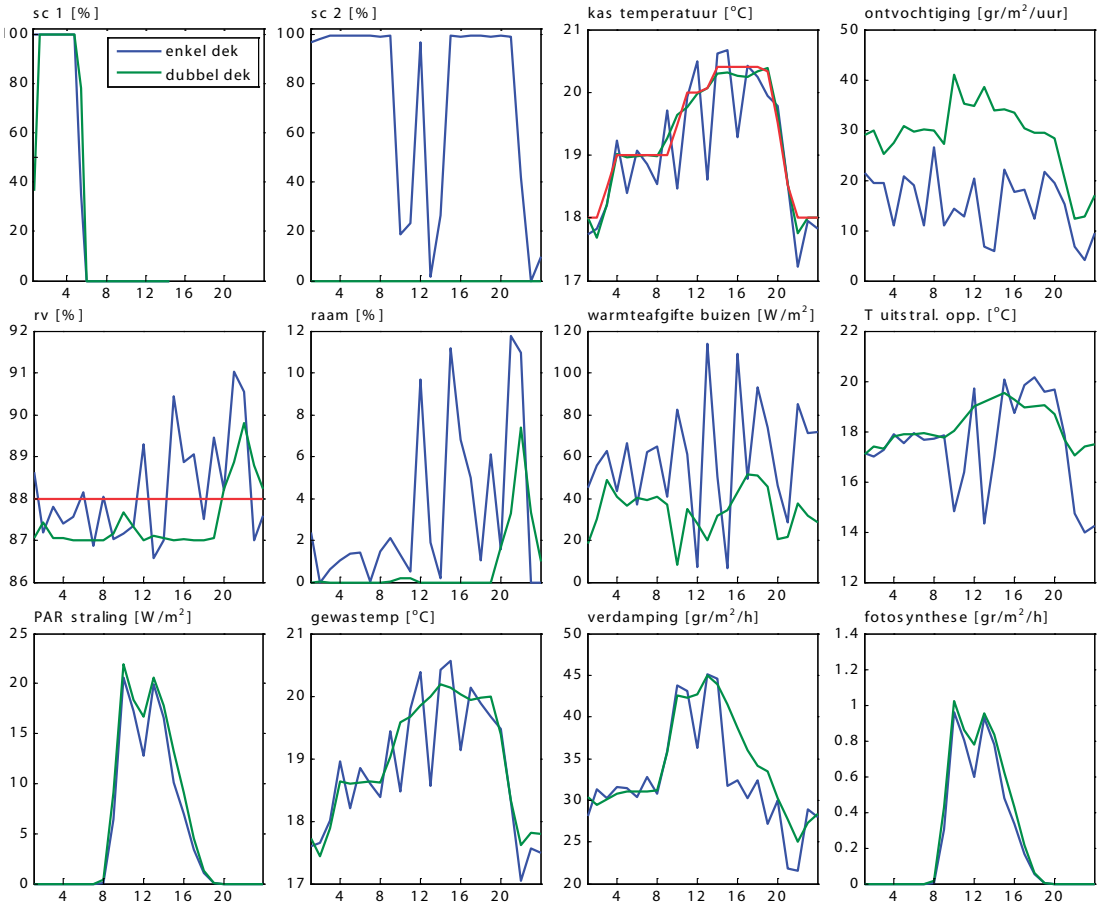
Deze dag laat het voordeel van de NIR reflecterende werking van het kasdek goed zien, het wordt koeler, wat een voordeel zou zijn. Het vocht is wel een punt van aandacht. De maximum capaciteit van de ontvochtigingsinstallatie is bereikt. Hier zal agressiever luchten een oplossing zijn, wat ook nog bij zal dragen aan een verlaging van de nachttemperatuur welke juist op een hoger niveau is komen te liggen.

Samenvattend:

Belangrijk voordeel dubbelglas t.o.v. enkelglas			
Minder hoge gewastemperatuur			
Opvallende afwijking klimaat onder dubbelglas t.o.v. enkelglas	Risico	Oorzaak	Mogelijke oplossing
Hoge RV in de nacht	Hoger risico op ziekten (botrytis, mycosphaerella)	Onvoldoende ontvochtigingscapaciteit	Meer ventileren; hogere capaciteit ontvochtiging installeren
Hogere nachttemperatuur	Vegetatieve actie. Bij hogere etmaal temperatuur ook meer onderhoudsademhaling met zwakker gewas en zwakkere vruchtbeginsels tot gevolg.	Minder uitstraling	Ventileren

4.3.5 Donkere najaarsdag

De gevolgen van een donkere dag in oktober (142 J/cm²), met een buitentemperatuur variërend tussen 8 en 14 °C op het kasklimaat, is in Figuur 25. te zien.



Figuur 25. Detail klimaatfactoren op 24 oktober, een donkere dag (rode lijnen zijn setpoints)

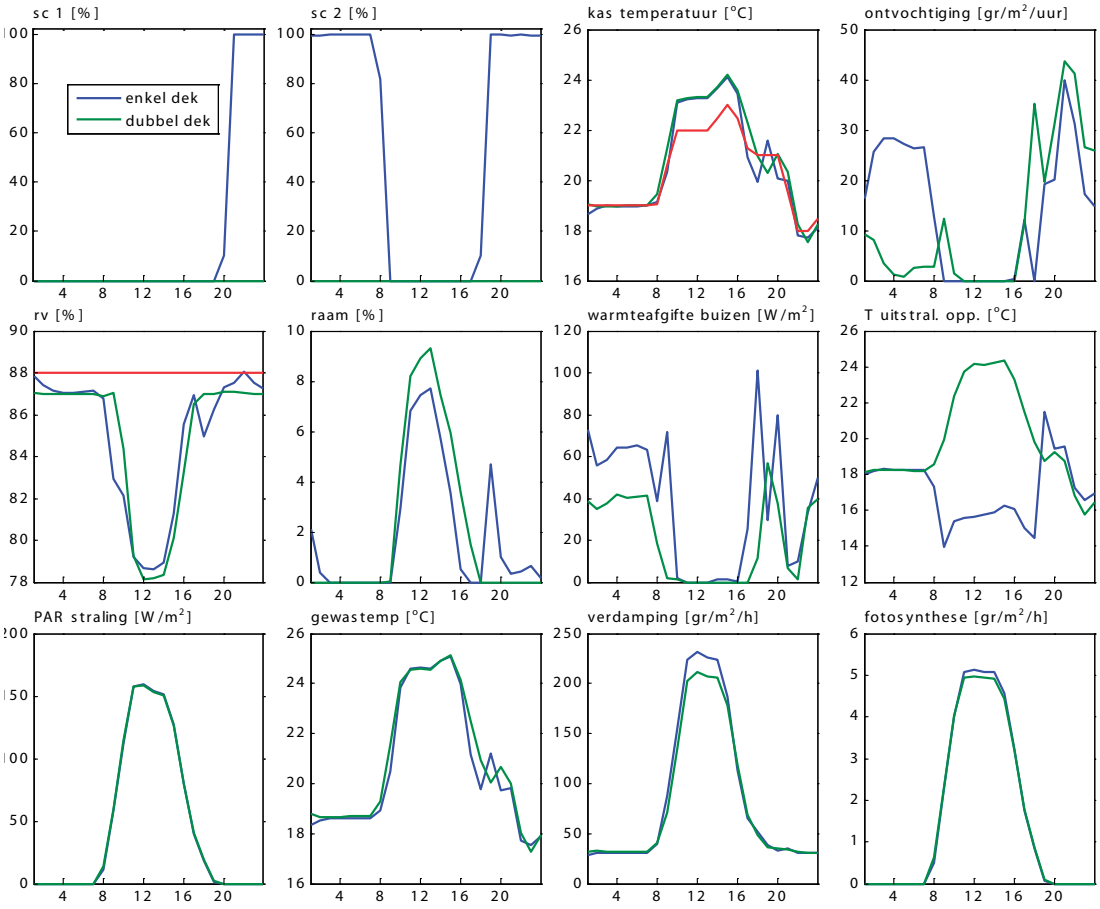
Met de kennis van een hoger vochtniveau in het najaar, is in de referentie kas de vochtsetpoint in het najaar al met 2% verlaagd. De hogere capaciteit van de buitenluchtaanzuiging onder dubbelglas is duidelijk in het gerealiseerde vochtniveau terug te vinden. De regelaar zorgt door middel van 1% voorregeling voor een 1% lagere dan toegelaten maximale vochtniveau. De schermregeling (overdag sluiten van XLS 10 scherm) in de enkeldekskas zorgt voor onrust in de regeling.

Samenvattend:

Belangrijk voordeel dubbelglas t.o.v. enkelglas
Minder stookenergie nodig

4.3.6 Lichte najaarsdag

In Figuur 26. is een lichte dag in oktober (1237 J/cm²), met een buitentemperatuur tussen 10 en 14 °C.



Figuur 26. Detail klimaatfactoren op 4 oktober, een lichte dag (rode lijnen zijn setpoints)

Het gesloten scherm in de nacht in de referentie, zorgt voor een hogere ontvochtigingsbehoefte in de referentiekas in de nacht. Wel wordt het regelbereik van de ontvochtigingsinstallatie een punt van aandacht. Bij de verdubbeling van de capaciteit moet de installatie ook bij kleine ontvochtigingsvraag (is kleine flow) nog goed functioneren. Overdag is er een groot verschil in de uitstralingstemperatuur. Welke invloed dat uiteindelijk op de planttemperatuur en meer in het bijzonder de koptemperatuur heeft is niet bekend.

Samenvattend:

Belangrijk voordeel dubbelglas t.o.v. enkelglas			
Minder stookenergie nodig			
Opvallende afwijking klimaat onder dubbelglas t.o.v. enkelglas	Risico	Oorzaak	Mogelijke oplossing
Hogere temperatuur uitstralingsoppervlak	Onbekend	Hogere temperatuur dek	Onduidelijk of aanpassing nodig is

5 Effecten van dubbelglas op tomatenteelt

5.1 Energiegebruik tomaat

Bij de teelt van tomaat bij het Improvement Centre (IC) is in de zomerperiode gebruik gemaakt van actieve koeling. Omdat deze situatie niet helemaal conform de praktijk is, is er voor gekozen om voor de kas met het dubbeldek zowel een berekening zonder als met koeling te maken. In Tabel 3. staat het berekende energiegebruik voor referentie vergeleken met Het Nieuwe Telen onder enkelglas, Het Nieuwe Telen onder dubbelglas met koeling en Het Nieuwe Telen onder dubbelglas zonder koeling weergegeven.

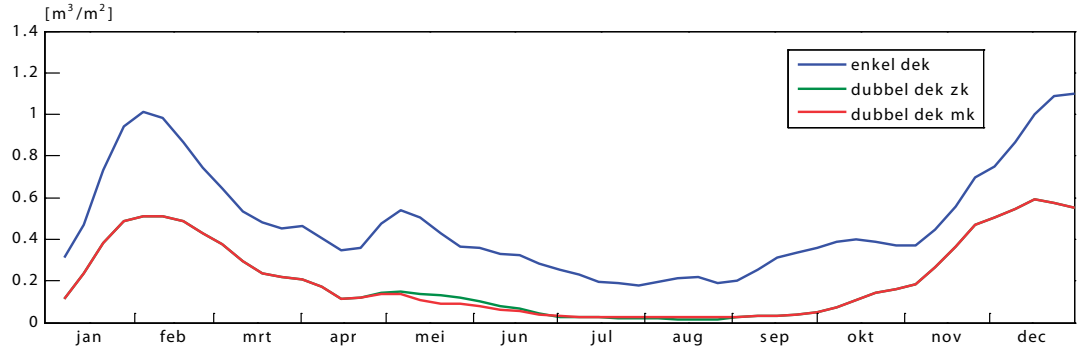
Tabel 3. Berekend energiegebruik tomaat onder enkel en dubbelglas

	referentie	HNT	dubbel zonder koeling	dubbel met koeling
Energieverbruik				
- Warmte [m^3/m^2]	40	25	18	1
- Elektriciteit [kWh/m^2]	7	14	18	55
- CO_2 verbruik1) [kg/m^2]	46	47	51	49
Totaal verbruik in m^3 a.e./m^2*jaar	42	29	23	16
Productie [kg/m^2]	68	68	68	70
Energie efficiency [m^3 a.e. /kg]	0.62	0.43	0.34	0.23

1) Alle CO_2 vraag zuiver ingevuld

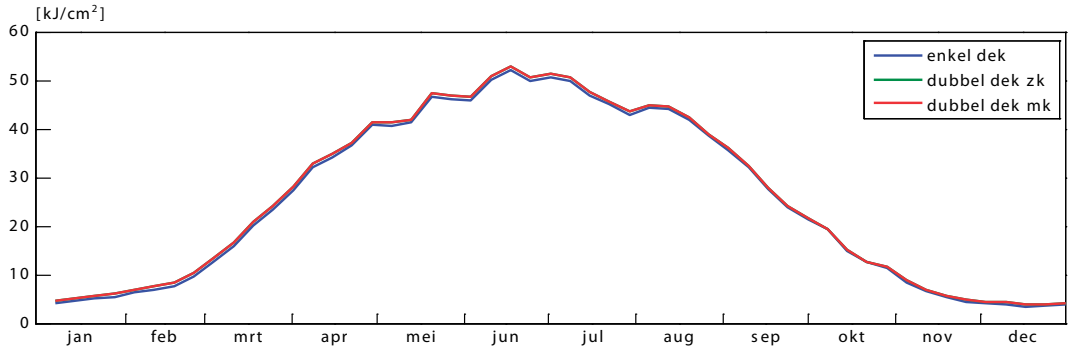
Het kasconcepten Het Nieuwe Telen bespaart ten opzichte van de referentie15 m^3 a.e. op de warmtevraag, wel is er 7 kWh/m^2 meer elektriciteitgebruik. De kas met gecoat dubbelglas, zonder koeling, bespaart nog meer warmte (28 m^3/m^2 t.o.v. referentie) en vergt 18 kWh/m^2 elektriciteit. De variant met koeling verbruikt nog nauwelijks aardgas. Vrijwel de gehele warmtevraag wordt met behulp van de warmtepomp ingevuld. Wel wordt er flink meer elektriciteit gebruikt: dit is onder meer nodig voor de warmtepomp. De CO_2-vraag bij de energiezuinige kasconcepten stijgt enkele kg/m^2. Dit komt doordat er onder dubbelglas meer geventileerd wordt op vocht dan onder enkelglas. Er is vanuit gegaan dat alle CO_2 wordt ingekocht en niet wordt benut vanuit de ketel of WKK.

Het energiegebruik van de teelt onder enkeldek met twee schermen wordt in Figuur 27. vergeleken met een dubbeldek met 1 scherm voor een jaarrondteelt met een teeltstart op 9 januari. Deze teeltperiode is niet helemaal conform de praktijk, maar om een realistisch vergelijk met de teelt bij het IC te kunnen maken, is deze niet veranderd.



Figuur 27. Energiegebruik (warmtevraag) van de teelt onder enkeldek met twee schermen en een dubbeldek met 1 scherm zonder (zk) en met koeling (mk)

Het energiegebruik daalt met een soort offset. Het energiegebruik op warmtevraag neemt af van 25 naar 18 m^3/m^2 (dubbeldek zonder koeling) op jaarbasis. Dit verbruik op warmtevraag is erg laag. De reden hiervoor is dat er in de referentie, de teelt met de enkeldekskas, vanaf half april bijzonder veel gebruik gemaakt is van minimumbuistemperaturen, in combinatie met lage setpoint verwarmingstemperaturen. Doordat de minimumbuis in de dubbeldeks kas niet meer gebruikt wordt, wordt alleen nog op het setpoint verwarmen geregeld. De reden waarom zoveel met minimumbuistemperaturen is gewerkt, komt hier niet ter discussie. Het is echter goed denkbaar, dat een deel van de opwarming van de kas en het gewas met deze minimumbuistemperatuur op een andere manier moet worden ingebracht, wat het energiegebruik op warmtevraag weer doet verhogen. Ook de voor deze berekeningen gebruikte teeltperiode heeft invloed op het energiegebruik.
Het elektriciteitsgebruik voor de regain unit loopt op tot ca. 11 kWh. Hierbij is aangenomen dat de unit 0.5 $W/m^2/m^3$ buitenluchtaanzuiging (vollast) gebruikt. Ondanks de capaciteit van 10 m^3/m^2 draait de installatie volgens de berekeningen zo'n 700 uur vollast.
In Figuur 28. is te zien dat in tegenstelling tot de komkommerteelt (Figuur 6. paragraaf 3.1) er vrijwel geen verschil is in PAR stralingssom op het gewas. Waar bij komkommer er in de winter een vast folie is gebruikt en er overdag soms ook nog met een XLS 18 scherm is geschermd, is dit bij tomaat niet aan de orde geweest. Het kleine zichtbare verschil wordt veroorzaakt door de afwezigheid van het tweede beweegbare scherm. De lijnen "dubbeldek mk" en "dubbeldek zk" vallen op elkaar.

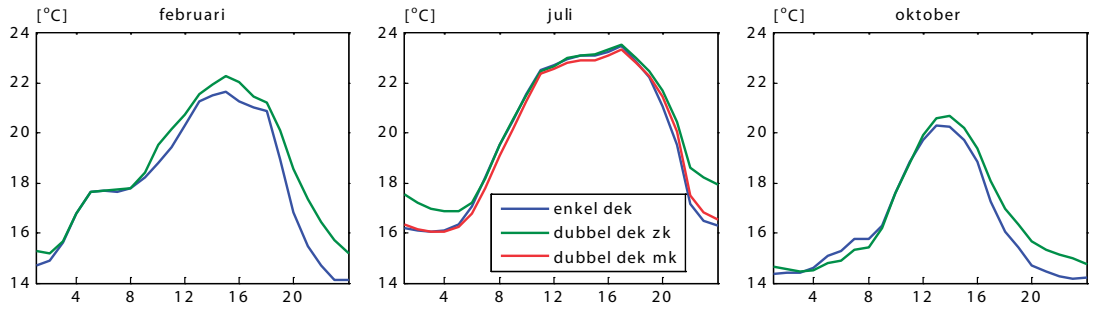


Figuur 28. PAR stralingssom van de oude teelt met twee schermen en een dubbeldek met één scherm

5.2 Kasklimaat tomaat

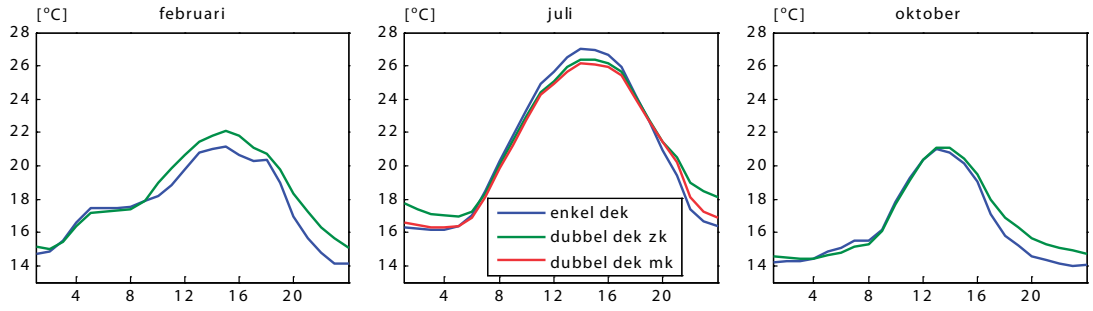
Op detail niveau zullen er andere maatregelen genomen worden, met iets andere effecten op het kasklimaat en consequenties voor het gewas dan bij komkommer. Zo wordt bijvoorbeeld bij tomaat, in tegenstelling tot komkommer, geen AC folie gebruikt, en zal er 's zomers in principe geen scherm worden dicht getrokken bij hoge instraling. Er is echter wel een scherm aanwezig dus het kan gebruikt worden als stuurmiddel.
Het kasklimaat zal door het dubbele glas veranderen. Niet alleen op absoluut niveau, maar ook dagpatronen zullen veranderen. Zo zal door de NIR werking van het kasdek de warmtebelasting van de kas wat afnemen, waardoor er minder geventileerd hoeft te worden. Daarnaast zal door de isolerende werking van het dek de kas langzamer afkoelen, anders gezegd in de avond zal er meer geventileerd moeten worden. Daarbij wordt tomaat veelal koeler geteeld dan komkommer. In het bijzonder moet aandacht besteed worden aan de voornacht, welke wellicht door middel van extra ventilatie bereikt moet worden omdat de natuurlijke afkoeling van de kas te langzaam kan gaan.

In de volgende figuren zal dit voor drie maanden (februari, juli en oktober) in een cyclisch gemiddelde worden verduidelijkt. De beschrijving geschiedt vanuit het dubbelglas gezien (tenzij anders vermeld). Bij tomaat zijn er voor de dubbeldek situatie twee varianten uitgewerkt; met en zonder koeling. De koeling was actief van mei tot en met augustus. Voor de maand juli zijn dan ook drie lijnen weergegeven, dubbeldek met koeling en dubbeldek zonder koeling. In de maanden februari en oktober werd de koeling niet gebruikt. In de enkeldek kas is in de zomer wel koeling gebruikt.



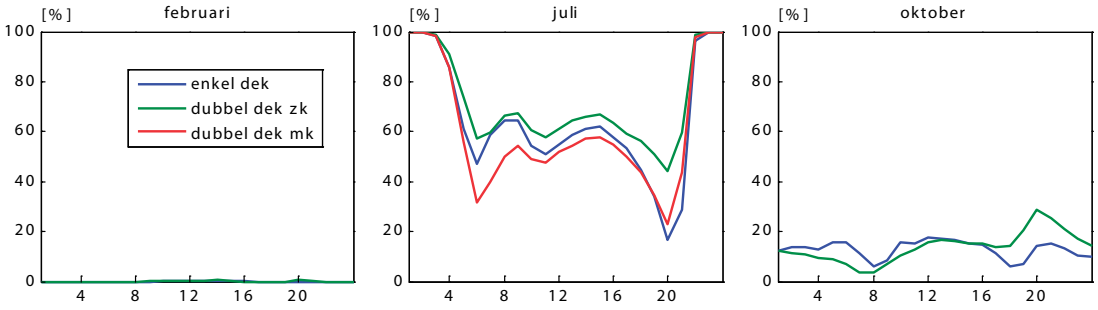
Figuur 29. Cylisch verloop van de kasluchttemperatuur gedurende 3 maanden in de teelt

De kasluchttemperatuur komt in de winter overdag hoger te liggen en de afkoeling van de kas gaat duidelijk langzamer. In de zomer is het verschil klein, maar hier wordt dan ook zowel in de enkeldek als in de dubbeldek kas met koeling gewerkt. Overdag is de koeling dankzij de NIR reflecterende werking in staat om de kas iets koeler te houden. In de nacht zorgt de koeling voor een één á anderhalve graad lagere kasluchttemperatuur. In de herfst gaat de kasluchttemperatuur overdag omhoog. Extra compensatie door meer ventileren, zie Figuur 29., had nog wel kunnen helpen. Vooral in de avond en nacht had veel meer gelucht kunnen worden.



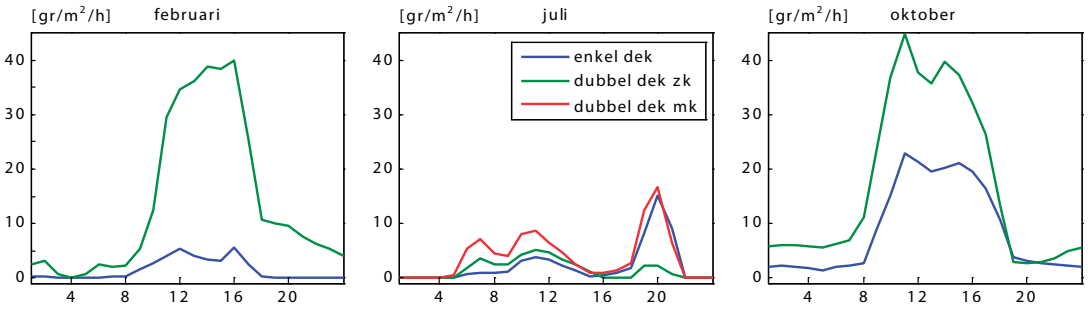
Figuur 30. Cylisch verloop van de gewastemperatuur gedurende 3 maanden in de teelt

De gewastemperatuur volgt de trend van de kasluchttemperatuur grotendeels. Alleen in de zomer blijft overdag de planttemperatuur in de dubbeldek kassen onder die van de enkeldek kas.



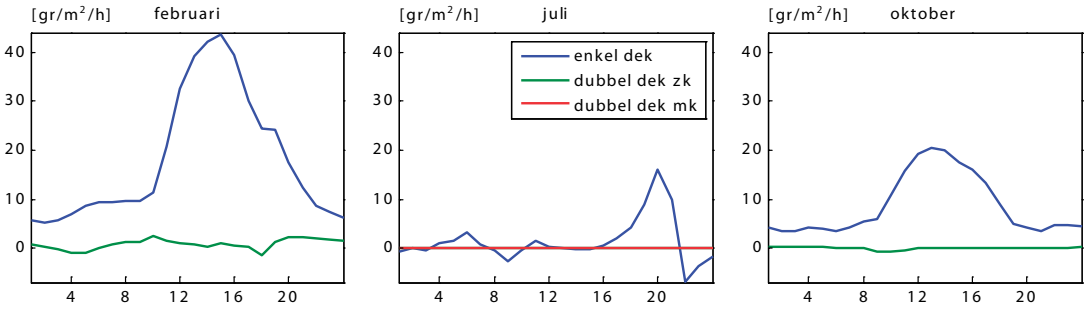
Figuur 31. Cylisch verloop van de raamstand gedurende 3 maanden in de teelt

In de winter wordt er nauwelijks geventileerd en in die gevallen dat er geventileerd wordt, gebeurt dit om de temperatuur te verlagen. De kasluchttemperatuur ligt dan wat hoger dus zal er ook eerder geventileerd worden dan bij een enkeldek. In de winter en herfst is er niet actief gekoeld. In de zomer is er 's nachts geen verschil, de ramen zijn volledig geopend. Temperatuurverschillen in kaslucht zoals in Figuur 29. getoond kunnen dan ook alleen nog worden verlaagd met behulp van actieve koeling. Overdag zal er door de NIR reflecterende werking in combinatie met de koeling minder geventileerd worden. De kas koelt langzamer af (zie ook kasluchttemperatuur Figuur 29.). In de herfst geldt dit ook, maar dan weet de controller in de avond en nacht ondanks meer ventilatie nog geen gelijke kasluchttemperatuur te realiseren. Hier had dan ook agressiever geventileerd moeten worden om een gelijke kasluchttemperatuur als in de enkeldek situatie te bereiken.



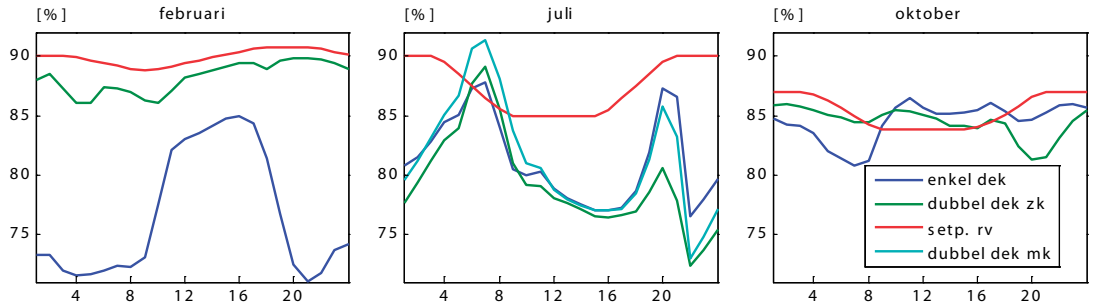
Figuur 32. Cylisch verloop van het mechanisch afgevoerde vocht gedurende 3 maanden in de teelt

In de winter is er een enorm verschil in vochtafvoer. Er moet al snel meer vocht worden afgevoerd. In de zomer is er door de koeling (ook wat ontvochtiging betreft) bijna geen verschil. Bij grote raamstandopeningen, meer dan 40%, wordt de ontvochtiging met buitenlucht uitgeschakeld. Bij vergelijk met Figuur 31., condensatie tegen kasdek, zal het dan ook niet bevreemden dat wat niet tegen het kasdek condenseert, grotendeels door de mechanische vochtafvoer wordt weggewerkt.



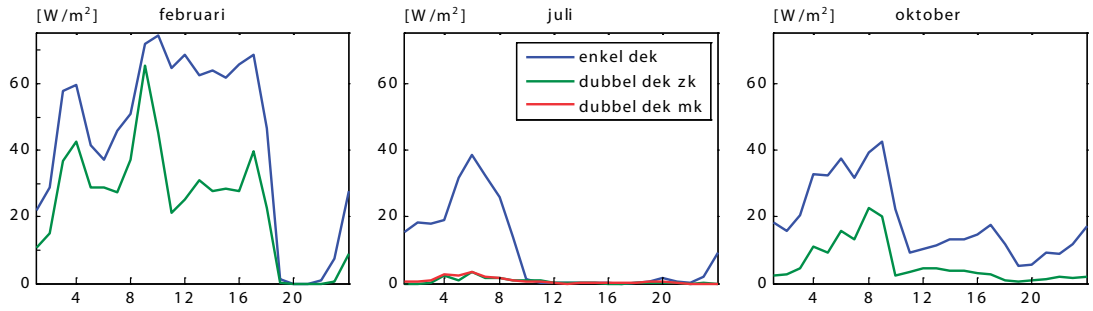
Figuur 33. Cylisch verloop van de condensatie tegen het kasdek gedurende 3 maanden in de teelt

De condensatie tegen het kasdek is vrijwel nihil. Een enkele keer is deze zelfs negatief, dat betekent dat de ruit op dat moment (gemiddeld gesproken) opdroogt. In de zomer is overdag de condensatie tegen het kasdek zo laag omdat de kaslucht vaak droog is (zie Figuur 34.) en de kas- en kasdektemperatuur juist hoog zijn. De dektemperatuur komt dan niet zo snel onder de dauwpunttemperatuur van de kaslucht.



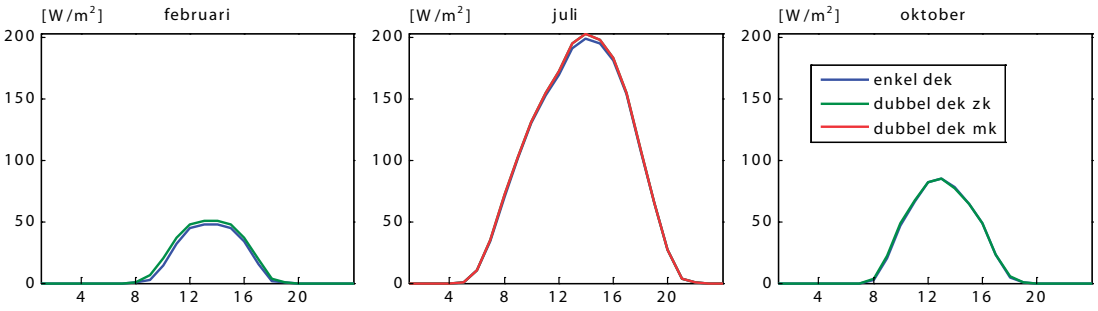
Figuur 34. Cylisch verloop van de kaslucht RV gedurende 3 maanden in de teelt

De kaslucht RV is in de winter gemiddeld onder het setpoint. Doordat er al veel ontvochtigd moet worden, komt de gerealiseerde RV al snel in de buurt van het setpoint. De verneveling wordt pas ingezet als de RV onder de 80% komt. De enkeldek kas is veel droger dan de dubbeldek kassen. Hierdoor wordt er in de enkeldek kas tussen teeltstart en medio maart wel eens verneveld terwijl in de dubbeldek kassen pas vanaf april wordt verneveld. In de zomer zijn de ochtend uren (te) vochtig. De mechanische ontvochtiging weet blijkbaar niet genoeg af te voeren. Dit is in dit geval ook enigszins een regelprobleem omdat de ontvochtiging pas aangaat als de raamstand onder de 40% komt, terwijl in die periode de ramen vaak nog (veel) meer dan 40% openstaan. In de zomer is er overdag weinig verschil doordat de verneveling de 80% probeert te handhaven.



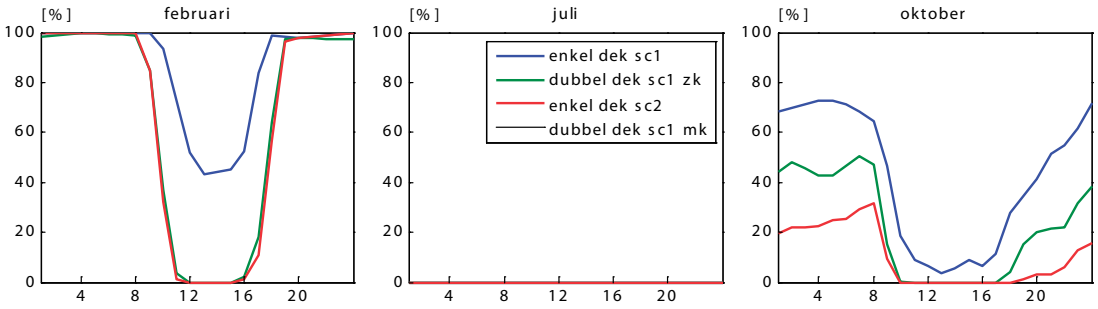
Figuur 35. Cylisch verloop van het afgegeven buisvermogen gedurende 3 maanden in de teelt

In de winter wordt er in deze configuratie met 1 scherm, welke overdag altijd geopend wordt toch nog veel energie bespaard omdat de referentie maar 2 schermen (t.o.v. de komkommer met drie schermen) heeft. Daar staat dan ook weinig tot geen lichtwinst tegenover (zie Figuur 36.). In de zomer komt het verbruik een stuk lager te liggen door een combinatie van energiebesparing door het kasdek en het weglaten van de minimumbuis. Het ontvochtigen neemt in de herfstperiode toe, wat een verhoging van de energie input met zich meebrengt. Ook zit in deze periode wel wat verschil in het schermgebruik, Figuur 38.



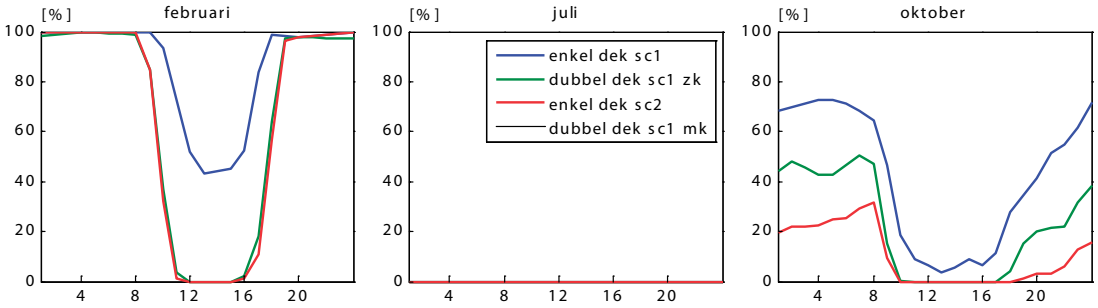
Figuur 36. Cylisch verloop van het PAR licht gedurende 3 maanden in de teelt

Ten opzichte van de enkeldeks kas is de transmissie van de dubbeldeks kas een fractie lager. Daar staat tegenover dat doordat er maar 1 scherm aanwezig is er een 3% lichtwinst (jaarrond) wordt gewonnen. Daardoor is de dubbeldek kas meestal net iets in het voordeel, ook omdat er nog wel wat verschil in schermgebruik is welke door de transmissie van het scherm (ca. 80%) het stralingsniveau op plantniveau behoorlijk kan beïnvloeden. In de herfst wordt overdag vrijwel niet geschermd, waar dit in februari nog wel het geval is. Op jaarbasis is er ca. 2% meer PAR licht op plantniveau dan bij de enkeldek kas. Het gebruik van de schermen en de schermregeling heeft wel grote invloed hierop.



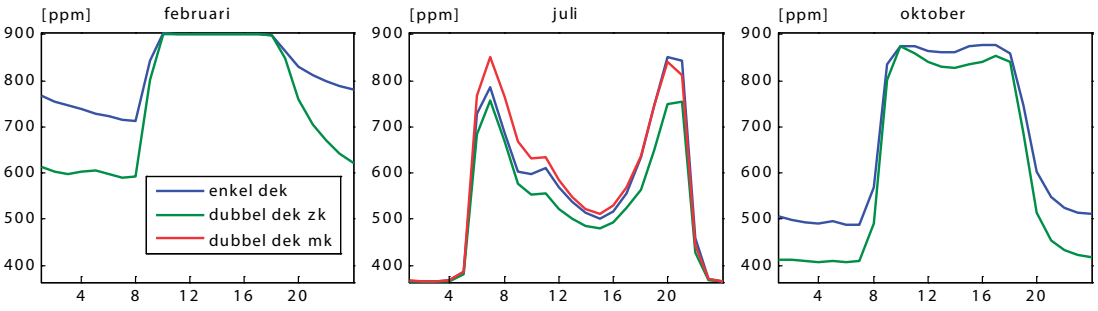
Figuur 37. Cylisch verloop van de verdamping gedurende 3 maanden in de teelt

De verdamping is sterk gerelateerd aan de hoeveelheid straling. De verschillen in verdamping worden naast de NIR reflectie in februari ook nog eens beïnvloed door het grote vochtverschil welke in de zomer en herfst veel kleiner is.



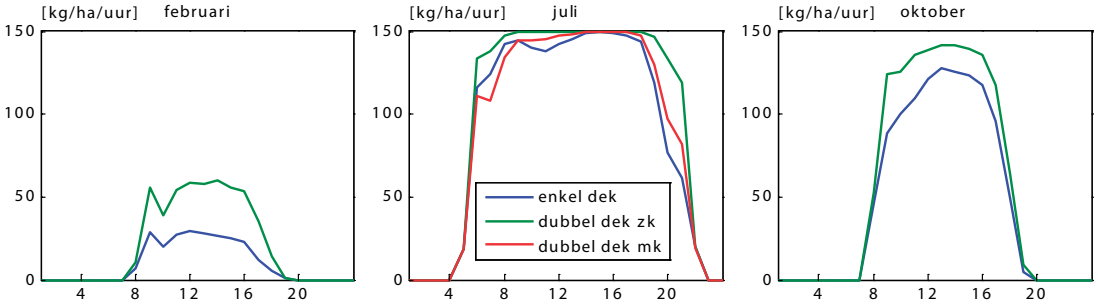
Figuur 38. Cylisch verloop van schermstand gedurende 3 maanden in de teelt

In de enkeldek kas, wordt het XLS 18 scherm altijd geopend omdat dit erg veel licht wegneemt. Het XLS 10 scherm is in februari slechts de helft van de tijd opengegaan in de enkeldek kas. Door aanpassing van de schermregeling in de dubbeldek kas, is het XLS 10 scherm daar altijd overdag opengegaan. Bij de dubbeldek kas wordt het scherm gesloten bij een globale straling van minder dan 25 W/m^2 en een buitentemperatuur lager dan 10 ^{o}C. In de zomer wordt het scherm (XLS 10) niet gebruikt voor schaduwwerking.



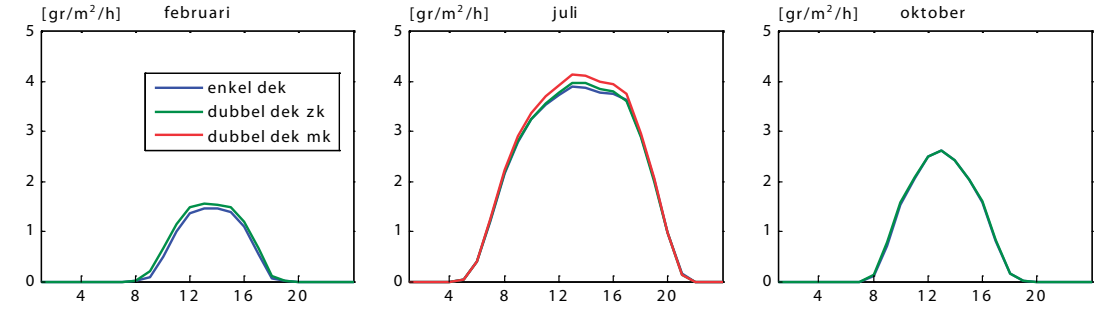
Figuur 39. Cylisch verloop van de CO_2 concentratie gedurende 3 maanden in de teelt

Naast licht is CO_2 een belangrijke groeifactor. Het CO_2-niveau wordt beïnvloed door het dek. De getoonde verschillen zijn vooral in de nacht duidelijk zichtbaar en worden veroorzaakt door verschillen in ventilatie. Er wordt meer geventileerd in de nacht, waardoor het CO_2-niveau in die perioden lager komt te liggen. Overdag probeert de controller het CO_2-niveau op de ingestelde 900 ppm te handhaven met zuivere CO_2 met een maximale flow van 150 kg/ha.uur. In de zomer als de maximum doseercapaciteit is bereikt (Figuur 40.), wordt uiteindelijk ook een hoger CO_2 niveau bereikt. Het effect van wel of niet koelen is hier ook duidelijk zichtbaar.



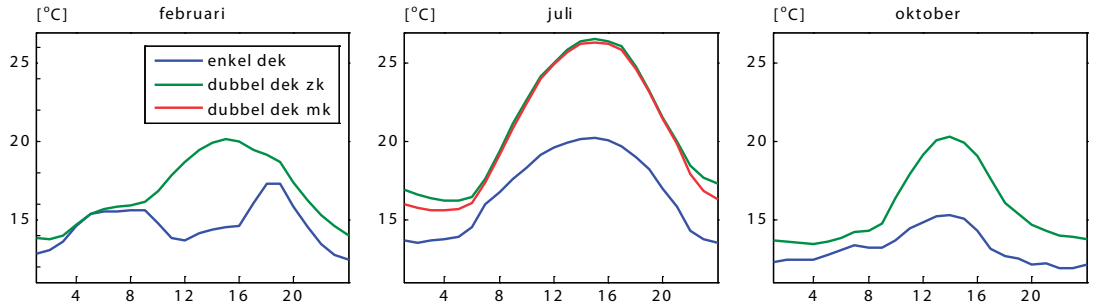
Figuur 40. Cylisch verloop van CO_2 dosering gedurende 3 maanden in de teelt

Door de hogere ventilatie (ontvochtiging) wordt er in de winter iets meer CO_2 gedoseerd. In de herfst moet er meer gedoseerd worden omdat er ook meer geventileerd wordt. De verschillen in de zomer zijn klein omdat de capaciteit de beperkende factor is. In gerealiseerd CO_2 niveau zijn er wel verschillen, zie Figuur 39.



Figuur 41. Cylisch verloop van de fotosynthesecapaciteit gedurende 3 maanden in de teelt

Omdat de verschillen in het gerealiseerde licht- en CO_2-niveau klein zijn, is het te verwachten dat de effecten op de fotosynthesecapaciteit gering zijn. Deze Figuur is dan ook vrijwel een kopie van Figuur 36. Ook hier is het verschil in fotosynthesecapaciteit ca. 2%. Het behoeft dan ook geen betoog dat ook hier geldt dat de schermregeling(en) en het wel of niet koelen hier een behoorlijke invloed op hebben.



Figuur 42. Cylisch verloop van de temperatuur van het uitstralingsoppervlak gedurende 3 maanden in de teelt

In Figuur 42. staat de temperatuur van het oppervlak waarmee de kop van het gewas via straling energie uitwisselt. Zodra er een scherm wordt gebruikt (in de enkeldeks kas is dat ‘s nachts vaak dubbel) is er weinig verschil. Zodra er geen scherm meer aanwezig is lopen de temperatuurverschillen sterk op. In de enkeldeks kas ‘ziet’ de kop van het gewas dan het koude dek, waar in de dubbeldekskas het gewas een warmer binnenblad van de dubbele ruit ‘ziet’. Hierdoor zal de kop van het gewas op deze momenten zeker warmer blijven. Hoeveel en welke invloed dit op het gewas heeft is onbekend en is dan ook een belangrijk onderdeel van de monitoring bij een kasproef. De koeling in de zomer heeft slechts een geringe invloed op deze koptemperatuur. In de nacht weet de koeling de kasluchttemperatuur enigszins te verlagen (Figuur 29.) wat ook hierop zijn effect heeft.

De figuren 29 tot en met 42 bestudeerd hebbende kunnen de volgende globale conclusies getrokken worden:

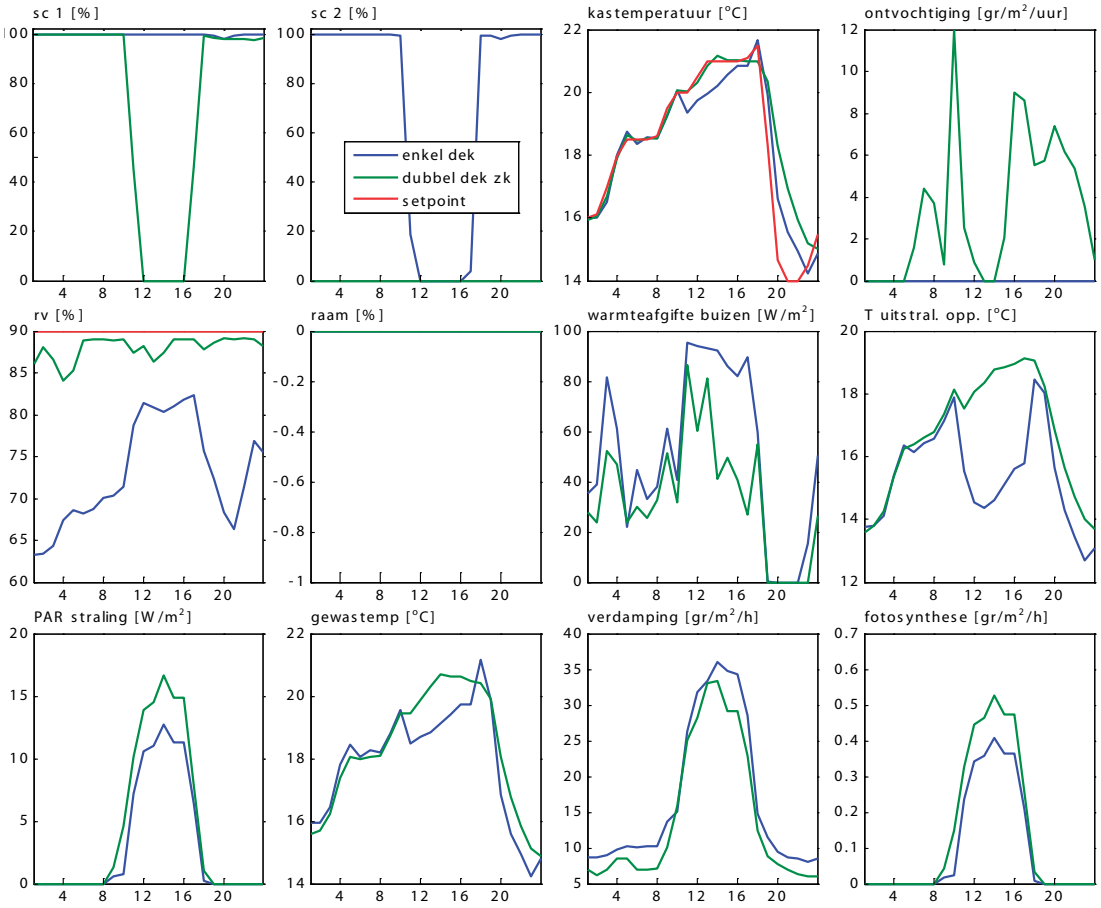
- De kasluchttemperatuur daalt langzamer en in de zomer blijft deze in de avond en nacht op een hoger niveau liggen dan bij de enkeldeks kas indien er niet actief gekoeld wordt.
- Doordat er minder schermen zijn, wordt het klimaat gematigder. Er zijn minder grote overgangen met bijvoorbeeld koudeval.
- De mismatch tussen beschikbare CO_2 en benodigde CO_2 neemt verder toe.
- Door het verhogen van de ontvochtigingscapaciteit zijn er minder uren overschrijding van het vochtsetpoint, maar de RV komt wel veel meer uren rondom het vochtsetpoint te liggen.
- De temperatuur van het uitstralingsoppervlak gaat toenemen, vooral als er geen scherm gesloten is. Wat de gevolgen hiervan op de koptemperatuur zijn, is onbekend. De koptemperatuur zal op deze momenten zeker hoger komen te liggen, maar hoeveel is onbekend. Door verdamping en convectie kan de koptemperatuur ook nog beïnvloed worden.

Om bovenstaande verder te verduidelijken, wordt op momenten waarop deze verschillen erg groot worden, de moeilijke momenten, op dagbasis ingezoomd. Dit geeft niet alleen een verduidelijking van het ‘probleem’ maar kan ook oplossingen aanreiken hoe hierop geanticipeerd kan worden. Dit wordt in de volgende paragraaf verder uitgewerkt.

5.3 Kasklimaat tomaat op kritische momenten

5.3.1 Donkere winterdag

In Figuur 41. is een donkere dag in februari (115 J/cm^2), met een buitentemperatuur tussen 1 en 8 ^{o}C, waarbij de nacht warm was en het overdag koud is geworden, gegeven.



Figuur 43. Detail klimaatfactoren op 10 februari, een donkere dag (rode lijnen zijn setpoints)

Opvallend is dat het vocht bij dubbelglas continue op een hoog niveau ligt. Een groot deel van de dag is de ontvochtigingsinstallatie dan ook ingeschakeld, zij het op een laag niveau. Het lage vochtniveau in de enkeldeks kas kan eenvoudig worden opgevangen met de vernevelingsinstallatie.
Het achterblijven van de kasluchttemperatuur tussen ca. 10:00 en 16:00, komt door de beperkte verwarmingscapaciteit. De gekozen maximum buistemperaturen zorgen daarvoor. Op dat moment is de warmteafgifte van de buizen ook veel hoger dan in de dubbeldek kas terwijl in de enkeldek kas altijd nog één scherm gesloten is. Dit is ook de belangrijkste reden dat de PAR straling op het gewas zo sterk verschilt.
Het vele licht op deze dag laat een zeer groot voordeel van het dubbeldek zien. Het verschil in temperatuur van het uitstralingsoppervlak wordt erg groot en wordt slechts ten dele veroorzaakt door de achterblijvende kasluchttemperatuur in de enkeldek kas.

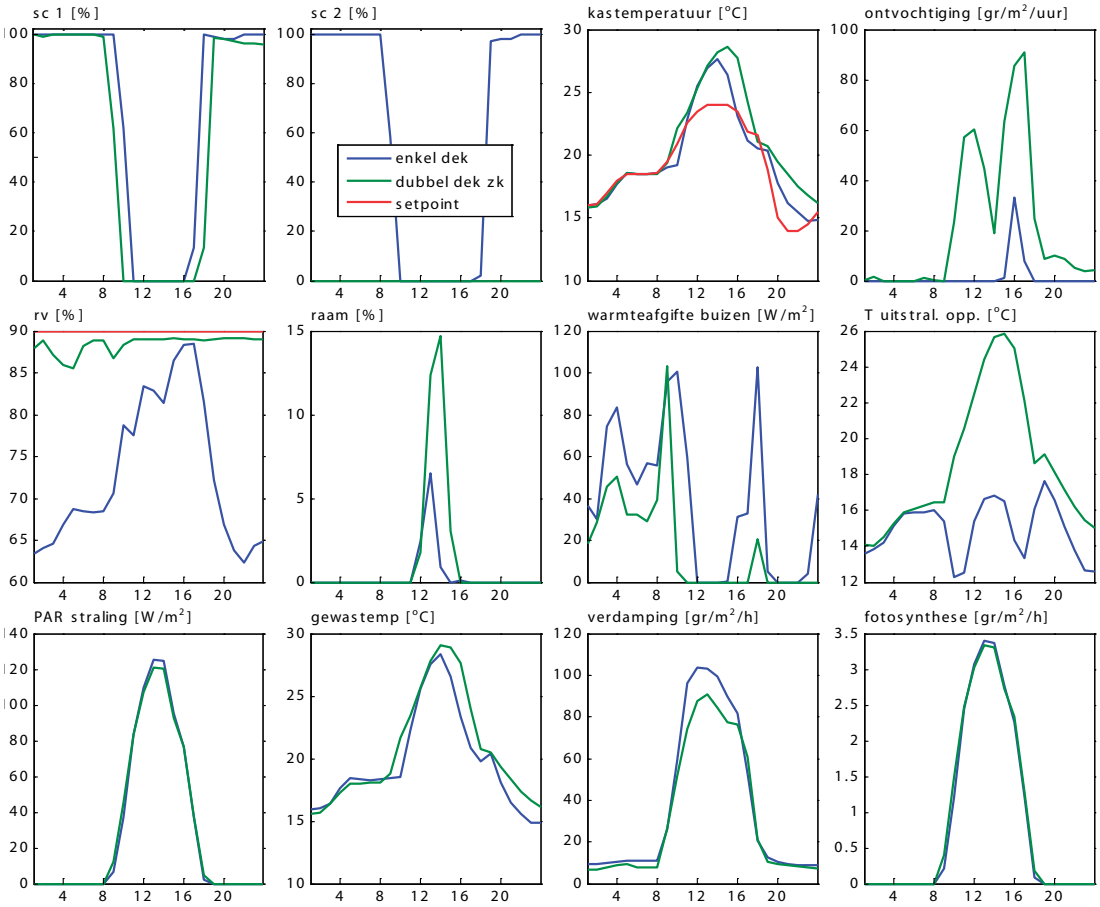
Samenvattend:

Belangrijk voordeel dubbelglas tov enkelglas			
Meer PAR licht in de kas			
Opvallende afwijking klimaat onder dubbelglas tov enkelglas	Risico	Oorzaak	Mogelijke oplossing
RV daalt overdag sterk	Planten blijven compacter: lagere LAI	Meer lek	Verneveling
Temperatuur loopt later op	Groei- en ontwikkelings-snelheid blijven achter	Beperkte verwarmings-capaciteit	Scherm sluiten

Aan de hand van de gepresenteerde analyse worden er geen niet-beheersbare problemen op dit type dagen voorzien.

5.3.2 Lichte koude winterdag

In Figuur 22. is een lichte dag in februari (903 J/cm²), met een buitentemperatuur tussen -1 en 4 °C, een echte mooie maar koude winterdag gegeven.



Figuur 44. Detail klimaatfactoren op 14 februari, een lichte dag (rode lijnen zijn setpoints)

Hoewel de kastemperaturen elkaar maar weinig ontlopen, is te zien dat de kas sneller opwarmt maar nog duidelijker is het tragere afkoelingsproces te zien. Vooral nadat de ramen zijn gesloten en het scherm (vrijwel) dicht is komen te liggen. Door het tragere afkoelingsproces blijft de kasluchttemperatuur (ver) verwijderd van het gewenste setpoint. De gewenste “voornacht” wordt dan ook niet of slechts in beperkte mate gerealiseerd. De hogere kas- en gewastemperatuur in de avond zou met agressiever luchten of het later sluiten van het scherm gelijkgetrokken kunnen worden. Of dit ook nodig is zou de stand van het gewas uit moeten wijzen. De ontvochtiging met buitenlucht is een groot deel van de dag in bedrijf. De luchtvochtigheid ligt dan ook dicht bij het setpoint. Door dat hoge luchtvochtigheidsniveau is het scherm in de dubbeldek kas in de avond op een (vocht) kier blijven staan. Een beter effect had bereikt kunnen worden door het scherm te sluiten en de ontvochtigingsunit iets harder te laten werken.

Doordat in de enkeldek kas overdag beide schermen geopend zijn, is er vrijwel geen verschil in de fotosynthesecapaciteit te verwachten. Deze dag is het verschil in PAR licht op het gewas minder dan een half procent. Het verschil in temperatuur van het uitstralingsoppervlak is overdag erg groot. In de enkeldek kas is de invloed van het openen en sluiten van het scherm hierop goed te herkennen.

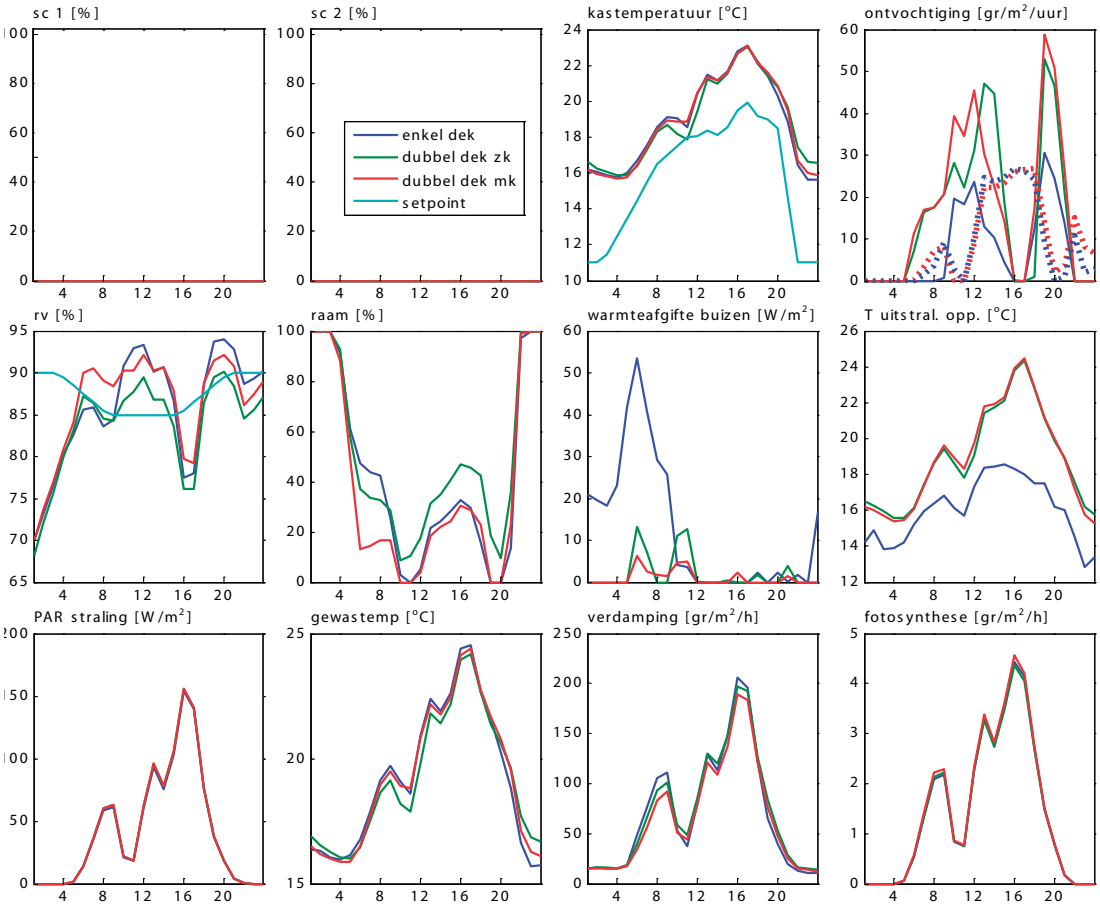
Samenvattend:

Belangrijk voordeel dubbelglas tov enkelglas			
Minder stookenergie nodig			
Opvallende afwijking klimaat onder dubbelglas tov enkelglas	Risico	Oorzaak	Mogelijke oplossing
Hogere kas- en gewastemperatuur in de namiddag en avond	Hogere ademhalings-snelheid, dunne kop	Minder uitstraling	Agressiever ventileren; later scherm sluiten
Veel hogere RV, vooral bij gesloten scherm	Zwakker gewas, bladrandjes, Botrytis	Minder condensatie tegen kasdek	Meer ontvochtigen met ontvochtigingsunit
Overdag veel hogere temperatuur uitstralingsoppervlak	Onbekend	Hogere temperatuur kasdek	Onduidelijk of aanpas-sing nodig is

Aan de hand van de gepresenteerde analyse worden er geen niet-beheersbare problemen op dit type dagen voorzien.

5.3.3 Donkere zomerdag

De gevolgen van een donkere dag in juli (1048 J/cm^2), met een buitentemperatuur variërend tussen 14 en 18 ^{o}C op het kasklimaat, is in Figuur 45. te zien.



Figuur 45. Detail klimaatfactoren op 7 juli, een donkere dag (rode lijnen zijn setpoints, stippellijn is ontvochtiging ten gevolge van de koeling, condensatie op het koelblok)

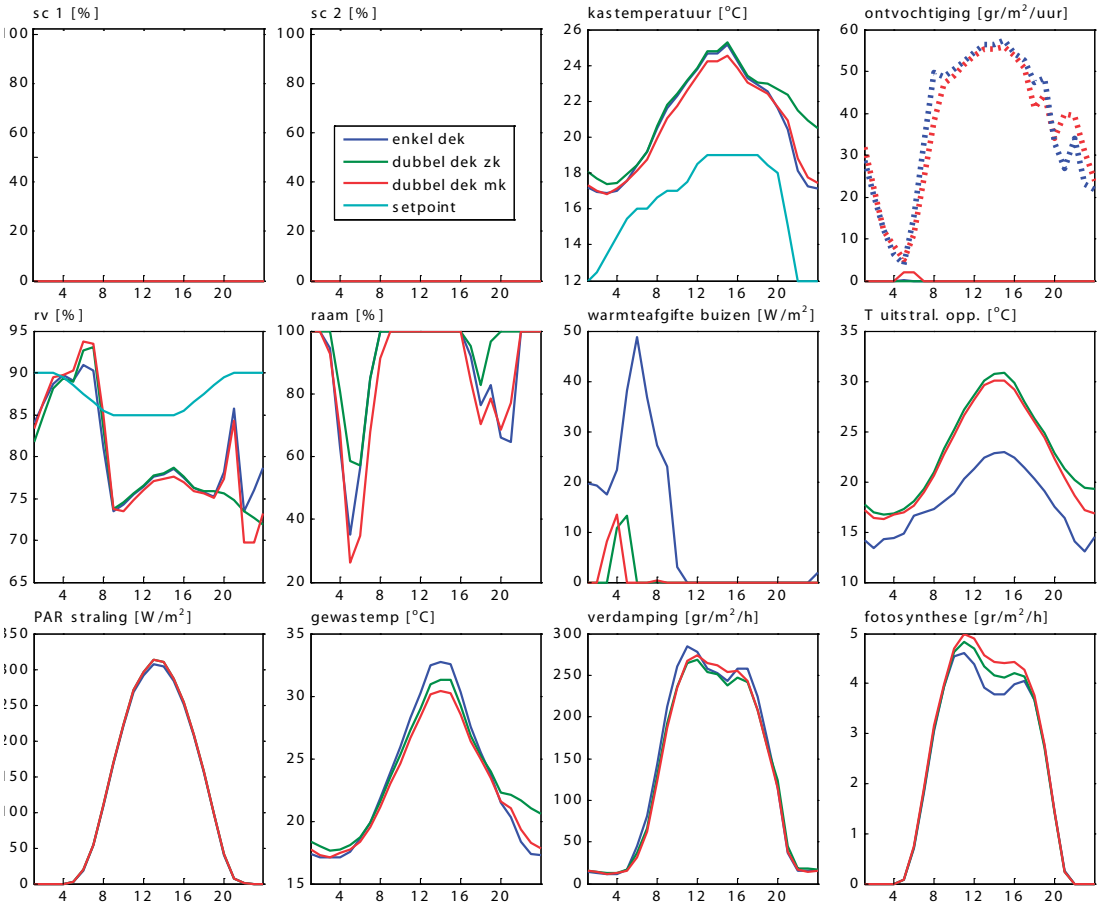
Het gerealiseerde klimaat is vrijwel vergelijkbaar. Vanuit dat oogpunt zijn er geen problemen te verwachten.
Wat opvalt is de enorme discrepantie tussen het setpoint verwarmen en de gerealiseerde kasluchttemperatuur in de avond en nacht. In de enkeldek kas zorgt de minimumbuistemperatuur hiervoor en in de dubbeldek kas is dit het gevolg van het langzamere afkoelingsproces van de kas en uiteraard de buitentemperatuur. Door die minimumbuis is de warmte input op deze dag in vergelijk met de dubbeldek kassen enorm en de energie-input door de buizen van de dubbeldek kassen zonder minimumbuis ligt slechts op ca. 10 á 15 % van de enkeldek kas. In het geval dat er gekoeld wordt, kan er op het koelblok ook ontvochtiging door middel van condensatie plaatsvinden. Deze flux is in de plot met ontvochtiging (rechts boven) als een rode stippellijn aangegeven. Doordat in de avond en nacht de ramen meer dan 40% geopend zijn, is de buitenluchtaanzuiging uitgeschakeld en wordt er op deze manier ook geen vocht afgevoerd.
Een groot deel van de dag is de ontvochtigingsinstallatie niet in staat voldoende vocht af te voeren. Hierbij wordt het beeld enigszins vervuild doordat de maximale capaciteit van de ontvochtigingsinstallatie in de dubbeldek kassen met 10 m^3/m^2.uur een dubbele capaciteit heeft van de enkeldek kas. Als langdurig op een hoger vochtniveau geteeld zou worden zou de capaciteit verder verhoogd moeten worden.

Samenvattend:

Belangrijk voordeel dubbelglas tov enkelglas			
Nauwelijks stookenergie nodig			
Opvallende afwijking klimaat onder dubbel-glas tov enkelglas	Risico	Oorzaak	Mogelijke oplossing
Met koeling hogere RV rond zon opkomst	Meer kans op condensatie en Botrytis	Geen condensatie aan het dek Nauwelijks warmte van buis	Hogere capaciteit ontvochtiging installeren; Meer ontvochtigen via ontvochtiginginstallatie of ventileren
(Waarschijnlijk) Andere temperatuur gradiënt	Koudere (tragere afrijping), vochtigere vruchten (groter risico op ziekten)	Geen stookwarmte onderin het gewas	Groeibuis

5.3.4 Lichte zomerdag

In Figuur 46. is een lichte dag in juni (2927 J/cm^2), met een buitentemperatuur tussen 16 en 24 ^{o}C, gegeven.



Figuur 46. Detail klimaatfactoren op 4 juli, een lichte dag (rode lijnen zijn setpoints, stippellijn is ontvochtiging ten gevolge van de koeling, condensatie op het koelblok)

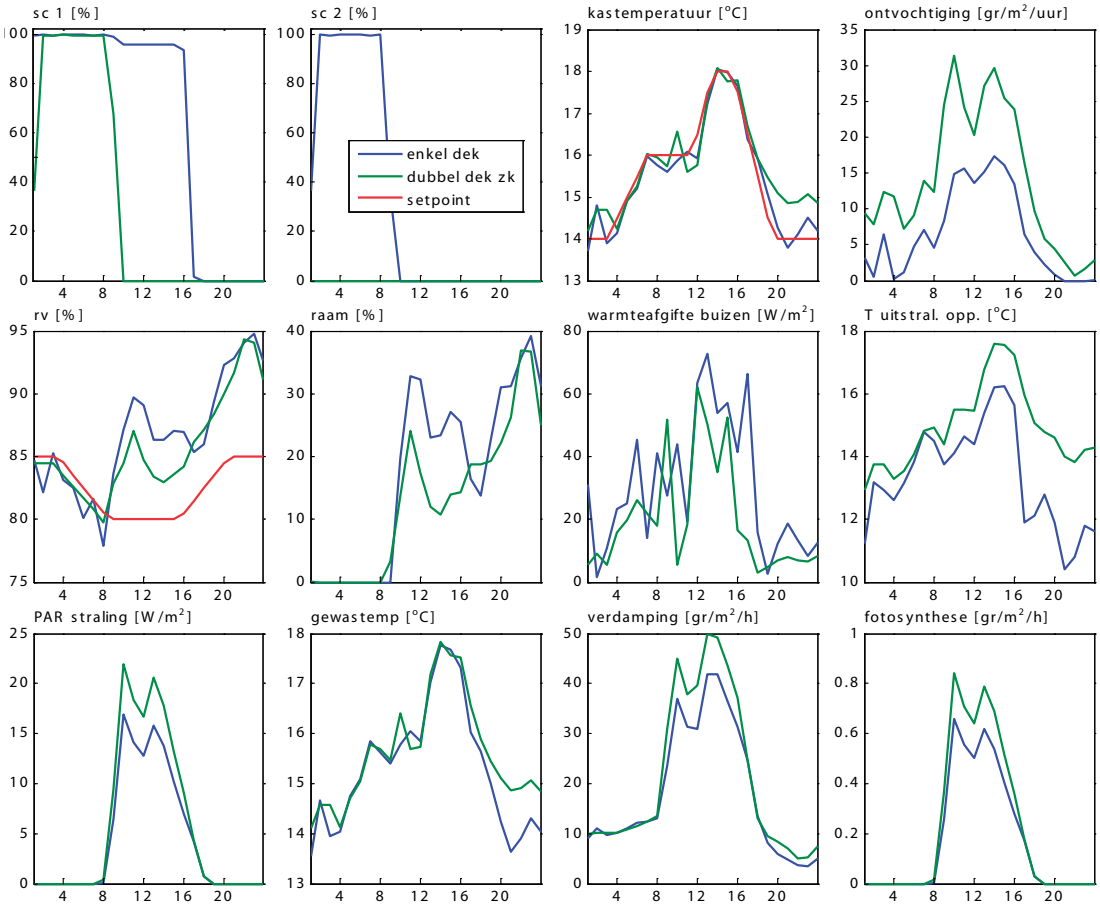
Deze dag laat het voordeel van de NIR werking van het kasdek goed zien, het wordt koeler, wat een voordeel zou zijn en met de actieve koeling kan de kasluchttemperatuur verder verlaagd worden. Dat drukt deze dag de etmaaltemperatuur met 1 °C van 21.4 naar 20.5 °C in de dubbeldek kas, respectievelijk zonder en met koeling. Om de gewas- en kastemperatuur in de avond en nacht te drukken als er geen koeling aanwezig is, zal er meer gelucht moeten worden, echter de luchtingscapaciteit wordt al volledig benut (ramen staan 100% open). Het vocht is rond zonopkomst wel een punt, welke aandacht behoeft. Op dat moment worden juist ook de ramen enigszins dichtgestuurd maar alleen de gekoelde dubbeldek kas komt tijdelijk onder de 40% raamstand zodat de ontvochtigingsinstallatie even in bedrijf komt, maar ook dan is deze capaciteit te beperkt. Het vocht had dus alleen met meer luchten en eventueel bijstoken afgevoerd kunnen worden. Daar waar mechanisch gekoeld wordt, wordt ook ontvochtigd. Het effect hiervan op de RV is zeer beperkt. De ontvochtigingsflux ligt op max. 55 gr/m^2.uur bij een verdampingsniveau van 275 gr/m^2.uur. Daarnaast is er nog een klein temperatuurverschil tussen de cases zodat het absoluut vochtniveau in de gekoelde afdeling met dubbeldek lager komt te liggen. Per m^3 ventilatielucht wordt er dus ook minder afgevoerd. Daarnaast is ook nog eens de luchtbevochtiging actief.

Samenvattend:

Belangrijke voordelen dubbelglas tov enkelglas			
Minder hoge gewastemperatuur overdag			
Hogere fotosynthese			
Opvallende afwijking klimaat onder dubbelglas tov enkelglas	Risico	Oorzaak	Mogelijke oplossing
Hogere RV rond zon op	Hoger riscico op condensatie en ziekten (botrytis)	Onvoldoende ontvochtigingscapaciteit	Meer ventileren en eventueel wat bijstoken;
Hogere nachttemperatuur	Vegetatieve actie. Bij hogere etmaal temperatuur ook meer onderhoudsademhaling met kans op zwakkere kop. Echter ook betere afvoer van de grotere hoeveelheid aan geproduceerde assimilaten: kan ook positief zijn	Minder uitstraling	Ventileren, maar ventilatie is op dat moment al grotendeels maximaal

5.3.5 Donkere najaarsdag

De gevolgen van een donkere dag in oktober (142 J/cm²), met een buitentemperatuur variërend tussen 8 en 14 °C op het kasklimaat, is in Figuur 47. te zien.



Figuur 47. Detail klimaatfactoren op 24 oktober, een donkere dag (rode lijnen zijn setpoints)

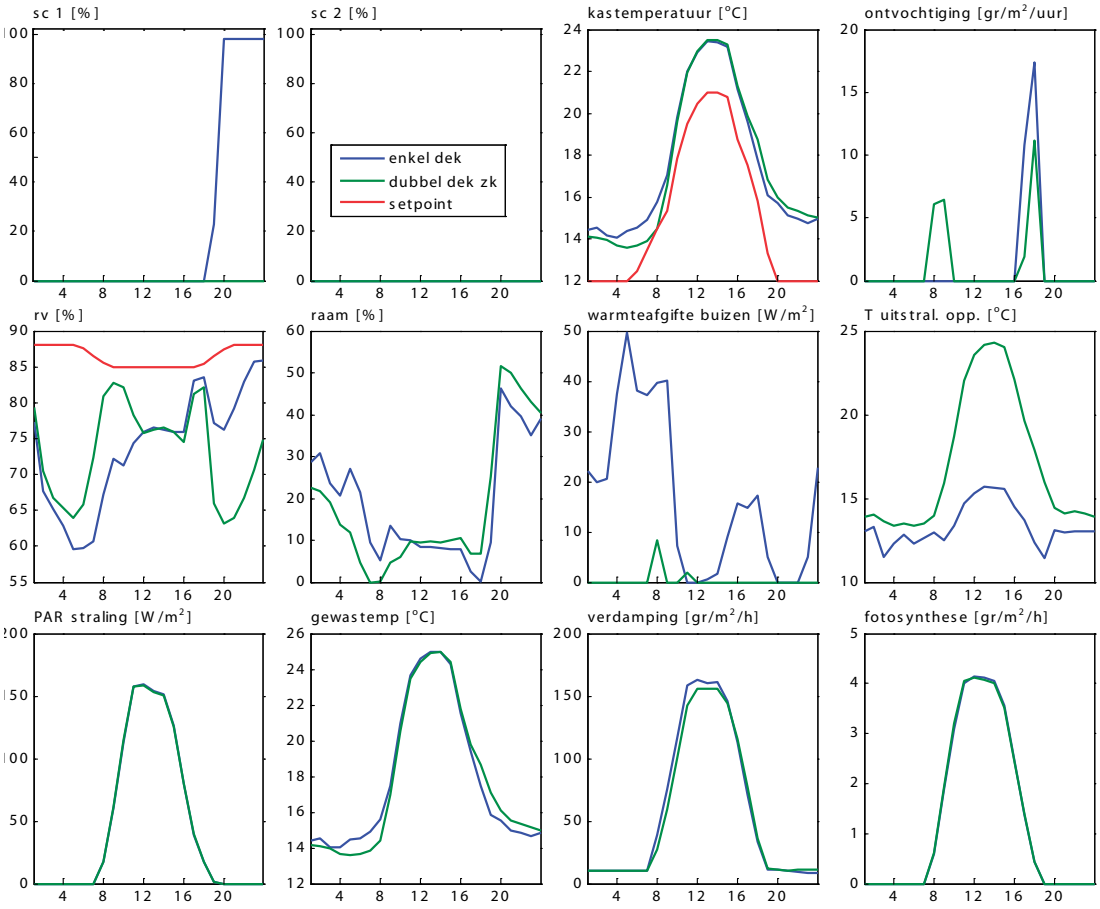
De hogere capaciteit van de buitenluchtaanzuiging onder dubbelglas is duidelijk in het gerealiseerde vochtniveau terug te vinden. De regelaar zorgt door middel van 1% voorregeling voor een 1% lagere dan toegelaten maximale vochtniveau. Het hoge vochtniveau na ca. 10 uur kan niet door de ontvochtigingsinstallatie worden afgevoerd door de buitenomstandigheden. De buitenluchtaanzuiging staat op volle capaciteit te draaien maar er wordt door het kleine verschil in absoluut vocht weinig tot geen vocht afgevoerd. Na 8 uur 's avonds is het absoluut vocht buiten zelfs hoger dan in de kas. Overdag is er ook nog eens erg weinig wind, waardoor de ventilatie beperkt is en er dus ook weinig vocht wordt afgevoerd. In deze situatie had alleen warmer gaan telen en of agressiever luchten effect gehad.
De schermregeling, het overdag sluiten van XLS 10 scherm in de enkeldek kas, lijkt niet echt positief uit te pakken voor het vochtniveau in de kas. Het heeft wel een negatief effect op de PAR straling op het gewas en daarmee op de fotosynthese capaciteit.

Samenvattend:

Belangrijk voordeel dubbelglas tov enkelglas			
Hogere fotosynthese			
Opvallende afwijking klimaat onder dubbelglas tov enkelglas	Risico	Oorzaak	Mogelijke oplossing
Hogere nachttemperatuur	Vegetatieve actie. Bij hogere etmaal temperatuur ook meer onderhoudsademhaling met kans op zwakkere kop.	Minder uitstraling	Ventileren

5.3.6 Lichte najaarsdag

In Figuur 48. is een lichte dag in oktober (1237 J/cm²), met een buitentemperatuur tussen 10 en 14 °C.



Figuur 48. Detail klimaatfactoren op 4 oktober, een lichte dag (rode lijnen zijn setpoints)

In de nacht en vroege ochtend is de enkeldek kas warmer dan de dubbeldek kas. Dit komt door de hoge warmte-input ten gevolge van de minimumbuistemperatuur. Voor het vocht was het in dit geval niet nodig. Deze dag wordt er meer dan 30 keer zoveel warmte in de enkeldek kas gebracht. Door de droge buitenlucht is zelfs de ontvochtiging installatie vrijwel niet benodigd.

Samenvattend:

Belangrijk voordeel dubbelglas tov enkelglas			
Minder stookenergie nodig			
Opvallende afwijking klimaat onder dubbelglas tov enkelglas	Risico	Oorzaak	Mogelijke oplossing
Hogere temperatuur uitstralingsoppervlak	Onbekend	Hogere temperatuur dek	Onduidelijk of aanpassing nodig is

6 Verwachte gewasreacties onder dubbelglas

6.1 Verwachte gewasreacties komkommer

Bij de uitkomsten van de simulaties van het kasklimaat voor teelt van komkommer onder dubbelglas wordt gewezen op veranderingen in het kasklimaat, die gevolgen hebben voor de groei van het gewas. Daarbij is aangegeven hoe in de klimaatregeling daarop gereageerd kan worden; ander gebruiken van schermen, agressievere ventilatieregeling, e.d.

De aanpassingen in de klimaatregeling zullen leiden tot een klimaat dat verschilt van de teelt onder enkelglas. De veranderingen in het kasklimaat in interactie met de ontwikkeling van de plant zijn zodanig dat dit verder gaat dan waarmee het model rekening kan houden. Het model geeft wel de belangrijkste veranderingen aan maar kan niet de plantkundige effecten voorspellen. Daarom wordt in dit hoofdstuk een beschrijving gegeven van de verwachte veranderingen en de gevolgen voor de groei en ontwikkeling van het komkommergewas op basis van expertkennis. Aan het eind van het hoofdstuk wordt ingegaan op de gevolgen voor tomaat.

Als we de veranderingen voor de plant benaderen via de klassieke indeling in de groeifactoren licht, water, CO_2 en temperatuur, zal blijken dat in de beschrijving steeds moet worden ingegaan op de samenhang tussen alle parameters en dat voor de verschillende omstandigheden in het jaar. Als voorbeeld de lichttransmissie van de kasdekken. In de winter heeft het dubbelglas een hogere lichttransmissie dan het enkelglas met vastfolie. Voor de groei van de plant is extra licht een gunstige factor. Bij meer fotosynthese ontwikkelt de plant sneller en zal de kastemperatuur iets hoger gehouden moeten worden om de juiste balans tussen fotosynthese en ontwikkeling te bereiken. Een hogere temperatuur leidt tot mogelijk meer vochtafvoer tegen het kasdek etc. Het alternatief is om een iets hogere plantdichtheid of plantbelasting van ontwikkelende vruchten aan te houden zodat de ontwikkeling in balans blijft met de fotosynthese.
In dit hoofdstuk wordt uitgegaan van een aantal verwachte veranderingen in het kasklimaat en hoe die de ontwikkeling van de plant beïnvloeden.

6.1.1 Configuratie verwarming

In de simulaties is uitgegaan van een normale buisrail verwarming en een dubbel groeibuisnet. Deze netten zijn afhankelijk van de ontwikkeling van het gewas als primair of secundair net ingezet. Bij de start van een teelt primair via de buisrail en na het bereiken van de gewasdraad primair via de groeibuis. Voor telen onder dubbelglas met een scherm is de warmtevraag lager dan bij enkelglas. Uit Het Nieuwe Telen is bekend dat minder warmtevraag leidt tot een lagere temperatuur onderin het gewas. Bij een normale teelt met enkelglas zonder hoog isolerende schermen moet de buistemperatuur regelmatig naar 60 °C worden gestuurd om voldoende warmteafgifte te hebben. Daardoor is de temperatuur onderin de kas hoger dan op de hoogte van de meetbox voor de temperatuurregeling die standaard bij de kop van het gewas hangt. Bij dubbelglas is de temperatuur onderin veel dichter bij de temperatuur van de regelmeetbox en zal, net als bij het nieuwe telen, de temperatuur rond de ontwikkelende vruchten onderin lager zijn, en dus de ontwikkeling trager verlopen. Hierop kan worden ingespeeld door de buisconfiguratie aan te passen of de teelttemperatuur te verhogen. Een groeibuis die zeer dicht onder de ontwikkelende vruchten kan worden gehangen aan beide zijden van een gewasrij kan bijdragen aan een versnelling van de vruchtontwikkeling. Een bijkomend voordeel van een groeibuis met geringere waterinhoud is dat dit systeem sneller op temperatuursveranderingen kan reageren dan het buisrailsysteem. Dit is bij de lage energievraag een betere uitrusting.

Een iets hogere teelttemperatuur heeft tot gevolg dat niet alleen de vruchtontwikkeling sneller gaat, maar ook de ontwikkeling van de top van de hoofdstengel of de ranken. Een hogere ontwikkelingssnelheid kan worden gecompenseerd door een ruimere plantafstand. Variatie in plant- en stengeldichtheid is een teeltmaatregel die onafhankelijk van de technische installatie kan worden toegepast en is een stuurfactor om adequaat op andere teeltomstandigheden te reageren. Een andere maatregel is om iets minder vruchten aan de stengel aan te houden. In de winter heb je onder dubbelglas echter ook meer licht dan bij de HNT onder enkelglas variant met drie schermen, dus je zou in deze periode in principe een hogere temperatuur aan kunnen houden zonder dat de plantdichtheid veranderd hoeft te worden.

Een tweede effect van de lagere buistemperaturen is dat voor convectieve warmteoverdracht van buis naar kaslucht naar kasdek minder luchtbeweging ontstaat. Er wordt minder warmte getransporteerd. De daling van de luchtbeweging kan zodanig zijn dat ook het vochttransport door de lucht tussen het gewas afneemt. Dit zou een wat gevoeliger gewas voor schimmelziektes kunnen geven (botrytis en mycosphaerella).

6.1.2 Koptemperatuur

De temperatuur van een plant wordt bepaald door een complex proces van energiestromen. De instraling van de zon, de uitstraling naar de omgeving, verdamping, warmtestraling van de verwarming, convectieve warmteoverdracht via de lucht. Voor de groeisnelheid van de plant is vooral de temperatuur van de kop belangrijk.

De verwachting is dat de koptemperatuur in de winter vooral wordt bepaald door de ruimtetemperatuur en beïnvloed wordt door de mate van uitstraling. Omdat de dektemperatuur van de onderkant van dubbelglas (het binnenblad) hoger is dan van enkelglas zal de koptemperatuur fractioneel hoger zijn dan bij enkelglas. Plantkundig gezien is dat in de winter gunstig.
In de zomer ‘s nachts de ε coating uitstraling naar de hemel tegen, en is het dus de verwachting dat de koptemperatuur (fractioneel) hoger blijft dan onder een enkeldek kas.

6.1.3 Verdamping

Bij energiezuinig telen is de verdamping van een gewas lager dan bij traditionele teeltmethoden. De belangrijkste vraag is of de verdamping zó laag kan worden dat er te weinig nutriënten kunnen worden opgenomen. Tot nu toe is nog geen aanwijzing gevonden dat de verdamping over het algemeen te laag is om een goede nutriëntenopname te bereiken. Wel wordt het fenomeen broeikop gekoppeld aan te weinig Ca^{2+}-opname door te weinig verdamping van de kop. Dit geldt met name voor een hogedraadsysteem. De verdamping van de kop kan worden bevorderd door extra verwarming vlak bij de kop te hebben of de luchtbeweging boven het gewas te stimuleren. Dit laatste kan door verticale ventilatie te introduceren. De verdamping van de kop van de plant is een punt van aandacht voor telen onder dubbelglas. Een andere mogelijkheid is de keuze voor een ras dat weinig gevoelig is voor broeikoppen.

6.1.4 Luchtbeweging

Bij de verwarming is al genoemd dat de mate van luchtbeweging in de kas zal afnemen. Dit geldt in de sterkste mate als de luchtramen gesloten zijn en ook het scherm dicht is. Er is dan weinig luchtbeweging voor warmtetransport nodig. Hierdoor zal het transport van vocht van tussen het gewas naar de omgeving en het kasdek verminderen. Dit kan plaatselijk leiden tot verhoogde vochtigheid in het gewas met risico’s voor ontkieming van botrytis- en mycosphaerellasporen. Bij het dubbelglas wordt er wel meer ontvochtigd en luchtbeweging gecreëerd middels de mechanische ventilatie die bovendien een grotere capaciteit heeft. Dit kan mogelijk de mindere luchtbeweging als gevolg van de verminderde warmte vraag bij het dubbeldek compenseren. Een aanpak die ook bij het nieuwe telen is bepleit is om naast de luchtslurf onder de goot een luchtslurf tussen het gewas te hangen, zoals nu toegepast bij Alstroemeria en Matricaria: dit kan de luchtbeweging in het gewas bevorderen. Over de beste methode van luchtcirculatie is nog wel discussie.

6.1.5 Temperatuurverloop binnen 24 uur

Bij telen onder dubbelglas zal de temperatuur in de morgen snel kunnen stijgen en in de avond langzaam dalen als de ventilatieregeling gelijk blijft. Een snelle stijging van temperatuur heeft als risicofactor het condenseren van vocht op vruchten, vruchtbeginsels en stengels. Om dit risico te verkleinen moet de stijgsnelheid bepaald worden aan de hand van een condensatiemodel voor de vrucht. Daarnaast kan de mechanische ontvochtiging voor het opwarmen van de kas al een hoger vochtdeficit realiseren, zodat de kans op natslag wordt verkleind.

Het langzaam dalen in de avond kan in de meeste situaties worden opgevangen door sterker te ventileren. Dit zal in de zomermaanden in gebieden langs de kust eenvoudiger zijn dan meer in het binnenland. Gewaskundig heeft een te trage afkoeling in de avond een meer vegetatieve gewasstand tot gevolg. In de praktijk kan een teler hierop met teeltmaatregelen inspelen, door bijvoorbeeld een wat grotere DIF in te stellen en deze ook te realiseren. Daarnaast is hierbij sprake van duidelijke rasverschillen. Selectie van rassen die hiervoor minder gevoelig zijn is een langere weg maar zeker realistisch. Op dit moment zijn er al rassen die behoorlijk generatief zijn.

Bij telen onder dubbelglas blijkt de mechanische ventilatie vaker te worden ingezet en ook dit kan op de temperatuur in de avond een verlagend effect hebben.

6.1.6 Vochtbeheersing

Een luchtvochtigheid boven de 90% bij een temperatuur van 20 ^{o}C verhoogt de kans op aantasting door botrytis en mycosphaerella.
Voor bestrijding van meeldauw wordt frequent een gewasbeschermingshandeling uitgevoerd. Het vocht dat daarbij in de kas komt zal minder tegen dubbelglas condenseren. Dit zal bij spuiten van het gewas een groter probleem zijn dan bij foggen of LVM. Bij spuiten gaat het om ongeveer 100g/m^2 dat moet worden verdampt.
Om de risico's te verlagen is het gewenst om op een lagere luchtvochtigheid te regelen. In plaats van op een vochtdeficit van 1.7 g/m^3 zoals bij Het Nieuwe Telen kan de inzet zijn om op 2 g/m^3 te regelen. Dit zal gevolgen hebben voor de energie die nodig is voor de ontvochtiging en voor de verdamping van de plant, die hierdoor gestimuleerd wordt.

Een hoge luchtvochtigheid is voor de ontwikkeling van een jong komkommergewas gunstig. De planten zullen dan eerder een bepaald bladoppervlak hebben bereikt en daarom meer licht op kunnen vangen. Het feit dat er geen vocht tegen dubbelglas condenseert is gunstig om bij de start van een teelt snel een voldoende hoge luchtvochtigheid te realiseren.

Zoals bij de simulaties bleek, zal er weinig condensatie van vocht tegen het kasdek plaatsvinden. Dit betekent dat alle vocht via ventilatie -mechanisch of luchtramen- de kas moet verlaten. Plantkundig maakt dit geen verschil, met alleen de opmerking dat minder condensatie tegen het dubbelglas ook minder druppels op het gewas zou kunnen betekenen, wat een gunstig effect is.
De vochtbeheersing in het najaar als de natuurlijke nachttemperatuur relatief hoog en ook de vochtigheid buiten hoog is, zal onder dubbelglas niet veel anders zijn dan onder enkelglas. In beide situaties moet de kastemperatuur omhoog om de relatieve vochtigheid te verlagen. Echter bij de enkeldek kas zal er vrijwel altijd nog sprake zijn van enige condensatie, dus vochtafvoer, tegen het dek.

6.2 Verwachte gewasreacties tomaat

Tomaat verschilt van komkommer in dit opzicht dat de kop van de plant altijd het bovenste deel van het gewas vormt en de vruchten altijd onderin hangen. Maar de principes die voor komkommer en tomaat gelden als het gaat over telen onder dubbelglas, zullen sterke overeenkomst met elkaar vertonen. In plaats van broeikoppen komen er bij tomaat bladrandjes voor. De gevoeligheid hiervoor wordt hoogstwaarschijnlijk gestimuleerd door hoge luchtvochtigheden. Verder zal een hoge luchtvochtigheid bij een tomaat eerder nadelig werken dan bij een komkommer. De RV setpoint wordt bij tomaat, met uitzondering van het eerste gedeelte van de teelt, dan ook lager ingesteld en er zal eerder ontvochtigd moeten worden.
De tragere afkoeling aan het einde van de dag en nacht onder dubbelglas lijkt in het algemeen nadeliger bij tomaat dan bij komkommer, mede omdat bij tomaat lagere (nacht)temperaturen worden aangehouden. Bij cherrytomaten wordt bewust een sterke DIF ingesteld om meer splijttrossen te verkrijgen. Dat zal onder dubbelglas minder goed te realiseren zijn. Om de temperatuur te drukken zal er vooral in het voor- en najaar in de avonduren agressiever geventileerd moeten worden. Het zou kunnen dat er in het voorjaar door het inluchten van koele, drogere lucht een grotere kans op bladrandjes in het zwakkere blad van de tomaten ontstaat. Vooral voor bedrijven in het binnenland is mechanische koeling bij warm weer ook een mogelijkheid om de kastemperatuur aan het eind van de dag en avond omlaag te brengen.

Bij tomaat zullen de grotere verticale temperatuurverschillen onder dubbelglas meer consequenties hebben dan bij komkommer. Bij dit laatstgenoemde gewas hangen de vruchten bij het meest toegepaste paraplusysteem het grootste gedeelte van de teelt immers meer bovenin.

Uit de modelberekeningen blijkt dat de temperatuur van het uitstralingsoppervlak met name overdag onder dubbelglas duidelijk hoger is dan onder enkelglas. Wat voor consequenties dit heeft voor het gewas is nog onduidelijk en zal in proeven moeten worden nagegaan.

De meeste nadelen van dubbelglas bij tomaat lijken evenals bij komkommer, oplosbaar.

6.3 Samenvattend

Hierboven is geschetst wat verwacht mag worden als komkommer en tomaat onder dubbelglas met weinig gebruik van energie wordt geteeld. Duidelijk mag zijn dat telen onder dubbelglas als een goed realiseerbare aanpak wordt gezien en dat het extra licht dat verwacht wordt bij met name komkommer gunstig is voor de groei. Belangrijkste verandering wordt verwacht in het microklimaat rond de kop van de plant, de ontwikkeling van de vrucht en de luchtbeweging in het gewas. De verandering in het microklimaat rond de kop kent een sterke wisselwerking tussen kop(plant) en de omgeving. Daarom is onderzoek naar telen onder dubbelglas zeker nodig.

6.4 Aanbeveling

Voor een teelt volgens “Het Nieuwe Telen” onder dubbelglas zouden er behalve een ander dek ook aanpassingen in het teeltsysteem gedaan moeten worden. De belangrijkste zijn extra groeibuizen en verticale ventilatoren. Om het microklimaat goed te volgen, zijn op meerdere plaatsen in de afdeling sensoren nodig voor temperatuur, zowel ruimte- als planttemperatuur en vocht.
Rondom noodzakelijke luchtbeweging in combinatie met het micro-klimaat, zijn nog veel vragen onbeantwoord. Ook bij Het Nieuwe Telen is de neiging aanwezig om terug te grijpen op inzetten van minimumbuis. Dit onder het mom van activering van de plant. Dat zou ook door luchtbeweging met ventilatoren bereikt kunnen worden, dat kost veel minder energie. Probleem is dat niet precies bekend is hoeveel luchtbeweging, verdamping of etc. er nodig is om de groei niet te belemmeren. Ook bij een verticaal temperatuur profiel is niet precies bekend hoe dat profiel er idealiter uit moet zien. Hier ligt nog een onontgonnen gebied, waarvoor een meer fundamentele studie nodig is.

7 Effecten van diffuusglas

7.1 Achtergrond

In eerdere teeltproeven bij Wageningen UR Glastuinbouw is aangetoond dat diffuusglas de opbrengst van komkommer verhoogd. In een aprilplanting in 2006 is helder kasdekmateriaal (glas + helder folie) vergeleken met diffuus kasdekmateriaal (glas + diffuus folie) met een lichtverstrooiing of haze van 52% en 4% lichtverlies. Het diffuse kasdekmateriaal verhoogde de kg- en stuksproductie met respectievelijk ruim 4 en bijna 8% (Hemming et al, 2007).
In proeven uitgevoerd in 2008 werden twee types glas onderzocht en vergeleken met een referentie helder tuinbouwglas. De twee types glas waren glas met lage lichtverstrooiing of haze (27%), zonder lichttransmissieverlies en een glas met hoge haze (74%) en 3% lichtverlies. De resultaten van de uitgevoerde proeven kunnen als volgt worden samengevat (Dueck *et al.*, 2009).



Figuur 49. Komkommerproef diffuusglas met effect van haze factor op het glas

7.2 Effect op energie-efficiency

Het toepassen van diffuusglas leidt in principe niet tot een daling in het absolute energiegebruik, er is immers geen sprake van een betere isolatie. Het energiegerbuik van Het Nieuwe Telen onder diffuusglas zal dus naar verwachting niet anders zijn dan onder standaard enkelglas. In Tabel 4. staat het berekende energiegebruik van komkommer- en tomatenteelten onder standaard helder glas (referentie en Het Nieuwe Teken) en diffuusglas (Het Nieuwe Telen).

Tabel 4. Energiegebruik komkommer en tomaat onder standaard en diffuusglas

	komkommer			tomaat		
	referentie	HNT	diffuus	referentie	HNT	diffuus
Energieverbruik						
- Warmte [m^3/m^2]	40	25	25	40	25	25
- Elektriciteit [kWh/m^2]	7	13	13	7	14	14
- CO_2 verbruik1) [kg/m^2]	36	37	37	46	47	47
Totaal verbruik in m^3 a.e./m^2*jaar	42	29	29	42	29	29
Productie [kg/m^2]	75	75	79	68	68	72
Energie efficiency [m^3 a.e. /kg]	0.56	0.39	0.37	0.62	0.43	0.40

1) Alle CO_2 vraag zuiver ingevuld

7.2.1 Energie-efficiency komkommerteelt

In de proef Het Nieuwe Telen komkommer in het IC in 2009 werd een gewasopbrengst van 75 kg/m^2 per jaar gehaald. Gebaseerd op de resultaten uit de kasproef met diffuusglas op komkommer is daarom berekend, dat Het Nieuwe Telen onder diffuusglas met een hoge haze bij komkommer naar schatting zal leiden tot een gewasopbrengst van ca. 79 kg per jaar.
In de proef Het Nieuwe Telen komkommer in het IC in 2009 was het energiegebruik 25 m^3/m^2 gas per jaar en 6 kWh/m^2 extra elektra. De energie-efficiency was 0.39 m^3 a.e. per kg komkommer. Het toepassen van diffuusglas leidt in principe niet tot een daling in het absolute energiegebruik, er is immers geen sprake van een betere isolatie. Het leidt wel tot een verhoging van de energie-efficiency. Het is daarom aannemelijk dat Het Nieuwe Telen onder diffuusglas (met een hoge haze en beperkt lichtverlies) bij komkommer zal leiden tot een energie-efficiency van ca. 0.37 m^3 a.e. per kg komkommer.

7.2.2 Energie-efficiency tomatenteelt

In de proef Het Nieuwe Telen tomaat in het IC in 2009 werd een gewasopbrengst van 68 kg/m^2 per jaar gehaald. De energie-efficiency was 0.43 m^3 a.e. per kg tomaat.
In de diffuus proeven met komkommer werd een meeropbrengst van 9-10% bereikt in kg/m^2 bij toepassing van een diffuus kasdek met een hoge lichtverstrooiing (74% haze en 3% lichtverlies). In een praktijkproef bij Pieter van Gog leidde de toepassing van een diffuus kasdek met een hoge haze en een lichtverlies van 14% t.o.v. de in de proef aanwezige referentie tot een meeropbrengst van 2-3 kg/m^2 in het najaar (Van Telgen, 2009). Het is aannemelijk dat bij tomaat bij toepassing van een diffuus kasdek met hoge haze en beperkt lichtverlies (vergelijkbaar met het kasdek uit de komkommer proeven), 5-10% meer opbrengst kan worden bereikt. Als dit wordt verondersteld, zal de opbrengst van tomaat onder een dit type glas stijgen naar ca. 72 kg/m^2 per jaar en de energie-efficiency zal verbeteren naar 0.40 m^3 a.e. per kg tomaat.

7.3 Effecten diffuusglas op kasklimaat

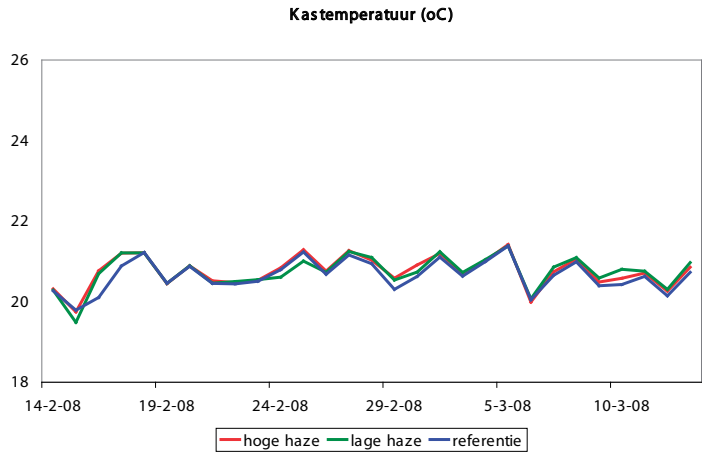
In 2008 zijn bij Wageningen UR in Bleiswijk komkommers geteeld onder twee verschillende soorten diffuusglas en standaard glas. Er is geteeld in een voorjaarsteelt van 14 februari tot 15 juli en een najaarsteelt van 23 juli tot 15 november. De effecten op de het kasklimaat effecten kastemperatuur, relatieve luchtvochtigheid en CO_2-concentratie (overdag) zijn bestudeerd (Dueck *et al.*, 2009). Samengevat staan deze weergegeven in de onderstaande Tabel.

Tabel 5. Gerealiseerd kasklimaat in de proef met diffuus glas bij komkommer in 2008. Per teelt het gemiddelde klimaat per etmaal van twee afdelingen per behandeling

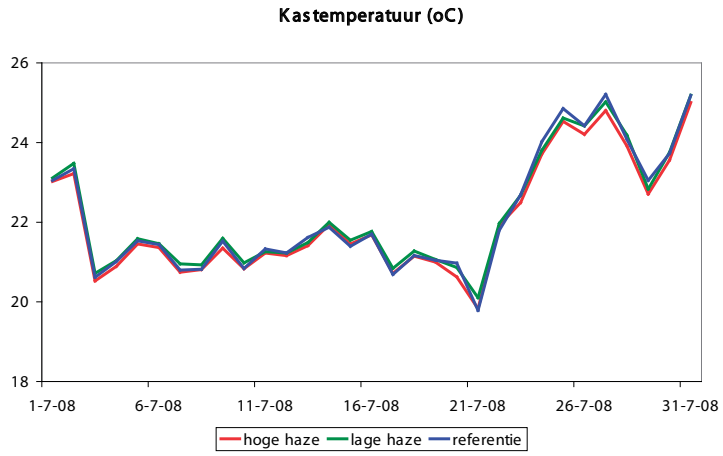
	Temperatuur [ºC]		Relatieve luchtvochtigheid [%]		CO_2 overdag [ppm]	
	voorjaars teelt	najaars teelt	voorjaars teelt	najaars teelt	voorjaars teelt	najaars teelt
Referentie	21.2	21.0	80	82	776	813
Laag diffuus	21.3	21.2	81	82	749	776
Hoog diffuus	21.2	20.9	82	82	752	780

7.3.1 Kastemperatuur

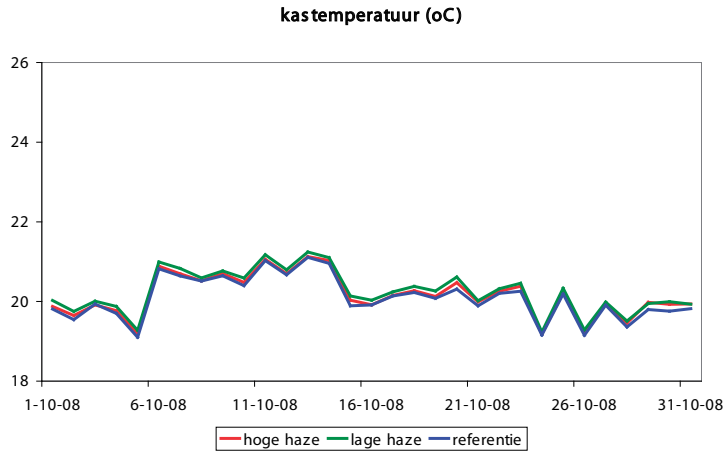
Zoals uit Tabel 5. blijkt, verschilden de gerealiseerde kastemperaturen nauwelijks tussen de verschillende soorten diffuusglas en het standaard glas. Uiteraard kan er een verschil zijn tussen het gemiddeld gerealiseerde klimaat, en het verloop van het klimaat door de tijd. Om een indruk te krijgen van het verloop van het kasklimaat in de tijd, staan hieronder een aantal figuren weergegeven.



Figuur 50. Verloop van de kastemperatuur in de periode medio februari - medio maart in de diffuus licht behandelingen en de referentie (gemiddelde over 2 afdelingen per behandeling)



Figuur 51. Verloop van de kastemperatuur in juli in de diffuus licht behandelingen en de referentie (gemiddelde over 2 afdelingen per behandeling)

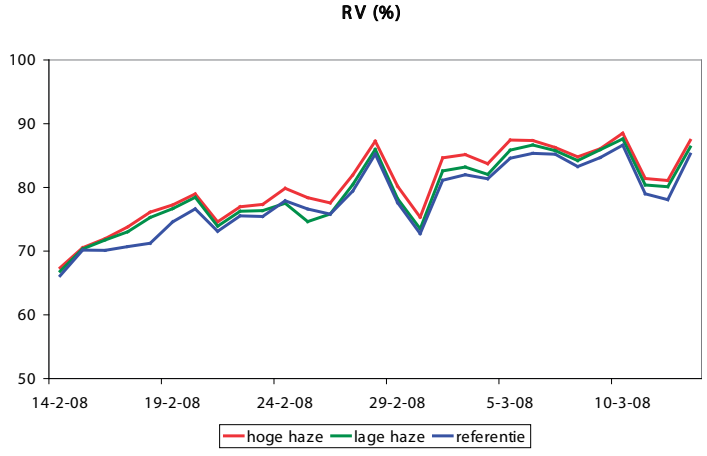


Figuur 52. Verloop van de kastemperatuur in oktober in de diffuus licht behandelingen en de referentie (gemiddelde over 2 afdelingen per behandeling)

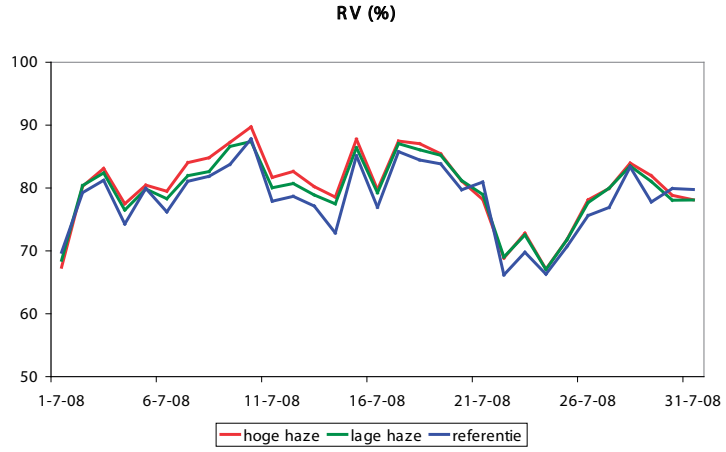
Bovenstaande figuren bevestigen de geringe invloed van de lichtverstrooiing van het glas op de kastemperatuur.

7.3.2 Relatieve luchtvochtigheid

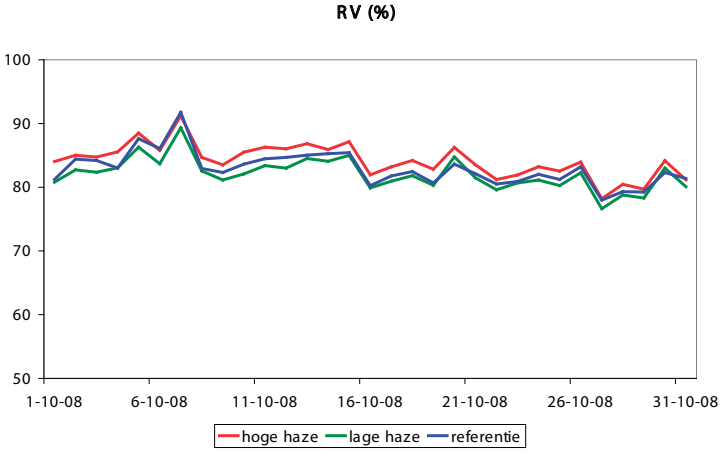
Zoals uit Tabel 5. blijkt, verschilden de vochtigheden nauwelijks tussen de verschillende soorten diffuusglas en het standaard glas. In de voorjaarsteelt was de RV was gemiddeld met 1 tot 2% hoger naarmate de diffusiteit van het glas hoger was. In de najaarsteelt bleek er nauwelijks verschil. Uiteraard kan er een verschil zijn tussen het gemiddeld gerealiseerde klimaat, en het verloop van het klimaat door de tijd. Om een indruk te krijgen van het verloop van de vochtigheid in de tijd, staan hieronder een aantal figuren weergegeven.



Figuur 53. Verloop van de relatieve luchtvochtigheid in de periode medio februari - medio maart in de diffuus licht behandelingen en de referentie (gemiddelde over 2 afdelingen per behandeling)



Figuur 54. Verloop van de relatieve luchtvochtigheid in juli in de diffuus licht behandelingen en de referentie (gemiddelde over 2 afdelingen per behandeling)



Figuur 55. Verloop van de relatieve luchtvochtigheid in oktober in de diffuus licht behandelingen en de referentie (gemiddelde over 2 afdelingen per behandeling)

Uit de bovenstaande figuren blijkt dat de luchtvochtigheid in de kas met het meest diffuse licht over het algemeen het hoogst is. In het voorjaar en de zomer is de RV onder diffuusglas met lage haze ook nog wat hoger dan onder standaard glas. In het najaar is dat echter andersom. De verschillen zijn echter klein. Het is voorstelbaar dat bijvoorbeeld een iets afwijkende ventilatiestrategie in een van de kassen een groter effect op de RV zou hebben dan de behandeling.

7.3.3 CO_2 concentratie

De CO_2 concentratie was gemiddeld onder diffuusglas lager (25 tot 35 ppm) dan onder standaard glas. De verschillen zijn echter klein. Dit blijkt ook uit een analyse van het verloop van de CO_2-concentraties in de tijd. Daarbij zijn ook verschillen gevonden die niet goed verklaard konden worden door een verschil in behandeling (type kasdek): andere zaken zoals mogelijk verschillen in ventilatiesnelheid spelen dan een grotere rol dan een verschil in haze van het kasdek.

7.3.4 Koptemperatuur

De gewastemperatuur is met handmetingen op een aantal momenten gemeten. De resultaten van die metingen staan in de volgende Tabel (Dueck *et al.*, 2009). Vermeld staan de temperatuur van het kopje van de plant, de temperatuur van het eerste volgroeide blad (kolom “Bovenin het gewas”) en de bladtemperatuur onder in het gewas.

Tabel 6. Temperatuur van het gewas op drie plekken, gemeten op twee dagen

		Bladtemperatuur (ºC)		
		Kop van de plant	Bovenin het gewas*	Onderin het gewas
zonnige dag	referentie	34.5	34.8	25.4
	lage haze	32.8	34.4	24.7
	hoge haze	32.4	33.7	24.6
bewolkte dag	referentie		24.7	23.6
	lage haze		24.6	23.1
	hoge haze		25.1	23.8

** Bovenin het gewas: het eerste volgroeide blad*

Bij veel instraling was de koptemperatuur onder diffuusglas ongeveer 2 ºC lager dan onder standaard glas. Bij bewolkt weer waren de verschillen veel kleiner.

In de proef waren planttemperatuurmeters opgehangen. Deze zouden een continue verloop van de temperatuur van de kop van de plant kunnen geven. Uit de analyse van de metingen bleek echter dat er een aantal verschillen tussen de kassen niet uit de behandeling verklaard konden worden, maar bijvoorbeeld uit de manier waarop de meters waren ingesteld (afstand tot het gewas, andere objecten dan alleen blad meten).

7.4 Verwachte gewasreacties onder diffuusglas

In de eerste teeltmaanden leken er bij komkommer onder diffuusglas wat meer broeiblaadjes voor te komen, waarschijnlijk omdat de koptemperatuur onder diffuusglas in het algemeen wat lager was. Bij een lagere temperatuur zal de kop dan wat minder verdampen en minder calcium aangevoerd krijgen, waardoor de dan ontstane zwakkere cellen aan de bladranden eerder zullen ‘verbroeien’.

In de voorjaarsteelt zijn er kortere, maar dikkere stengels onder diffuusglas t.o.v. helder glas. Onder diffuusglas werden er wel minder, maar wat dikkere bladeren aangemaakt.
Begin april is er tussen 1 à 2 meter onder de kop een betere lichtonderschepping van het gewas onder diffuusglas gemeten: hierdoor kan de fotosynthesecapaciteit beter worden benut. In de eerste helft van juli is er onderin het gewas een hogere fotosynthesecapaciteit onder diffuusglas dan onder helder glas gemeten; bovenin het gewas was er geen verschil.

In de herfstteelt waren de verschillen in gewasgroei, lichtonderschepping en fotosynthesecapaciteit onder invloed van de verschillende glassoorten niet zo duidelijk als in de voorjaarsteelt.

Samengevat: onder diffuusglas minder abortie, snellere vruchtuitgroei, hoger vruchtgewicht, meer oogstbare vruchten en een hogere totaalproductie in vergelijking met helder glas.

8 Economisch perspectief

De investeringskosten van de energiebesparende concepten met het nieuwe telen, diffuus- en dubbelglas met coatings zijn voor een groot gedeelte onbekend. Daarom wordt in deze bedrijfseconomische analyse niet de terugverdientijd bepaald, maar de investeringsruimte. De investeringsruimte wordt berekend door de te verwachten baten minus de kosten van het systeem te kapitaliseren naar een huidige waarde. Deze waarde kan binnen de gestelde afschrijvingstermijn worden terugverdiend.

In onderstaande Tabel is de investeringsruimte berekend voor de verschillende kasconcepten door ze te vergelijken met een referentieteelt. De bedragen op de onderste rij geven dus aan, wat er aan investeringen gedaan kunnen worden in alle extra benodigde materialen en technieken die bij de betreffende variant hoort. Dus bij de variant “dubbelglas met koeling” moet daar niet alleen het dubbelglas van worden betaald (inclusief een eventueel duurdere kasconstructie), maar ook de koelers, de warmtepompen, de aquifer, de LBK’s en de luchtslangen. Voor een compleet overzicht van de uitrusting per variant, zie hoofdstuk 2.

Tabel 7. Investeringsruimte voor verschillende combinaties van teeltsystemen en kasdektypen bij komkommer en tomaat

	komkommer				tomaat				
	refe-rentie	HNT	dubbel zk1)	diffuus	refe-rentie	HNT	dubbel zk1)	dubbel mk1)	diffuus
Energiegebruik									
- Warmte [m^3/m^2]	40	25	12	25	40	25	18	1	25
- Elektriciteit [kWh]	7	13	18	13	7	14	18	55	14
- CO_2 verbruik2) [kg/m^2]	36	37	43	37	46	47	51	49	47
Productie [kg/m^2]	75	75	75	79	68	68	68	70	72
Opbrengst [€/m^2*jaar]	41.86	41.86	41.86	44.09	48.96	48.96	48.96	50.40	51.84
Kosten oogst verpakking en afzet [€/m^2*jaar]	15.52	15,52	15,52	16.35	13.60	13.60	13.60	14.00	14.40
Energiekosten [€/m^2*jaar]	10,94	8,37	6,49	8,37	11.64	9.13	8.25	6.93	9.13
Opbrengst -/- kosten [€/m^2*jaar]	15.40	17.97	19.85	19.37	23.72	26.23	27.11	29.47	28.31
Verschil tov referentie [€/m^2*jaar]		2,57	4,45	3,97		2.51	3.39	5.75	4.59
Extra onderhoud kosten[€/m^2*jaar]		0,50	0,75	0,75		0.50	0.75	0.75	0.75
Afschrijvingstermijn [jaar]		15	15	15		15	15	15	15
Investeringsruimte [€/m^2*jaar]		21	38	33		21	27	52	40

1): zk: zonder koeling ; mk: met koeling

Uitgangspunten bij de berekeningen in Tabel 7.: de kosten van aardgas bedragen € 0,20 per m^3, de kosten van elektriciteit € 0,06 per kWh, de kosten van CO_2 € 0,07 per kg. De gemiddelde opbrengsten per kg tomaat zijn op € 0,72 /kg gesteld, die van komkommer op € 0,23 per stuk. De kosten voor oogsten, verpakken en afzet zijn voor tomaat op € 0,20 per kg gesteld, die van komkommer op € 0,09 per stuk. Voor komkommer is uitgegaan van een gemiddeld vruchtgewicht van 430 gram.

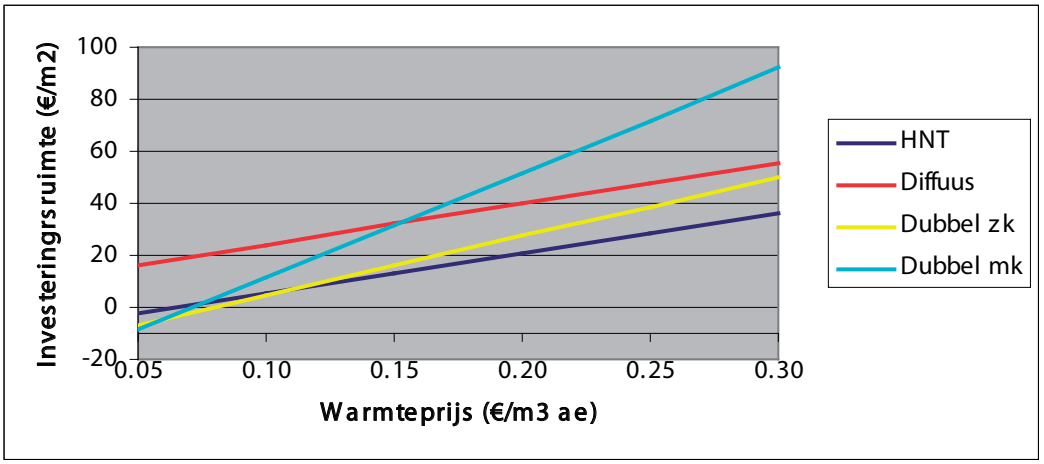
Voor tomaat is uitgegaan dat de kasconcepten HNT en diffuus beide 15 m^3 a.e. op de warmtevraag besparen en 7 kWh/m^2 meer elektriciteit vragen. De kas met gecoat dubbelglas, zonder koeling, bespaart nog meer warmte (28 m^3/m^2 t.o.v. referentie) en vergt 18 kWh/m^2 elektriciteit. De variant met koeling verbruikt nog nauwelijks aardgas. Wel wordt er flink meer elektriciteit gebruikt: dit is onder meer nodig voor de warmtepomp. Er wordt vanuit gegaan dat de CO_2-vraag bij de energiezuinige kasconcepten enkele kg/m^2 stijgt. De energieprijzen zijn gesteld op 0,20 €/m^3 a.e., 0,06 €/kWh elektriciteit en 0,07 €/kg CO_2. Er is vanuit gegaan dat alle CO_2 wordt ingekocht en niet wordt benut vanuit de ketel of WKK.

De tomatenproductie stijgt bij de kas met diffuus glas en wel met 4 kg/m^2 ten opzichte van de referentie. In de kas met dubbelglas en koeling wordt 2 kg/m^2 meerproductie gehaald, het gevolg van een meer gesloten kas waarin hogere CO_2 concentraties gehandhaafd kunnen worden. Er wordt vanuit gegaan dat iedere kg €0,72 aan opbrengst oplevert en €0,20 aan oogstarbeid, afzet en verpakking kost. Iedere extra kg productie levert dus netto €0,52 op.

Als het verschil tussen opbrengst en kosten wordt vergeleken met de referentie, blijft het bedrag over dat ieder jaar als extra baten aan het kasconcept wordt toegeschreven. Door hier de geschatte jaarlijkse onderhoudskosten vanaf te trekken en dit te delen door de rente (gesteld op 3% van de aanschafprijs, wat overeenkomt met 5½ % rente over het gemiddeld geïnvesteerd vermogen) en de jaarlijkse afschrijvingstermijn (gesteld op 15 jaar), wordt de investeringsruimte berekend. Deze blijkt voor tomaat het kasconcept met dubbelglas met koeling het hoogst te zijn: 52 €/m^2. Het moge duidelijk zijn dat deze variant ook de hoogste investering zal vergen. Hoe hoog deze zal worden, is nog onbekend.

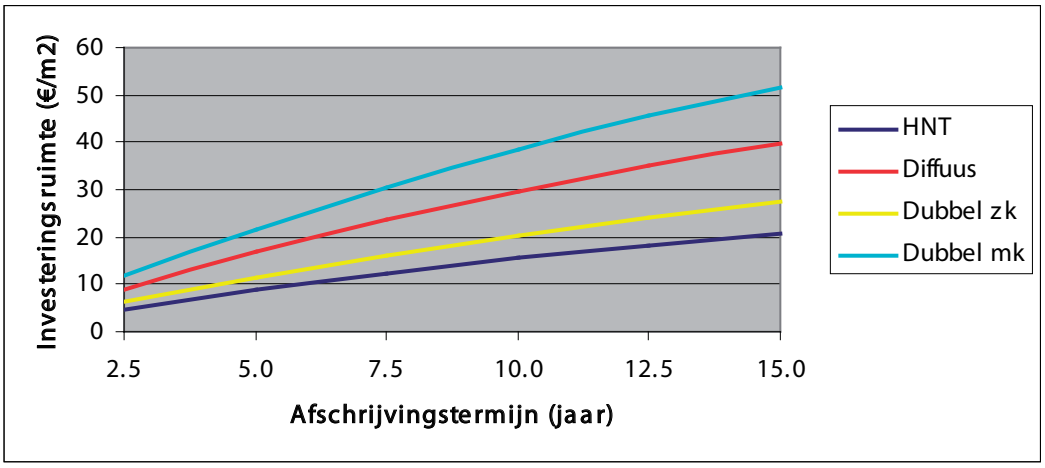
8.1 Gevoeligheidsanalyse kasconcepten tomaat

Een bedrijfseconomische analyse is altijd sterk afhankelijk van de gestelde uitgangspunten. In het volgende Figuur is de gevoeligheid weergegeven van de warmteprijs voor vier varianten bij de tomatenteelt. Hierbij blijkt de dubbelglas kas met koeling het meest gevoelig te zijn voor de warmteprijs, gevoeliger dan respectievelijk dubbelglas zonder koeling een de enkeldek kas met Het Nieuwe Telen en de diffuusglas kas (die laatste zijn even gevoelig, alleen ligt de investeringsruimte van diffuusglas zo'n € 19 hoger). Bij een warmteprijs van minder dan 0,08 €/m^3 a.e. is de investeringsruimte voor dubbelglas zonder koeling zelfs lager dan nul, en ook Het Nieuwe Telen en dubbelglas met koeling komen met lage warmteprijzen uit op negatieve investeringsruimtes.



Figuur 56. Investeringsruimte bij tomaat (€/m²) bij verandering van de warmteprijs

In de onderstaande Figuur is de investeringsruimte voor dezelfde vier concepten weergegeven als functie van de afschrijvingstermijn. Hoe sneller de investering moet worden terugverdiend, hoe minder deze mag kosten. Ook hier geldt dat de variant dubbelglas met koeling het meest gevoelig is voor een verandering in gewenste afschrijvingstermijn.



Figuur 57. Investeringsruimte bij tomaat(€/m²) bij verandering van de afschrijvingstermijn, bij een warmteprijs van € 0,20 per m². (zk: zonder koeling; mk: met koeling)

8.2 Conclusies

Bij tomaat biedt het kasconcept dubbelglas kasdek met koeling de hoogste investeringsruimte als de warmteprijs boven de € 0,15 per m³ komt. Bij lagere warmteprijzen levert het concept met diffuusglas de hoogste investeringsruimte. De investeringsruimte wordt voor alle energiebesparende kasconcepten sterk bepaald door de kostprijs van de bespaarde warmte.

9 Expert discussie

Op 19 november 2010 is in Bleiswijk een workshop georganiseerd. In deze workshop zijn de berekeningen en de expert redenaties omtrent het effect van de verschillende kasdekmaterialen op de tomatenteelt aan een panel van deskundigen voorgelegd, met de bedoeling om te checken op volledigheid en correctheid. Er waren vijf tomatenkwekers aanwezig, afkomstig van vier bedrijven. Deze vier bedrijven behoren allen tot pioniers in het vak op het gebied van energiezuinig telen. Drie van de vier passen een vorm van Het Nieuwe Telen toe op hun bedrijf. Twee bedrijven hebben concrete plannen om op proefschaal het gecoate dubbel glas uit te proberen. Allen zijn geïnteresseerd in het diffuusglas. Verder was er een R&D manager aanwezig van één van de toonaangevende klimaatregelingbedrijven in de glastuinbouw. Er waren twee coördinatoren van het programma kas als Energiebron aanwezig, en drie onderzoekers van Wageningen UR Glastuinbouw.

9.1 Dubbelglas

De discussie is gevoerd aan de hand van de volgende stellingen, die afkomstig zijn uit de eerdere hoofdstukken. In de laatste kolom is de mening van het expertpanel over de stelling weergegeven.

Effect op kasklimaat	Eventuele gewasreactie	Mogelijke oplossing	Mening expertpanel
's Avonds langzamer afkoelen	Vegetatieve reactie, verstoring plantbalans.	Agressiever ventileren; grotere DIF; aangepaste stengeldichtheid, aantal vruchten; generatiever ras	Eens, wordt als belangrijk aandachtspunt gezien.
Warmere nachten	Hogere etmaaltemperaturen: hogere onderhoudsademhaling, scheve licht/ temperatuurverhouding, zwakkere kop	Ventileren	Eens. Ligt in het verlengde van bovenstaande stelling.
's Winters lagere RV overdag	Compactere plant met lagere LAI.	Vernevelen	Niet problematisch, oplossing is niet nuttig.
Overige perioden: hogere RV	Meer risico op ziekten en fysiogene afwijkingen.	Agressiever ventileren, grotere capaciteit ontvochtiger	Eens, wordt als belangrijk aandachtspunt gezien.
Vochtiger microklimaat	Meer risico op ziekten	Groeibuis, ontvochtigen met luchtslurven tussen het gewas, verticale luchtbeweging mbv verticale ventilatoren	Eens. Ligt in het verlengde van bovenstaande stelling.
Temperatuurgradiënt onderin kouder	Langzamer afrijpen vruchten	Groeibuis	Eens, wordt als belangrijk aandachtspunt gezien.

Hieronder staan de belangrijkste gesprekspunten samengevat.

9.1.1 Koeling

De experts vroegen zich af in hoeverre het nuttig is om de variant van dubbelglas met koelen op te nemen. Dit lijkt immers ver van de praktijk af te staan. Echter indien dubbelglas in de tomatenteelt geïntroduceerd wordt, zal het op een substantieel aantal dagen per teeltseizoen lastig worden om de kas in de voornacht af te koelen. Dit heeft negatieve gevolgen voor de gewaskwaliteit. Dit fenomeen treedt onder standaardglas al regelmatig op in het (zuid) oosten van het land (zo'n 20 keer per jaar). Mechanische koeling lijkt voor die regio bij dubbelglas een must om het gewas goed door de zomer te krijgen, want zonder koeling stijgt het aantal keer te warme nachten naar zeker 40 keer per jaar (schatting). Maar ook het westen van het land zal onder dubbelglas baat hebben bij mogelijkheden om te koelen (daar zou men van bijvoorbeeld 5 naar 25 situaties per jaar gaan).
Als alternatief voor mechanische koeling is adiabatische koeling genoemd. Dit kan verneveling in de kas zijn, maar dat is teeltkundig gezien niet altijd wenselijk. Een alternatief zijn daksproeiers. Daksproeiers zouden ook bij sneeuw op het dek goede diensten kunnen bewijzen: sneeuw zal op dubbelglas vanwege de goede isolatie immers lastig weg te stoken te zijn. Aan de andere kant zorgt die isolatie ook weer dat daksproeiers veel minder effectief koelen in de zomer.

9.1.2 Verdamping

Wellicht zou het koelende vermogen van een plant beter benut kunnen worden, door de verdamping te stimuleren, bijvoorbeeld via luchtstroming die met behulp van de Het Nieuwe Telen techniek gecreëerd kan worden. Van belang is wel dat er dan vocht uit de kas afgevoerd moet worden. Opgemerkt werd dat het effect om 's nachts de verdamping te stimuleren, op de totale energiebalans nihil is.
Mogelijk is er ook nog wat te halen met aangepaste voeding: minder hoge EC handhaven, maar dat kan dan weer negatieve invloed hebben op de smaak.
Uit de berekeningen blijkt dat onder dubbelglas in de winter een lagere RV zal optreden. Vernevelen zou dan een oplossing zijn. De experts zien hier echter het probleem niet van in, en vinden vernevelen dan niet nuttig.

9.1.3 Vocht

Onder dubbelglas neemt het probleem van een te hoge RV toe ten opzichte van enkelglas. Een grotere capaciteit van de ontvochtigingsinstallatie lijkt dan een goede optie. Het lijkt niet efficiënt om zo te dimensioneren, dat in alle gevallen de RV in de kas beheerst kan worden. Advies is om een soort "80/20" regel te hanteren (een installatie die bijvoorbeeld 80% van de gevallen aan kan).
Voor een bepaalde periode in het jaar zal ontvochtiging met buitenlucht dan niet voldoende zijn om het vochtniveau in de kas te beperken, omdat dan de buitentemperatuur en de RV buiten te hoog zijn. Dit treedt overigens ook op bij Het Nieuwe Telen en zelfs in de referentiesituatie. De oplossing die voor deze gevallen geadviseerd wordt, is de kas te verwarmen. Er was discussie of dit alleen met (groei-) buizen kan, of dat ook warme lucht door de luchtslangen effectief kan zijn. Er zijn negatieve ervaringen met het gebruik van slurven voor (combinaties van) verwarmen en koelen: er traden aanzienlijke de horizontale temperatuurverschillen op. Daar zijn nu echter technische oplossingen voor gevonden, zoals het "slang-in-slang" concept.

9.1.4 Verwarming

Er is gediscussieerd hoe de ideale verwarmingsconfiguratie er onder dubbelglas uit zou moeten zien. Acties als Het Nieuwe Telen en het installeren van dubbelglas zorgen voor meer traagheid in klimaatreactie, er wordt immers steeds minder energie in de kas gebracht. De vraag is nu hoe je met beperkte input van energie het klimaat nog zo goed mogelijk kan sturen. Er zijn twee varianten geopperd:

1. Groeibuizen. Bij voorkeur twee, waarbij de een dicht bij de kop gehangen moet worden, en de ander dicht bij de vruchten.
2. Luchtslangen. De lucht een paar graden boven de kastemperatuur opwarmen, kost weinig extra energie.

9.1.5 Lichttransmissie dubbelglas inclusief constructie

Het uitgangspunt van gelijke lichttransmissie van een kasdek met gecoat dubbelglas en standaardglas is bediscussieerd. De lichttransmissie van het glas, gemeten op de lichtbol in Wageningen, is nagenoeg gelijk, zie Hoofdstuk 2. Voor de transmissie van een hele kas, of tenminste het kasdek, spelen ook de constructieve delen van de kas (cq het kasdek) een rol. Het dubbelglas is per oppervlakte-eenheid een stuk zwaarder dan enkelglas: het dubbelglas bestaat uit twee platen van drie mm dik, standaard glas uit een plaat van vier mm. Om het dubbelglas te kunnen dragen, zijn normaal gesproken aangepaste constructiedelen in het dek noodzakelijk. Deze zijn zwaarder uitgevoerd en nemen meer licht weg. Echter het dubbelglas is sterker en maakt het mogelijk om grotere ruitmaten te gebruiken. De maat van de ruit wordt dan nog beperkt door praktische randvoorwaarden, zoals vervoerbaarheid over de weg. In theorie zou het dubbelglas zelf ook constructieve functionaliteit in het kasgebouw kunnen krijgen, waardoor wellicht minder zware metalen constructiedelen nodig zijn. Omdat op dit moment nog niet bekend is hoe uiteindelijk de kasconstructie met dubbelglas eruit komt te zien, is de aanname dat de lichttransmissie vergelijkbaar is met het standaardglas valide.

9.1.6 Coatings

Het idee werd geopperd om de ε coating op een van de zijdes van het dubbelglas weg te laten en te vervangen voor een AR coating. Dit zou voor de tomatenteelt een aantal voordelen hebben: de lichttransmissie kan nog beter worden, en je hebt geen emissie verlagende coating die in de zomer de afkoeling van de kas extra hindert. De energiebesparing is dan echter wel lager.

9.2 Diffuusglas

De discussie is gevoerd aan de hand van de volgende stellingen, die afkomstig zijn uit de eerdere hoofdstukken. In de laatste kolom is de mening van het expertpanel over de stelling weergegeven.

Effect op kasklimaat	Eventuele gewasreactie	Mogelijke oplossing	Mening expertpanel
Hogere RV bij hogere diffusiteit.	Meer risico op ziekten en fysiogene afwijkingen.	Agressiever ventileren, grotere capaciteit ontvochtiger.	Geen probleem. Hogere RV is in de zomer (bij veel licht, als dit zich voordoet) juist prettig.
Lagere CO_2 concentratie onder diffuusglas dan onder standaard glas.	Waarschijnlijk onder diffuusglas hogere CO_2 opname.	Indien CO_2 te ver weg zakt: additioneel doseren. Indien temperatuur en vocht het toe laat: beperken ventilatie, evt mbv verneveling (en/of koeling).	Geen probleem. De opname ten opzichte van het verlies door ventilatie is op momenten dat dit speelt marginaal.
Lagere koptemperatuur onder diffuusglas	Bij een lagere temperatuur zal de kop wat minder verdampen en minder calcium aangevoerd krijgen, waardoor de dan ontstane zwakkere cellen aan de bladranden eerder zullen ‘verbroeien’.	Stimuleren van de verdamping van de kop.	Op zich klopt dit. Het verschil is erg klein. In de zomer kan het juist gunstig uitpakken.

De over-all conclusie over diffuus glas was dat dit nauwelijks negatieve effecten op het kasklimaat en op het gewas zal hebben. Onder dit type glas is, in tegenstelling tot het dubbelglas, geen extra conditioneringstechniek (zoals Het Nieuwe Telen) nodig om de teelt goed te kunnen sturen. De combinatie kan natuurlijk wel, en levert door het diffuusglas extra productie op en door Het Nieuwe Telen energiebesparing, maar een synergiewerking als met dubbelglas wordt niet verwacht.

10 Conclusies

Samenvattend kan als conclusie getrokken worden dat nieuwe kasdekmaterialen de potentie hebben om het energiegebruik van komkommer en tomaat substantieel te verlagen, dan wel de energie-efficiency te verhogen. Bij tomaat is het energiegebruik van 40 m^3 in een gangbare teelt tot 27 m^3 (32,5 % besparing) bij Het Nieuwe Telen verder te verlagen tot zo'n 20 m^3 / m^2.jaar (50% besparing), bij minimaal gelijkblijvende productie. Gebruik van een ander kasdek heeft effect op het kasklimaat, en zal daarmee de groei en ontwikkeling van het gewas beïnvloeden. Hoewel nog niet alle consequenties kunnen worden voorzien, lijken de stuurmiddelen die met Het Nieuwe Telen voorhanden zijn, voldoende om negatieve gevolgen te voorkomen dan wel te beperken. Enige aanpassingen van het teeltsysteem zijn raadzaam, zoals een grotere capaciteit van de ontvochtiging en technieken om het microklimaat tussen het gewas te kunnen meten en beïnvloeden.

10.1 Energie

Uit de berekeningen die aan de moderne kasdekken zijn gedaan, blijkt dat deze een interessante toevoeging kunnen zijn aan het concept van Het Nieuwe Telen, tenminste voor de gewassen komkommer en tomaat. Diffuusglas verhoogt de energie-efficiency, dubbelglas met moderne coatings verlaagt het energiegebruik aanzienlijk. In onderstaande Tabel staan de gegevens met betrekking tot het energiegebruik samengevat. Hierin is te zien dat zowel qua energiegebruik als qua energie efficiency de variant "HNT onder Dubbelglas" het meest gunstig is. Over de economische aantrekkelijkheid zegt dit nog niet zoveel. Hiervoor moeten zowel de hogere kosten van de investeringen, de lagere kosten van energie en de (mogelijk) hogere opbrengsten door de hogere producties worden verrekend.

Tabel 8. Berekend energiegebruik kasconcepten komkommer en tomaat

	komkommer				tomaat				
	refe-rentie	HNT	dubbel zk1)	diffuus	refe-rentie	HNT	dubbel zk1)	dubbel mk1)	diffuus
Energieverbruik									
- Warmte [m^3/m^2]	40	25	12	25	40	25	18	1	25
- Elektriciteit [kWh/m^2]	7	13	18	13	7	14	18	55	14
- CO_2 verbruik2) [kg/m^2]	36	37	43	37	46	47	51	49	47
Totaal verbruik in m^3 a.e./ m^2*jaar	42	29	17	29	42	29	23	16	29
Productie [kg/m^2]	75	75	75	79	68	68	68	70	72
Energie efficiency [m^3 a.e. /kg]	0.56	0.39	0.23	0.37	0.62	0.43	0.34	0.23	0.40

(1) zk: zonder koeling ; mk: met koeling ; (2) Alle CO_2 vraag zuiver ingevuld.

In de Tabel is in de variant "Het Nieuwe Telen onder dubbelglas (zonder koeling)" vooralsnog dezelfde productie opgenomen als in een gangbare teelt. Er zal een verschil in lichttransmissie zijn aan de ene kant, en aan de andere kant hoeft geen AC folie gebruikt te worden. Per saldo zal dit een verschil geven in de hoeveelheid licht die op jaarbasis in de kas komt, maar dat is hier niet gekwantificeerd. Bij de variant dubbelglas met koeling bij tomaat is een hogere productie berekend, die te danken is aan een hogere CO_2 concentratie in de kas.

10.2 Kasklimaat

Zowel door het berekenen en analyseren van cyclische gemiddelden in een aantal maanden van het jaar, als door in te zoomen op een aantal kritische dagen in het jaar, kunnen de effecten van de moderne kasdekmaterialen vergeleken worden met het gangbare kasdek. Voor dubbelglas kunnen we de volgende conclusies trekken:

- De kasluchttemperatuur daalt langzamer en in de zomer blijft deze in de avond en nacht op een hoger niveau liggen dan bij de enkeldeks kas.
- Het ontbreken van de bovenscherminstallatie en het openen van het scherm in de winter levert veel lichtwinst op in deze periode.
- De mismatch tussen beschikbare CO_2 en benodigde CO_2 neemt verder toe. Het absoluut verbruik aan aardgas op het bedrijf wordt fors teruggedrongen. In de zomer, als de CO_2 vraag het hoogst is, gaat het gasgebruik naar bijna 0. Er is dan dus geen aanbod van CO_2 uit rookgassen van de eigen wkk of ketel.
- Door het verhogen van de ontvochtigingscapaciteit zijn er minder uren overschrijding van het vochtsetpoint, maar de RV komt wel veel meer uren rondom het vochtsetpoint te liggen.
- De temperatuur van het uitstralingsoppervlak gaat toenemen, vooral als er geen scherm gesloten is.
- In de winter kan de RV overdag sterk dalen doordat het scherm is geopend.
- In de zomer kan de RV met name 's avonds en 's nachts hoger oplopen dan onder enkelglas.
- Door de lagere verwarmingscapaciteit kan op sommige winterdagen de temperatuur minder snel op het gewenste niveau gebracht worden dan in de enkeldeks HNT variant. (NB dit heeft niet zozeer met het dubbelglas zelf te maken, als wel met de uitrusting die daarbij gekozen wordt.)
- Bij hoge instraling in de winter kan de gewastemperatuur hoger oplopen dan in een enkeldeks kas.
- De verticale temperatuurgradiënt kan anders komen te liggen. Dit kan door het ontbreken van een minimum buis onderin de kas, maar ook door een andere temperatuur van het uitstralingsoppervlak.
- De luchtbeweging in het gewas kan minder zijn, onder meer door het ontbreken van buiswarmte onderin, met consequenties voor het microklimaat (o.a. vochtiger). Daar staat tegenover dat de ontvochtigingsinstallatie meer draaiuren maakt welke ook enige luchtbeweging veroorzaakt.

Bij gelijke lichttransmissie als standaardglas is de invloed van diffuusglas op het kasklimaat marginaal. Dit wordt bevestigd door de kasklimaatgegevens uit het kasexperiment met komkommer in 2008.

- Er zijn vrijwel geen verschillen in kastemperatuur gevonden.
- De luchtvochtigheid is onder diffuusglas iets hoger dan onder standaard glas.
- Er zijn geringe verschillen gevonden in CO_2 concentratie, maar deze zijn waarschijnlijk meer toe te schrijven aan verschillen in bijvoorbeeld ventilatie dan aan het glas.
- De koptemperatuur onder diffuusglas is bij hoge (directe) instraling lager dan onder standaardglas.

10.3 Gewasreacties en interventiemogelijkheden

Redenerend vanuit de kennis en ervaring van de teelt van tomaat en komkommer in het algemeen, en in Het Nieuwe Telen in het bijzonder, zullen de genoemde veranderingen in kasklimaat effecten hebben op het gewas. Voor zover dat tot nu toe te beredeneren valt, zijn dit voor de variant HNT onder dubbelglas:

- Tragere ontwikkeling van plantorganen onderin het gewas door lokaal lagere temperaturen. Vooral lagere afrijpingssnelheid of tragere uitgroei van vruchten (tomaat en komkommer bij hogedraadteelt). Bij te lage afrijpingssnelheden ten opzichte van de ontwikkeling van de vegetatieve delen kan een plant 'uit balans' raken.
- Groter risico op vegetatieve reactie, door minder snelle afkoeling in de voornacht.
- Groter risico op schimmels in het gewas door een vochtiger microklimaat.
- Groter risico op schimmels door meer condensvorming op vruchten bij een opwarmend gewas.
- Groter risico op fysiogene afwijkingen in de groeipunten van de plant, zoals broeikoppen bij komkommer en bladrandjes bij tomaat, door voor verdamping ongunstige omstandigheden.
- Gunstiger effect op de groeisnelheid door een hogere koptemperatuur in de wintermaanden .

De beredeneerde negatieve effecten van een ander kasklimaat op het gewas kan door verschillende maatregelen en technieken worden tegengegaan. Als teeltmaatregelen met reeds in het instrumentarium van HNT beschikbare middelen zijn genoemd:

- Agressiever (= eerder en meer) ventileren
- Aangepaste schermregeling (meestal vaker schermen)
- Vocht vernevelen
- Variëren in plant- en stengeldichtheden, minder vruchten aanhouden
- Grotere DIF aanhouden ten behoeve van de plantbalans
- Generatievere rassen telen

Als aangepaste of aanvullende technieken zijn genoemd:

- Grotere capaciteit ontvochtigingsinstallatie
- Meerdere groeibuizen, zowel bij de kop als bij de vruchten
- Verticale ventilatie (nivolators)
- Luchtslurven tussen het gewas

Voor diffuusglas lijken extra conditioneringsmogelijkheden zoals die van Het Nieuwe Telen niet noodzakelijk om effecten op kasklimaat en gewas bij te kunnen sturen.

10.4 Validatie door experimenteel onderzoek

Ondanks de inschatting van de experts blijven er nog veel onzekerheden bestaan over de prestaties en consequenties van Het Nieuwe Telen onder Nieuw Kasdek. Dit geldt voor gecoat dubbelglas, maar zeker bij tomaat ook nog voor diffuusglas. Het betreft het energiegebruik en kasklimaat, maar ook plantreacties en gevolgen voor productie en kwaliteit. Ook de beschreven aanbevelingen voor technische aanpassingen om goed onder het nieuwe dek te kunnen telen, zijn gebaseerd op expertverwachtingen en nog niet in praktijk getoetst. (Wellicht zal ook het hele verwarmingssysteem nog opnieuw gedimensioneerd moeten worden.)
De expertkennis is immers gebaseerd op het traditionele telen en Het Nieuwe Telen, maar niet onder die specifiek nieuwe omstandigheden. Om meer zekerheid te krijgen over energieprestaties en gewasreacties is experimenteel onderzoek nodig. Zowel het onderzoek aan tomaat in de Venlow Energy kas op het IDC te Bleiswijk (gecoat dubbelglas, met koeling), als het onderzoek aan tomaat onder verschillende soorten diffuusglas in de proefkassen van Wageningen UR Glastuinbouw te Bleiswijk, beide uit te voeren in het seizoen 2010-2011 met financiering uit Kas als Energiebron, zal hierin voorzien.
Het blijft dan nog de vraag wat de potenties van Het Nieuwe Telen met een Nieuw Kasdek zijn voor andere gewassen en welke configuraties daarbij optimaal zijn. Sommige technische componenten zullen blijven, andere worden aangepast en andere zullen niet nodig blijken. Een en ander zal ook afhangen van randvoorwaarden die mogelijk veranderen, zoals bijvoorbeeld de beschikbaarheid van CO_2. Al met al is met deze studie een basis gelegd voor een verdere ontwikkeling naar een klimaatneutrale glastuinbouw.

11 Literatuur

Dueck, T.A.; Poudel, D.; Janse, J.; Hemming, S. 2009.
Diffuus licht - wat is de optimale lichtverstrooiing? Rapport Wageningen UR Glastuinbouw 308.

Eveleens, B., *et al.*, 2010.
Veertig kg paprika. Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk. In voorbereiding.

Jagers op Akkerhuis, F., 2009.
Greenportkas Venlo experimenteert met isolatieglas. In: "Tomagazine Greenportkas – Sunny Tom: The lessons learned 2008-2009". P. 80-82.

Hemming, S., R. Jongschaap, J. Janse en T. Dueck, 2007.
Effecten van diffuus licht op komkommer; resultaten van een teelt experiment. Nota 446. Wageningen UR Glastuinbouw, Wageningen.

Poot, E., F. de Zwart, S. Bakker, G. Bot, A. Dieleman, A. de Gelder, L. Marcelis en D. Kuiper, 2008.
Richtinggevende beelden voor energiezuinig telen in semigesloten kassen. Nota 568. Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk.

Telgen, H.J. van, 2009.
Snellere bloei en vruchtzetting onder diffuus glas. http://www.tomatennet.nl/Teeltnieuws_Tomaten.Snellere_bloei_en_vruchtzetting_onder_diffuus_glas.6774+M573490ea1d9.0.html.

Gelder, A. de. , F. Sterk, M. Grootscholten en J. Kieviet, 2010.
Het Nieuwe Telen; Energie onder de knie: komkommer. Rapport GTB-1013. Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk

Bijlage I Gemeten en berekend energiegebruik komkommerproef Het Nieuwe Telen 2009

1.1 Komkommer

Om eerst een geloofwaardige validatie van het kasklimaatmodel KASPRO te bereiken is als eerste stap een simulatie van de referentie (Het Nieuwe Telen) uitgevoerd. De teeltproeven Het Nieuwe Telen komkommer en tomaat zijn met het toen aanwezige buitenklimaat en het gerealiseerde klimaat gesimuleerd in KASPRO. Deze stap was noodzakelijk om een goede correctie te kunnen maken voor de relatief kleine proefoppervlakte en de relatief grote gevel invloed bij het Improvement Centre. Met de goede correctie konden vervolgens modelberekeningen met nieuwe kasdekken gemaakt en vergeleken worden.

In deze bijlage is de validatie voor komkommer opgenomen. Dezelfde simulatie moet nog plaatsvinden voor tomaat. Dit is echter nog niet klaar. Dit zal in de komende periode alsnog worden doorgevoerd.

1.2 Kasuitrusting

In 2009 is op het Improvement Centre in Bleiswijk een teeltproef met komkommer volgens het Nieuwe Telen uitgevoerd in een afdeling van 1000 m^2. De kasuitrusting van deze proef kan als volgt worden omschreven:

Kasdek type	:	Venlo dek, 91 % lichtdoorlatendheid loodrecht, 83% hemisferisch
Verwarming	:	Buisrail - per tralie 6 x 2 buizen naast elkaar van 51 mm ø.
	:	Groeibuis - per tralie 6 x 2 buizen boven elkaar van 35 mm ø.
CO_2 dosering	:	OCAP, overschakelbaar op zuiver, doseercapaciteit 180 kg/ha.uur.
Luchtbevochtiging	:	Valco luchtbevochtiging, hogedruk nevel met 1 streng per tralie, maximale nevelcapaciteit 600 gr m^2.uur.
Schermen	:	Om maximale isolatie te bereiken is de scherminstallatie uitgerust met twee schermen, die een tegengestelde looprichting hebben. Als er kieren in het scherm worden getrokken zitten deze ten opzichte van elkaar versprongen, scherm boven XLS 18 Firebreak, scherm onder XLS 10 Ultra Revolux. In de eerste teelt is tussen plantdatum en 26 februari een AC-folie met 20x20 cm perforatie gebruikt. Dit was op een apart dradenbed vastgemaakt. In de gevel zitten rolschermen die afzonderlijk stuurbaar zijn.
Teeltsysteem	:	V-systeem, hangende goot, 50 cm vanaf de grond, goot afstand 1.60 m
Gewasdraad	:	2.15 meter boven de grond, met kettingen te verhogen tot 2.5 meter boven de grond, afstand goot- gewasdraad 1.65/2.00 meter, steundraad voor stengels aan ophangbeugels goot 50 cm boven de goot.
Gewas	:	De raskeuze, plantdatum en stengeldichtheid zijn per teelt bepaald.

1.3 Corrigeren voor de oppervlakte van de proefkas

Bij het nieuwe telen komkommer op het Improvement Centre is de energie input van de afdeling gemeten met een warmtemeter, die een gebruik registreert in GJ. De warmtevraag van deze afdeling mag echter niet zonder meer worden omgezet naar de warmtevraag van een normaal bedrijf. De kasafdeling waarin deze proef is uitgevoerd, kenmerkt zich namelijk door een relatief groot buitengeveloppervlak. Op een kasoppervlakte van 1008m^2 is het geveloppervlak 470 m^2 buitengevel. In een kas van 4 ha. is de buitengevel nog slechts 13% van het kasoppervlak. Een factor 3.5 kleiner dan in deze proefafdeling.
Indien aan de gevel altijd gelijke energiebesparende maatregelen zouden worden genomen als aan het dek, dan zou de gevelinvloed constant zijn. Echter door de variatie in het schermgebruik in het horizontale vlak is deze verhouding niet constant. Daar komt het effect van windbelasting nog eens bij. Aan de gevel is slechts één, zei het goed, scherm welke in de periode met energievraag constant gesloten geweest. Deze gevel zal op drie manieren het energiegebruik beïnvloeden.

1. Door het enkelvoudige gevelscherm zal dit gevelscherm regelmatig een lagere temperatuur bereiken dan dauwpunt-temperatuur waardoor op dit gevelscherm condensatie kan plaatsvinden. Door deze ontvochtiging van de kaslucht zal deze droger worden waardoor minder snel behoefte zal ontstaan aan ontvochtiging.
2. De isolatiewaarde van 1 goed scherm zal lager zijn dan van 3 gesloten horizontale schermen, waardoor het gevelverlies groter uitvalt dan het verlies naar het kasdek.
3. Door het grote geveloppervlak (ca. 3.5 keer zo groot als in een kas van 4 ha.) zal het gevelverlies ook ruim drie keer zo groot worden als van een grote kas.

Om deze redenen is het aanbrengen van een correctie op het gemeten energiegebruik te rechtvaardigen, echter hoe groot moet deze correctie zijn?

1.4 Aanpak

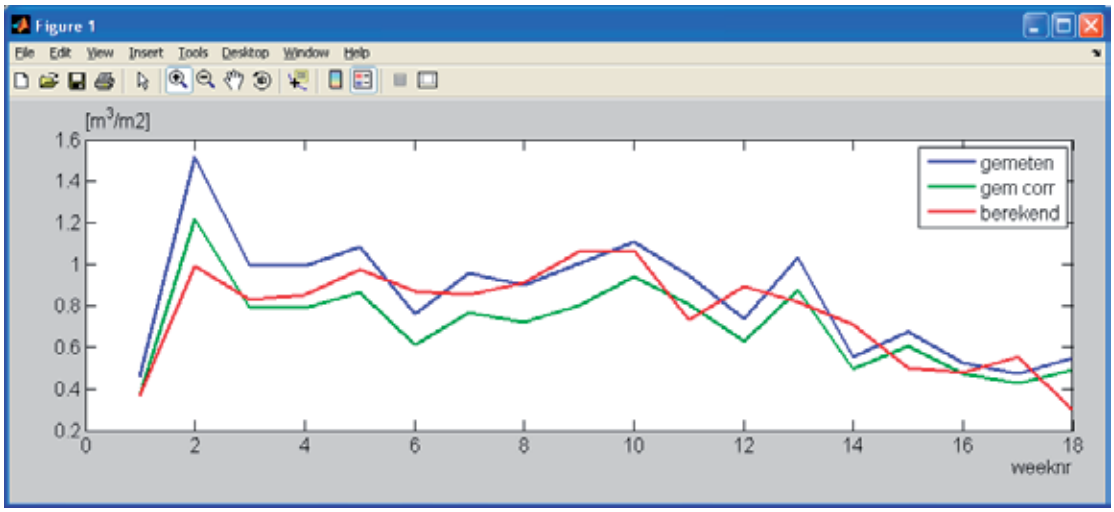
Met behulp van het kasklimaat simulatieprogramma KASPRO is een berekening gemaakt van het verwachte kasklimaat en het daarbij horende energiegebruik, rekening houdend met de eigenschappen van de kas, de toegepaste schermen, het gewas en de klimaatsetpoints. Vergelijk van het gemeten energiegebruik, met dat van het berekende energiegebruik geeft dan een goede indicatie met betrekking tot de invloed van de gevels op het energiegebruik.
Gegeven zijn het gemeten energiegebruik en een op basis van een geschatte correctie voor gevelinvloed gecorrigeerde waarde. Deze kunnen worden vergeleken met een berekend energie gebruik voor de afdeling van 1008 m^2 en die voor een bedrijf van 4 ha.

De energie berekeningen zijn gedaan voor de 3 teelten die in Het Nieuwe Telen zijn uitgevoerd.

Teelt	Voorjaar	Zomer	Herfst
Plantdatum	7 januari	5 mei	4 augustus

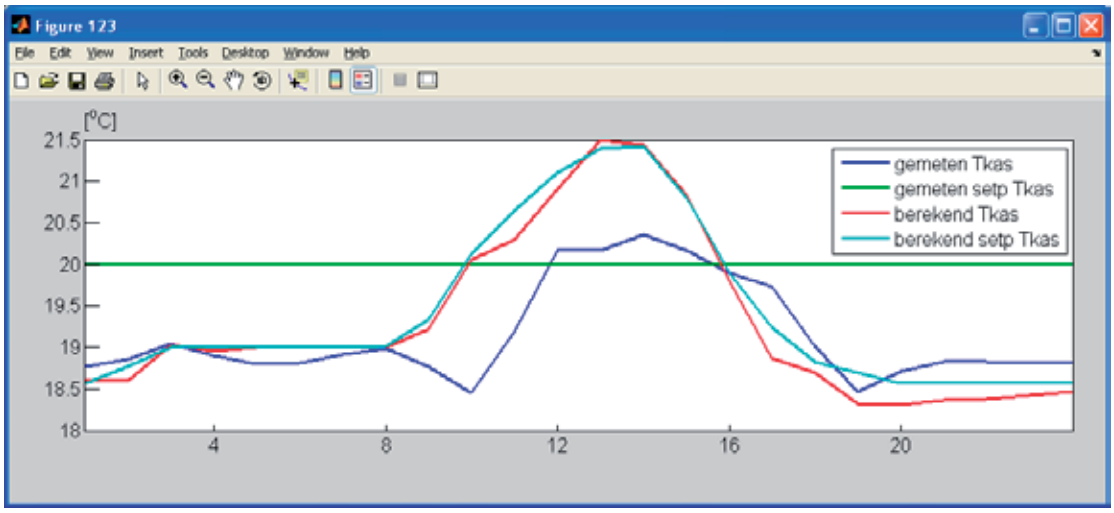
1.5 De voorjaarsteelt

In eerste instantie is gerekend alsof ook het klimaatmodel met een kleine kas van 1000 m^2 te maken had. In Figuur 58. zijn dan ook het gemeten energiegebruik (gemeten), het berekende energiegebruik (berekend) en het voor gevelinvloed gecorrigeerde energiegebruik (gem corr) gegeven.



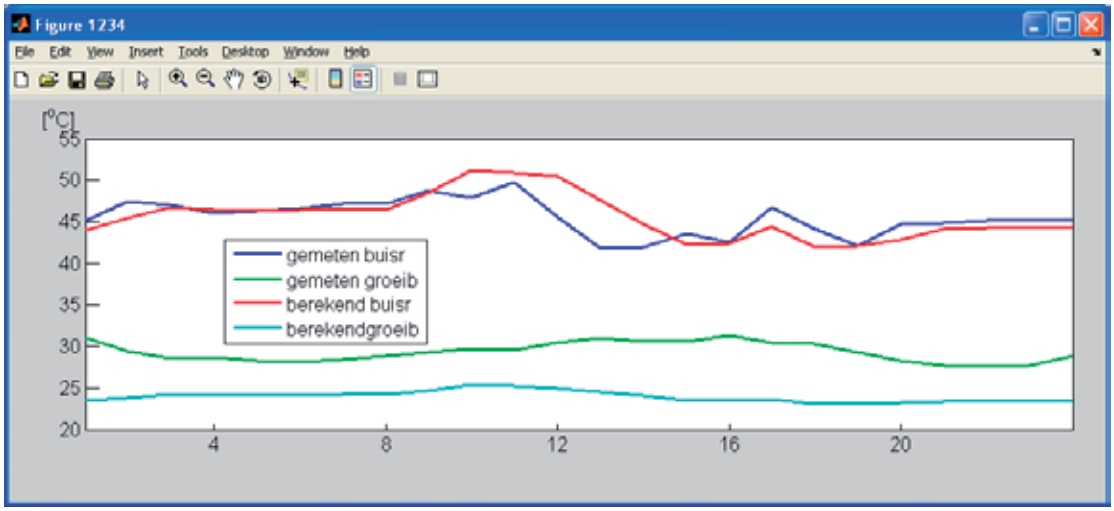
Figuur 58. Het gemeten, voor gevelinvloed gecorrigeerde en berekende energiegebruik voor de voorjaarsteelt

Het gemeten en berekende energiegebruik zouden op gelijk niveau moeten liggen. Week 2 valt direct op door de grote afwijking, waar de andere weken het gemeten en berekende energiegebruik weinig afwijken. Het lage energiegebruik van week 1 wordt veroorzaakt doordat deze week slechts 3 dagen gestookt is.
Wat kan de oorzaak zijn van de grote afwijking in week 2, bijvoorbeeld andere kasluchttemperaturen dan verwacht, opstoken van de afdeling bij de start van de teelt, ander schermgebruik, andere buistemperaturen enz. enz. Echter de oorzaak van deze ca. 50% afwijking kan niet gevonden worden. Om dit te verduidelijken zijn in Figuur 59. voor week 2 het cyclisch gemiddelde van de gemeten en berekende kasluchttemperatuur en de bijbehorende setpoints gegeven.



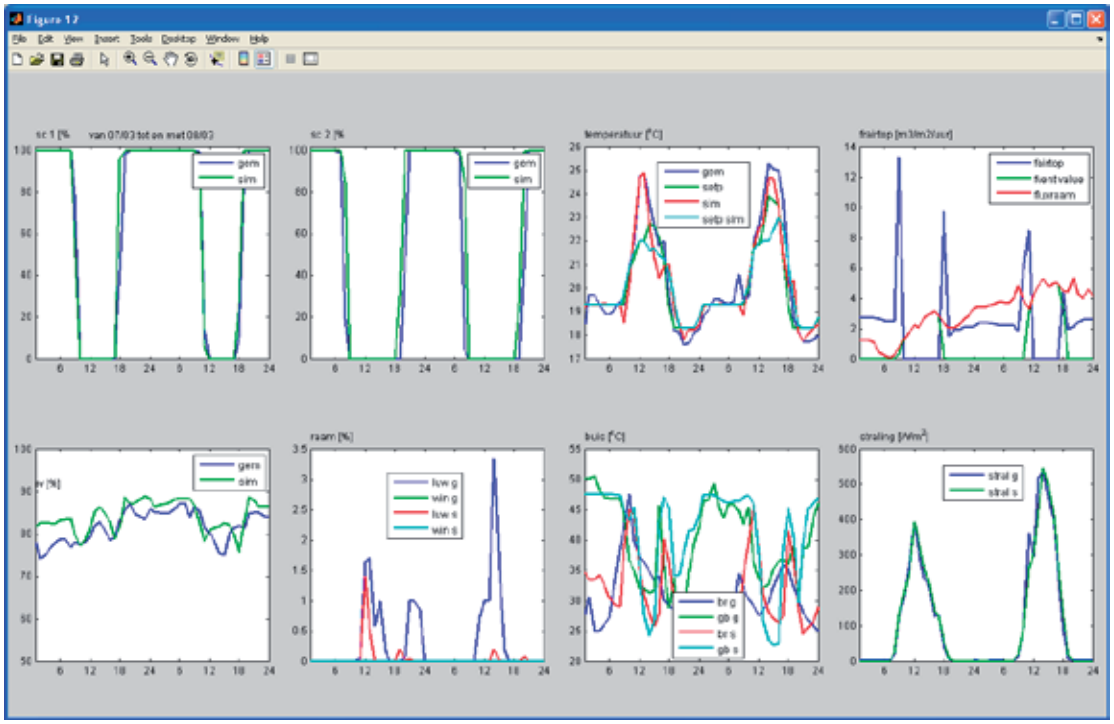
Figuur 59. Cyclisch gemiddelde van de gemeten en berekende kasluchttemperatuur en de bijbehorende setpoints in week 2

In de avond en nacht zijn er hoe genaamd geen verschillen in berekende en gemeten kasluchttemperatuur, maar overdag ligt de gemeten kasluchttemperatuur consequent ca. 1 graad lager dan berekend. Het gemeten setpoint verwarmen is voor deze week niet bruikbaar. Overdag komt de kas dus warmte te kort. Als dat zo is, zouden de berekende en gemeten buistemperaturen (ver) uit elkaar moeten liggen. In Figuur 60. zijn deze buistemperaturen gepresenteerd.



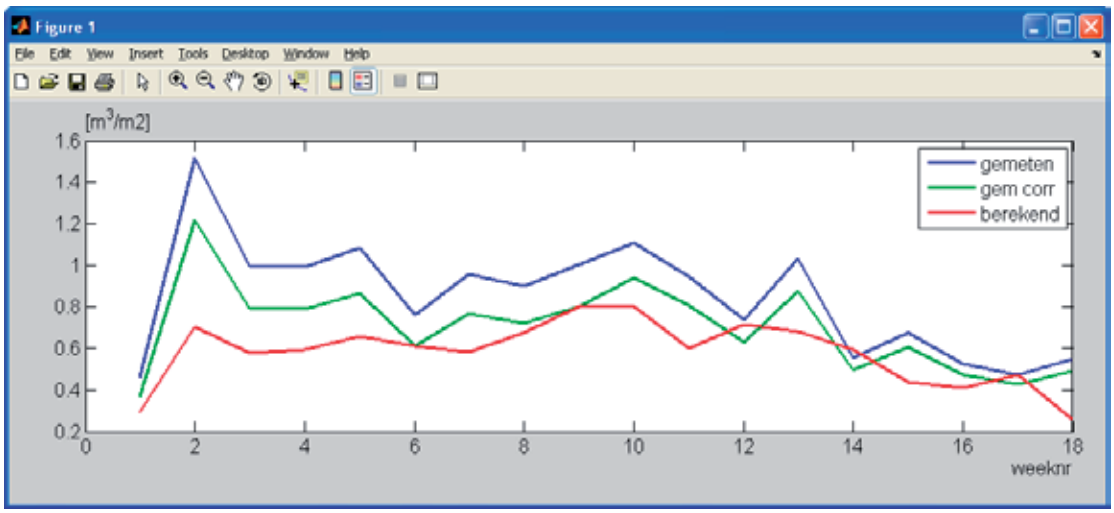
Figuur 60. Cyclisch gemiddelde van de berekende en gemeten buistemperaturen van week 2

Van belang bij deze Figuur is dat de gemeten buistemperaturen, de temperaturen op het verdeelstuk zijn, en de weergegeven berekende buistemperaturen de gemiddelde spiraaltemperatuur zijn. Bij een exact juiste weergave van de simulatie en gemeten waarden zal de berekende buistemperatuur dus altijd enkele graden onder de gemeten buistemperatuur moeten liggen. Voor de groeibuis is dit ook het geval, echter voor de buisrail regelmatig niet. Anders gezegd kan uit de buistemperaturen niet worden afgeleid dat er een groot verschil is tussen berekend en gemeten energiegebruik in week 2. Het verschil in berekend en gemeten energiegebruik (Figuur 1.), kan dan ook niet verklaard worden.



Figuur 61. Gerealiseerd en berekend klimaat op 7 en 8 maart 2009

Nadat gebleken is dat de berekende waarden de gerealiseerde waarden goed volgen, zijn de zelfde klimaatsetpoints gebruikt, maar nu in een kas van 4 ha. Het berekende en gemeten energiegebruik komen nu verder van elkaar maar juist weer dichter bij de gecorrigeerde waarde te liggen, zoals uit Figuur 62. blijkt.



Figuur 62. Gemeten, het voor gevelinvloed gecorrigeerde en het voor een grote kas berekende energiegebruik voor de voorjaarsteelt

Vergelijk van Figuur 58. met Figuur 62. laat zien dat in de eerste fase van deze teelt waar naast twee beweegbare schermen ook nog een vast folie aanwezig was (t/m week 7), het berekende energiegebruik nog onder het gecorrigeerde energiegebruik komt. Het grote verschil van week 2 is nog groter geworden, wat ook te verwachten is, er is immers geen oorzaak voor het oorspronkelijke verschil aan te geven. De laatste weken, zo rond begin mei is er vrijwel geen verschil meer, echter door de hoge buitentemperaturen in die periode was dat ook niet te verwachten. De gevelverliezen worden dan klein.

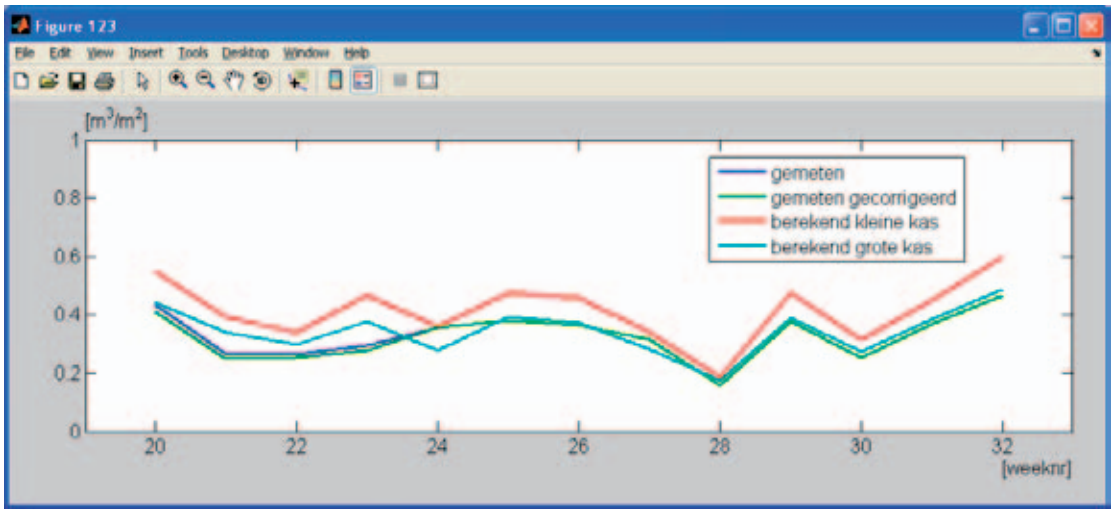
De voorjaarsteelt kan als volgt worden samengevat.

Tabel 9. Energiegebruik eerste teelt, bepaald middels vier methoden [m^3/m^2]

Gemeten	gecorrigeerd	berekend kleine kas	berekend grote kas
15.3	12.7	13.8	10.5

11.6 Zomer en herfstteelt

Voor de zomer en herfstteelt is op een met de voorjaarsteelt vergelijkbare werkwijze de analyse gemaakt.
Figuur 63. geeft voor de zomerteelt het gemeten gebruik, het gecorrigeerd verbruik voor de gevelverliezen, het voor de kleine afdeling berekende en het voor een grote kas berekende energiegebruik.



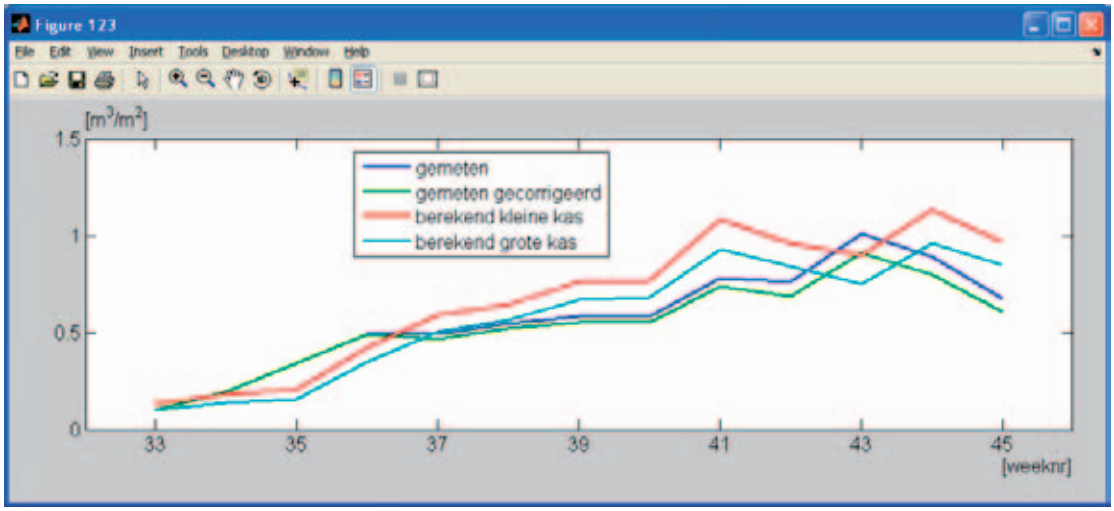
Figuur 63. Gemeten en berekende energiegebruiken voor de zomerteelt

Na week 24 is er geen correctie meer op het gemeten energiegebruik doorgevoerd. In Tabel 10. zijn de totalen gegeven.

Tabel 10. Energiegebruik zomerteelt, bepaald middels vier methoden [m^3/m^2]

Gemeten	gecorrigeerd	berekend kleine kas	berekend grote kas
4.3	4.2	5.4	4.5

Figuur 64. geeft voor de herfstteelt het gemeten gebruik, het gecorrigeerd verbruik voor de gevelverliezen, het voor de kleine afdeling berekende en het voor een grote kas berekende energiegebruik.



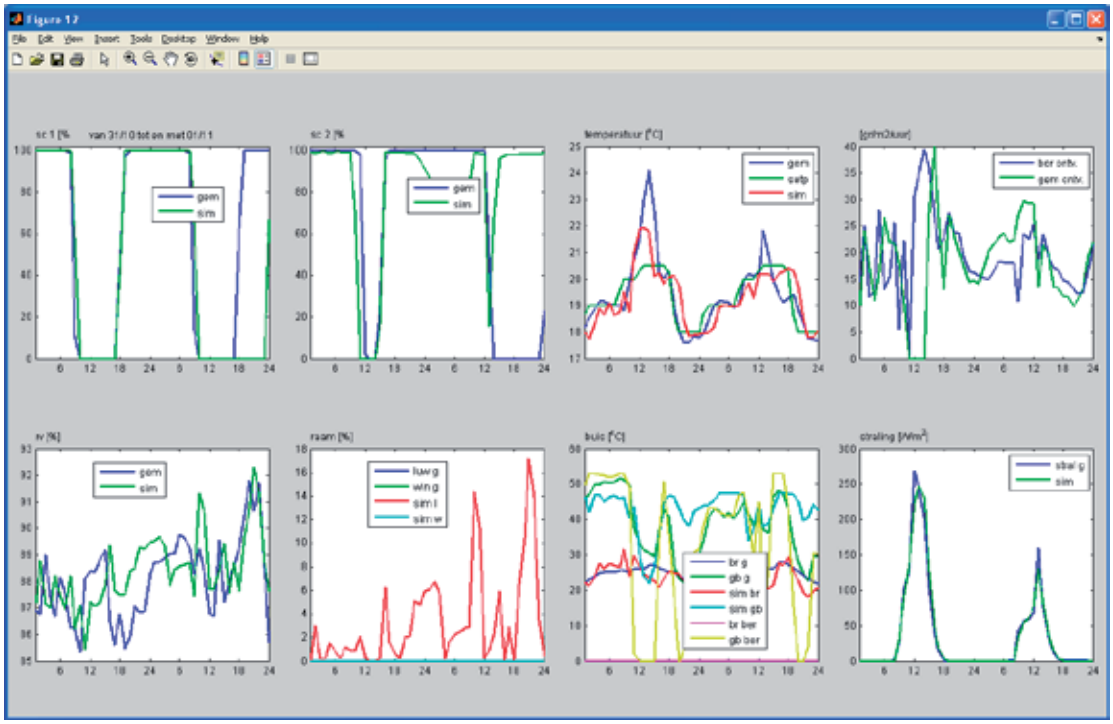
Figuur 64. Gemeten en berekende energiegebruiken voor de najaarsteelt

Vanaf week 37 zijn er weer correcties op het gemeten energiegebruik doorgevoerd. In Tabel 11. zijn de totalen gegeven.

Tabel 11. Energiegebruik zomerteelt, bepaald middels vier methoden [m^3/m^2]

Gemeten	gecorrigeerd	berekend kleine kas	berekend grote kas
7.4	7.0	8.7	7.5

Het energiegebruik en het kasklimaat matchen naar tevredenheid. Figuur 65. laat van de herfstteelt zien dat ook de ontvochtigingscapaciteit gemeten en berekend ook goed overeenkomen.



Figuur 65. Gemeten en berekende kasklimaatfactoren voor de najaarsteelt

Uiteraard zijn er momentane verschillen tussen de berekende en gemeten waarde. Meestal worden deze veroorzaakt door verschillen in setpoints. De in Figuur 65. getoonde data zijn van het einde van de teelt. Dan wordt snel iets toegegeven op vocht, maar mag de temperatuur oplopen om meer snelheid te creëren. Dat is ook de reden dat er in de simulatie nog geventileerd wordt (en het dus wat kouder blijft) dan in werkelijkheid.



Productschap Tuinbouw

Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie

Kas als Energiebron

Projectnummer: 3242092400

