

Exploratie energiebesparing bij Chrysant

Arie de Gelder, Frank Kempkes

© 2007 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

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

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

PPO Publicatienr. 3241502500



Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Glastuinbouw

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 83 00
Fax : 0317 - 47 83 01
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

SAMENVATTING.....	5
1 INLEIDING	7
1.1 Doelstelling	7
1.2 Aanpak	7
1.2.1 Werkpakket 1	7
1.2.2 Werkpakket 2	8
1.2.3 Werkpakket 3	8
2 BESCHRIJVING UITGANGSSITUATIE	9
2.1 Bedrijfsuitrusting.....	9
2.2 Regelingen	9
2.2.1 Kastemperatuur	9
2.2.2 Verwarming.....	10
2.2.3 Ventilatie	10
2.2.4 Vocht.....	10
2.2.5 CO ₂	10
2.2.6 Belichting	10
2.2.7 Scherm.....	10
2.3 Keuzes in de teelt die niet bij de energie besparing worden betrokken	11
2.4 Exploratie.....	11
2.4.1 Energiebesparingsopties	11
2.4.2 Temperatuur instelling.....	11
2.4.3 Temperatuur integratie	11
2.4.4 Minimumbuizen en vochtregeling.....	12
2.4.5 Andere opties die in het projectvoorstel zijn genoemd	12
2.4.6 Productkwaliteit	13
3 SIMULATIES	14
3.1 ZONDER WK-INSTALLATIE	14
3.2 MET WK-INSTALLATIE	23
4 COMBINATIES	29
4.1 Jaarbelastingsduurkrommes van gasverbruik	30
4.2 Beschikbaarheid van CO ₂	31
5 RESULTAAT VAN DE SIMULATIES.....	34
6 CONCLUSIE EN AANBEVELING.....	35
LITERATUUR.....	35

Samenvatting

Langer sluiten van schermen in de ochtend, energiezuinige vochtregelingen en sturen op planttemperatuur zijn mogelijkheden voor energiebesparing die in eerdere projecten zijn onderzocht bij groentegewassen. Chrysant is een hoofdgewas in de snijbloemen waar al deze maatregelen gecombineerd kunnen worden toegepast met als bijkomende factoren de sturing op daglengte, assimilatiebelichting en een grote variatie in rassen. Om na te gaan of deze maatregelen optimaal worden gebruikt is een “standaard teelt” beschreven. De uitgangspunten van de “standaard teelt” zijn met een teler en twee voorlichters besproken. Zij konden zich in de gekozen uitgangspunten goed vinden. Daarbij werd duidelijk dat productkwaliteit een eerste prioriteit heeft bij de telers.

Met de uitgangspunten voor de “standaard teelt” is in KASPRO het energieverbruik berekend. Daarbij zijn twee bedrijfsuitrustingen gekozen: een bedrijf met wk–installatie voor elektriciteitsproductie en een bedrijf zonder wk–installatie. In het belichtingsseizoen blijkt de gerealiseerde etmaaltemperatuur hoger te zijn dan de ingestelde temperatuur. Dit komt door de aanwezigheid van de assimilatielampen die licht en (teveel) warmte produceren.

Van de maatregelen die energiebesparing kunnen opleveren, blijkt dat alleen op het gebruik van de minimumbuis op het bovennet en op de schermkier regeling in de nacht energie te besparen is. Een besparing van 7 % werd berekend. Dit geldt voor bedrijven zonder wk–installatie. Dit komt overeen met het resultaat van het onderzoek Quick Scan chrysant.

De chrysantenbedrijven hebben andere maatregelen die in de groenteteelt zijn onderzocht verwerkt in hun regelingen. Cultivar keuze afgestemd op het seizoen en compartimentering bij grote bedrijven, kunnen het energie verbruik verlagen. Ondanks onderzoeken naar planttemperatuur is er in de praktijk nog veel vraag naar het thema planttemperatuur in relatie tot de ruimtetemperatuur en de verwarming, verlichting en schermen. Het is op dit moment niet mogelijk om de effecten hiervan via simulaties studies te beschrijven.

De meeste bedrijven (80 %) beschikken over een wk–installatie voor de belichting, daarom is gekeken naar de energie gebruiken bij verschillende omvang van de wk–installatie. In de overwegingen is ook de vraag naar en beschikbaarheid van CO₂ betrokken.

Bij een grote wk–installatie (50 W_e/m²) wordt in het belichtingsseizoen (1 september – 15 mei) warmte die overeenkomt met 3.5 m³/m² aardgas onnodig ingezet (Tabel 3 blz 29). De wk moet echter draaien vanwege de elektriciteit vraag op het bedrijf. In de zomer, als de wk alleen mag draaien als de warmte nuttig kan worden gebruikt, staat een grote wk geregeld stil. Situaties waarbij de wk moet draaien voor elektra levering en de warmte in de zomer vernietigd moet worden zijn buiten beschouwing gelaten.

Bij een kleinere wk–installatie (20 W_e/m²) wordt geen warmte vernietigd en draait de machine op jaarbasis ruim 1500 uur extra. De optimale combinatie van capaciteit van wk, ketel en inkoop van CO₂ is bedrijfsspecifiek. Duidelijk is dat een wk die volledig voorziet in de vraag naar elektriciteit voor de belichting niet optimaal is voor CO₂ dosering (Figuur 30 blz 33). Juist bij een kleine wk, als op jaarbasis de ketel geregeld moet worden gebruikt voor verwarming, is het weglaten van de minimumbuis op het bovennet zinvol om energie te besparen (Figuur 26 blz 30).

Mogelijkheden om de luchtramen langer gesloten te houden zullen ook bijdragen aan een hoger CO₂-niveau in de kas en daarmee de CO₂-vraag kunnen verlagen en of de productie verhogen.

Een groot deel van de warmte in de belichte chrysanten teelt is afkomstig van de belichting en de wk–installatie. Een besparing op energie in de chrysantenteelt zal in de efficiëntie van de belichting- armaturen en lampen- en de wk–wk–installaties gevonden moeten worden. Een verandering van het teeltsysteem- zoals Mobysant- kan met meer takken per m² bijdragen aan een hogere energie-efficiëntie.

1 Inleiding

In de teelt van chrysant en bij andere gewassen, waarin schermen voor daglengte worden toegepast, bestaan mogelijkheden voor energiebesparing uit: meer uren scherm dicht in combinatie met assimilatiebelichting, tijdelijk lagere ruimtetemperaturen, aangepaste CO₂ doseermomenten en een aangepaste vocht- en of vochtkierregeling.

In verschillende projecten is de werking van deze maatregelen aangetoond. Langer sluiten van schermen in de ochtend, energiezuinige vochtregelingen en sturen op planttemperatuur is vooral bij groentegewassen onderzocht. Chrysant is een hoofdgewas in de snijbloemen waar al deze technieken gecombineerd kunnen worden toegepast met als bijkomende factoren de sturing op daglengte, assimilatiebelichting en een grote variatie in rassen. De quick-scans bij chrysant (Ruijs, 2006) geven aanwijzingen dat dit inderdaad het geval is en dat er ruimte is voor verbetering. Verschillen in energiegebruik werden veroorzaakt door verschillende setpoints voor verwarmen, de vochtregeling en CO₂ dosering zonder nuttig gebruik van de warmte. De teler gaat daarbij uit van wat hij als betrouwbaar en haalbaar kent. Een regeling die alle mogelijkheden combineert, rekening houdend met de specifieke eisen van het gewas, is daarom zeer gewenst en moet ook praktisch worden bewezen. Dit laatste is nodig om blokkades bij telers om energiezuiniger te telen op te ruimen.

Wel zijn er ondernemers die met belichting op een relatief laag verbruik van 38 m³ gas komen (inclusief 4 á 5 m³ stomen).

Een duidelijk overzicht hoe alle technieken 'optimaal' kunnen worden ingezet ontbreekt en ook het gedrag van het gewas bij een optimale inzet is onbekend. Toepassing van de gecombineerde technieken kan alleen onder de voorwaarde dat de kwaliteit gegarandeerd blijft. Voor arbeid- en afzetplanning is het daarbij essentieel dat een strak teeltplan gerealiseerd kan worden.

1.1 Doelstelling

Technische doelstellingen

Op basis van kennis over gewaseigenschappen en klimaatstrategieën wordt een gecombineerde energiezuiniger klimaatregeling opgesteld. Deze regeling wordt niet in een experiment getoetst. Wel wordt beschreven hoe dit praktisch uitgevoerd zou kunnen worden.

Energiedoelstellingen

De gecombineerde strategie moet bij elke teler tenminste nog 5 % energie besparing opleveren ten opzichte van zijn gangbare regeling.

1.2 Aanpak

In de projectbeschrijving is de aanpak als volgt beschreven.

1.2.1 Werkpakket 1

Op basis van eerdere onderzoeken (o.a QuickScans) wordt een uitgangssituatie voor de kasklimaatregeling voor chrysant gekozen. In een eerste bijeenkomst met teeltvoorlichters wordt deze uitgangssituatie besproken.

De voorlichters wordt gevraagd om alternatieven die tot energiebesparing kunnen leiden aan te dragen. Met

deze alternatieven, samen met opties vanuit het onderzoek, worden varianten op de uitgangssituatie gemaakt. Hierin worden opties die niet gangbaar zijn, zoals langer gesloten houden van schermdoek, tijdelijk sterkere verlaging van temperatuur, andere gewasverwarming, toegepast. De verwachte effecten op groei en ontwikkeling worden beschreven. Hierbij wordt rekening gehouden met verschillen tussen rassen in temperatuurgevoeligheid. Bijzondere aandacht wordt besteed aan de mogelijkheid dat verschillende opties elkaar versterken of juist uitsluiten.

1.2.2 Werkpakket 2

Het doel in dit werkpakket is te komen tot een optimale combinatie van maatregelen in een kasklimaatregeling om energie te besparen. Daarbij wordt de gehele strategie van de teler bekeken. Daarnaast worden van de opties (maximaal 7) die in werkpakket 1 zijn gedefinieerd de klimaateffecten en het energiebesparingpotentieel van deze opties met KASPRO berekend. De opties die meer dan 2 % energiebesparing opleveren (maximaal 8 varianten) worden gecombineerd. Daarbij wordt in overleg met deskundigen de haalbaarheid van combinaties en de verwachte effecten vooraf ingeschat. Het kan voorkomen dat het combineren van de opties in KASPRO niet mogelijk is. Als dit voorkomt wordt alleen een kwalitatieve analyse van deze combinatie gegeven. De berekeningen worden gedaan voor twee verschillende streefwaarden van gemiddelde teelttemperatuur, om te onderzoeken of de maatregelen voor alle cultivars toepasbaar zijn. Er wordt ook een inschatting gemaakt van de teeltrisico's bijvoorbeeld voor condensatie op het gewas. Hiervoor wordt voor een aantal vaste verschillen tussen gewas- en kasttemperatuur het aantal uren natslag berekend.

Dit leidt tot een lijst van maatregelen die op basis van energiebesparing en teeltrisico en geldigheid voor een breder temperatuurtraject kunnen bijdragen aan energiebesparing. De opties worden op basis van deze twee elementen gerangschikt.

1.2.3 Werkpakket 3

In een bijeenkomst met enkele telers en een bijeenkomst met een groep teeltbegeleiders, worden de klimaatregeling en de opties om deze zuiniger te maken besproken. Daarbij staat de vraag centraal welke opties volgens deze ervaringsdeskundigen praktisch haalbaar zijn en of opties getoetst kunnen worden in de praktijk of dat toetsing in onderzoekskassen nodig is.

De uitkomsten van deze bijeenkomst vormen de basis voor de beschrijving van het vervolg.

De rapportage bevat een advies voor het vervolg en de wijze waarop dit kan worden opgezet. In dit advies zijn de bevindingen van het project Quickscan over het gedrag van de ondernemer en hoe die te beïnvloeden verdisconteerd.

2 Beschrijving uitgangssituatie

Een open deur bij het definiëren van een uitgangspunt is dat “de standaard uitrusting” en “standaard teelt” voor chrysant niet bestaan. De hieronder genoemde uitgangspunten zijn gekozen om tot een zo representatief mogelijk uitgangspunt te komen, dat in KASPRO na te rekenen is op energiegebruik, gerealiseerd klimaat en beschikbaarheid van CO₂. Onderstaande beschrijving is afzonderlijk besproken met twee teeltvoorlichters en een teler. Zij gaven allen aan dat de beschrijving een goede weergave is van de huidige praktijk en dat de genoemde opties voor energiebesparing in de praktijk bekend zijn en bij warmte te kort worden benut.

2.1 Bedrijfsuitrusting

Een modern chrysantenbedrijf bestaat uit een Venlo-kas

De lengte: breedte verhouding is vrijwel 1:1.

De poothoogte is 4.5 meter.

De kapbreedte is 4.8 meter met een vakmaat van 4 meter.

De verwarming bestaat uit een ondernet van 38 mm met 1.25 buis per meter kapbreedte en een bovennet van 57 mm met 0.625 buis per meter kapbreedte.

De ketel wordt gestookt met een contractcapaciteit voor aardgas van 110 m³/ha/uur.

Er is een combi condensor.

Voor de elektriciteitsvoorziening is er één wk–installatie, met rookgasreiniger.

Vermogen wk–installatie 500 kW_(el) en 595kW_(th) per ha., (verbruik is 136 m³/ha/uur)

De wk–installatie draait niet op deellast. (elektrisch rendement 42% en thermisch rendement 50%)

Alle warmte moet nuttig kunnen worden gebruikt. Dit betekent dat er geen strategie om de buffer extra leeg te trekken wordt toegepast anders dan de verder genoemde “standaard” instellingen.

In de zomer kan aan het net worden teruggeleverd. Teruglevering stopt als de buffer vol is.

De rest van de elektriciteit wordt ingekocht via het net.

Elektra voor de extra-uren belichten in de lange-dag wordt van het net ingekocht.

Voor de CO₂ voorziening is er een rookgasreiniger op de wk–installatie en een voorziening voor zuiver CO₂.

Voor de uren dat de wk–installatie geen CO₂ levert en er wel CO₂ vraag is wordt zuivere CO₂ ingezet.

Omdat zuivere CO₂ geen energie-post is wordt het doseerniveau hiervan verder niet in de overwegingen betrokken. Dit zal in de praktijk veel lager zijn dan wat met de wk–installatie wordt gedoseerd.

De warmte wordt gebufferd in een buffertank. Capaciteit 150 m³/ha

De assimilatiebelichting heeft een niveau van 75 μmol/s.m² PAR (6000 lux, 50 W_{er}/m²).

De kas is uitgerust met een verduisteringsscherm, zowel boven in de kas als langs de gevels. Afzonderlijk regelbaar. Het scherm heeft een isolatiewaarde van 50 %.

2.2 Regelingen

2.2.1 Kastemperatuur

Er wordt gestreefd naar een zo constant mogelijke etmaal temperatuur van 19 °C. Hiervoor wordt een

stooktemperatuur aangehouden van 18 °C dag en 20 °C nacht.
Deze basis instellingen voor temperatuur zijn zeer rassicifiek.

Korte periodes van lagere temperatuur (enkele uren van 15 °C) tijdens de dag, als er niet wordt geschermd, worden geaccepteerd. Er wordt niet bewust gestreefd naar compensatie binnen een etmaal door een hogere nachttemperatuur. Een hogere temperatuur wordt als de lampen branden onder het doek gemakkelijk gerealiseerd.

Bij een kasttemperatuur onder de 15 °C overdag wordt het scherm gesloten.

2.2.2 Verwarming

Het ondernet heeft een minimumbuis van 34 °C en een maximum buis van 37 °C. De minimumbuis wordt licht afhankelijk afgebouwd. Dit wordt gedaan in het traject van 250-350 W/m² instraling.

Het bovennet heeft een minimumbuis van 40 °C en een maximumbuis van 60 °C. De minimumbuis wordt licht afhankelijk afgebouwd. Dit wordt gedaan in het traject van 75-200 W/m² instraling.

Er wordt op het bovennet geen minimumbuis ingesteld als de lampen branden.

2.2.3 Ventilatie

De luchtingstemperatuur staat standaard 1 °C boven de stooktemperatuur en mag lichtafhankelijk in het traject van 100-300 W/m² toenemen met 2 °C.

In de periode 1 november – 15 maart is de luchtingstemperatuur 2 °C boven de stooktemperatuur.

In vakken tegen de bloei wordt geen lichtverhoging op de luchtingstemperatuur toegepast.

2.2.4 Vocht

Er is geen afzonderlijke regeling op luchtvochtigheid. De regeling voor verwarming, luchting en scherm moeten zorgen voor voldoende vochtafvoer.

Droogstoken van het gewas na een gietbeurt wordt niet gedaan.

2.2.5 CO₂

CO₂ wordt gedoseerd tot een niveau van 900 ppm als er licht is of als de lampen aan zijn.

2.2.6 Belichting

De belichting wordt ingezet in de periode 1 september tot 15 maart.

Bij een stralingsniveau van 200 W/m² wordt de belichting uitgeschakeld en bij daling onder de 150 W/m² weer ingeschakeld.

In de lange-dag periode gaat het licht 4 uur per etmaal uit. Van 19 uur tot 23 uur.

In de korte-dag periode brandt het licht van 7 uur tot 19 uur.

2.2.7 Scherm

Het verduisteringsdoek is gesloten voor het aantal uren dat voor de korte dag behandeling nodig is.

Tijdens de natuurlijke nacht wordt tussen 1 uur na zon-onder en 1 uur voor zon-op een kier van maximaal 30 % in het verduisterings scherm getrokken. De kier moet zorgen voor voldoende vocht en warmteafvoer.

Bij lage buitentemperaturen (< 5 °C) kan het schermdoek als isolatiescherm langer gesloten worden dan voor de daglengte behandeling nodig is. De schermdoeken worden bij voldoende daglengte dan geopend op straling. De opening ligt bij -5°C op 50 W/m² en bij +5°C bij 10 W/m²

2.3 Keuzes in de teelt die niet bij de energie besparing worden betrokken

Water geven gaat via een regeninstallatie over het gewas heen.

Eén keer per jaar wordt er gestoomd. Bij de inzet van de stoomketel wordt rekening gehouden met de contractcapaciteit voor gas. Er wordt 's nachts gestoomd; de wk-installatie is dan uitgeschakeld. Op de energie die voor stomen wordt gebruikt kan niet worden bezuinigd door verandering van de kasklimaatregeling. Deze wordt daarom buiten beschouwing gelaten. Isoleren van het stoomzeil is een maatregel die tot energie besparing kan leiden.

Voor gewasbescherming worden de ramen soms gesloten.

Voor een effectieve werking van de gewasbescherming moet het gewas soms een voldoende lange periode (3-4 uur) vochtig zijn om het middel te laten werken. Dan wordt de minimumbuis op het onder-net uitgeschakeld.

2.4 Exploratie

2.4.1 Energiebesparingsopties

Elke teler heeft een weer iets andere instelling van zijn klimaat als je naar de details van de regelingen gaat kijken. Een groot deel van de instellingen wordt vaak op het gevoel gemaakt. Daarnaast heeft de ondernemer zich aangeleerd met welke instellingen het gewas in de gewenste richting kan worden gestuurd.

In onderstaande lijst worden een aantal mogelijkheden besproken.

2.4.2 Temperatuur instelling

- Constantheid van temperatuur.
 - Lengte groei regulering, bloeitijdstip en bloemontwikkeling – kleur- zijn hiervoor belangrijke argumenten
- Bij een jong gewas mag iets meer afwijking (verhoging) van etmaaltemperatuur optreden dan bij een gewas tegen de bloei.

Deze twee punten bieden mogelijkheden voor telers die per gewasstadium aparte regelgroepen hebben. Zij moeten dan wel wekelijks hun instellingen aanpassen aan het stadium van gewasontwikkeling. Bij de toegenomen bedrijfsomvang van de chrysantenteelt en het streven naar hoge constante kwaliteit is investeren in compartimentering van de klimaatregeling zeker het overwegen waard. Daarbij geldt dat telers die de verwarming zo regelen dat het onnodig doorschieten van de temperatuur voorkomen wordt, een energiezuinige strategie volgen. Ook een ruime afstand tussen de stook- en luchtlijn kan hierbij effectief zijn. De gewenste temperatuur is cultivar afhankelijk. Door de sortimentskeuze, cultivars met een lage gewenste temperatuur in de winter en meer warmte vragende rassen in de zomer, kan optimaal van de raseigenschappen worden geprofiteerd.

2.4.3 Temperatuur integratie

- Temperatuur integratie kan hoogstens op etmaal basis worden toegepast als de verwarmingscapaciteit te kort schiet. Telers accepteren korte periodes van te lage temperatuur.

Hier is geen winst te halen, alleen door bewust een lagere stooktemperatuur te kiezen is energie te besparen. Dit zal echter in de meeste gevallen tot teeltvertraging leiden die ook gezien vanuit de arbeidsplanning ongewenst is. De stooktemperatuur is al optimaal voor de cultivar.

2.4.4 Minimumbuisen en vochtregeling

- Minimumbuis zowel op onder- als bovennet.
 - Ondernet: beter voor luchtbeweging en energiebesparing. Warmte gaat van onder naar boven. Stimuleert verdamping. Verdamping stimuleren wordt ook gedaan om stress bij scherpe overgangen te voorkomen.
 - Bovennet: Ook op dit net wordt veelvuldig een minimumbuis ingesteld. Als reden wordt meestal het creëren van luchtbeweging genoemd. Aan de effectiviteit hiervan kan getwijfeld worden.
- Geen vochtregeling op scherm. Wordt algemeen als te onrustig gezien en onbetrouwbaar. Dit heeft te maken met onnauwkeurigheid van de meting.
- Schermkierregeling doek tijdens de nacht.
 - De kierregeling wordt vaker ingezet voor warmteafvoer dan voor vochtafvoer. Vanuit de geïnterviewde bedrijven (quick scans), wordt meestal aangegeven dat er niet actief op vocht wordt geregeld. Dit betekent dat de gekozen instellingen zodanig zijn dat er geen vochtproblemen ontstaan. Dit wordt veelal gerealiseerd door middel van minimumbuisen, en of minimum raamstanden.

Bij de regeling van de minimumbuis en de vochtuithouding is nog energiebesparing te bereiken. Nu staan deze veelal vrij ruim en wordt standaard een minimumbuis ingesteld omdat er warmte beschikbaar is in de buffer vanwege de CO₂ dosering. Als de CO₂ bron verandert – van rookgas naar OCAP of zuiver – is er minder warmte nodig en kan veel meer direct op vocht geregeld worden.

De nieuwe generatie elektronische vochtmeters is voldoende betrouwbaar om hierop goed te sturen. Bij een vochtregeling horen een rustige regeling van het scherm, de luchtramen en het bovennet. Het gebruik van het bovennet is niet nodig en kan leiden tot een besparing van 7 % (hoofdstuk 3).

2.4.5 Andere opties die in het projectvoorstel zijn genoemd

- langer gesloten houden schermdoek.
- een doek of kasdek met hogere isolatie waarde.

Telers zijn nu al bereid het schermdoek te sluiten en de lampen aan te doen als ze warmte tekort komen. Anderzijds als ze het schermdoek langer sluiten, zal er eerder een warmteoverschot gaan ontstaan. Dat betekent dat de wk-installatie kleiner zou moeten zijn en er meer elektra van het net moet worden betrokken. Een verlenging van het sluiten van het doek levert lichtverlies en daarmee productieverlies op die groter kan zijn dan de opbrengst van de energiebesparing.

- De nacht kierregeling in het schermdoek zou niet op warmte gebaseerd moeten zijn maar op vocht.

Als de kierregeling gebruikt wordt voor verlaging van de etmaaltemperatuur, zonder dat dit gas kost, dan is een nachtkierregeling op temperatuur gerechtvaardigd.

- Sterkere afwijkingen in temperatuur gedurende korte periode.

Dit wordt door telers al geaccepteerd. Zie ook temperatuurintegratie. Wel geven telers aan dat de rustig willen regelen om scherpe overgangen te voorkomen.

- Andere gewasverwarming.

Ondanks onderzoeken naar planttemperatuur is er in de praktijk nog veel vraag naar het thema planttemperatuur in relatie tot de ruimtetemperatuur en de verwarming, verlichting en schermen. Door een verdere verbetering op dat punt is een verdere optimalisering van de klimaatregeling en het energiegebruik

daarvoor mogelijk. Het is op dit moment niet mogelijk om de effecten hiervan via simulatiestudies te beschrijven.

2.4.6 Productkwaliteit

In de discussie met de teler kwam bewaking van kwaliteit als een heel belangrijk aandachtspunt naar voren. Om een goede marktpositie te behouden is levering van constante en goede kwaliteit absoluut een vereiste. De energie die hierbij nodig is, is voor de ondernemer van ondergeschikt belang. Daarbij is de beschikbaarheid van warmte uit de wk-installatie een gunstige conditie. Volgens een van de voorlichters heeft meer dan 80% van de bedrijven een wk-installatie.

3 Simulaties

In KASPRO zijn simulatie berekeningen gemaakt voor het kasklimaat voor de standaardteelt. De simulaties zijn gedaan voor een situatie zonder en met grote wk–installatie.

De referentiesituatie zonder een wk–installatie heeft in de simulaties een gasverbruik voor de KD situatie van $30.8 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Als de minimumbuis op het bovennet jaarrond uit wordt gezet, daalt het gasverbruik naar $28.3 \text{ m}^3/\text{m}^2$, een besparing van 7 procent. Hierbij is wel gelijktijdig het setpoint vocht verlaagd wordt van 90 naar 88 % om vocht problemen te voorkomen .

Tussen deze beide uitersten kunnen een aantal varianten worden geplaatst, waarbij een kleiner wk vermogen wordt opgesteld. Daarnaast kan de CO_2 voorziening uit een andere bron worden gerealiseerd.

Eerst worden de resultaten zonder wk–installatie gegeven (3.1), daarna met wk–installatie (3.2). Voor beide situaties worden gegevens van specifieke dagen weergegeven en van het gehele jaar.

In hoofdstuk 4 wordt vervolgens gekeken naar de gevolgen van combinatie van verschillende vermogens van de wk–installatie, ketel en de inkoop van CO_2 uit een andere bron.

3.1 ZONDER WK–INSTALLATIE

Winterdag - 16 januari

Op deze dag met weinig straling (max $80 \text{ W}/\text{m}^2$) zorgt de minimumbuis overdag in combinatie met de belichting, (ca. $50 \text{ W}_{\text{electrisch}}$) samen met het lang scherm (die volgens onderstaande tabel sluit) ervoor dat in de Korte Dag fase van de teelt het vrijwel de gehele dagperiode te warm is (Figuur 1). De gerealiseerde temperatuur ligt ruim boven het setpoint en komt soms boven de ventilatietemperatuur uit.

De schermopenstrategie wordt volgens onderstaande tabel uitgevoerd (omgekeerde geldt het zelfde voor het sluiten) en werkt op een combinatie van buitentemperatuur en globale straling

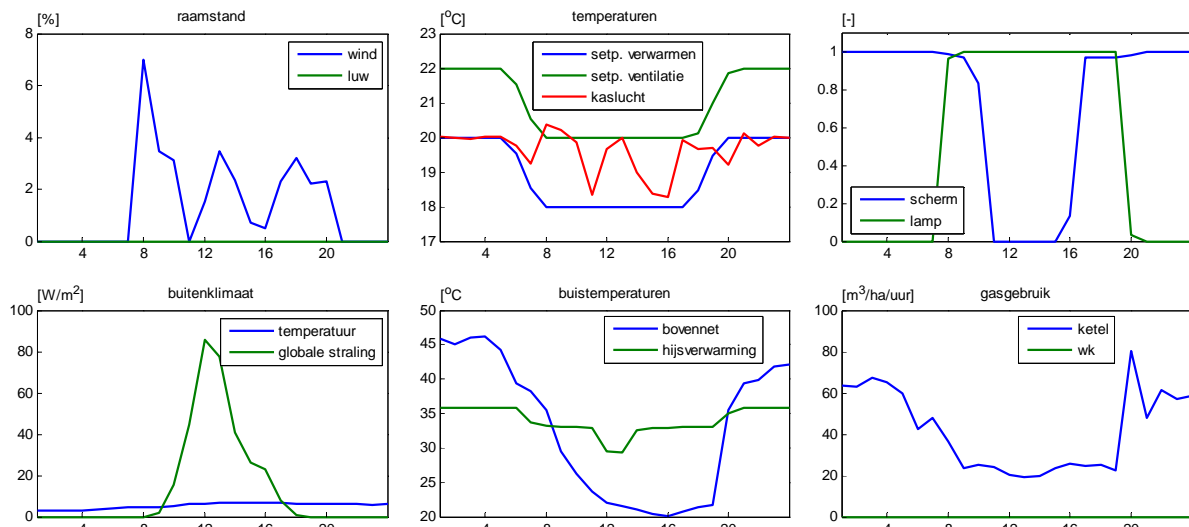
buitentemperatuur[°C]	globale straling [W/m^2]
-20	50
-5	50
5	10.
10	1
50	1

De minimumbuis temperaturen in de grafiek lijken iets te laag, maar dit is een gemiddelde buistemperatuur, waar de tuinders bij opgave uitgaan van de temperatuur aan de regelklep. Overdag zakt de minimumbuis even weg op het licht. Er wordt regelmatig gelucht, veelal boven het scherm om maar temperatuur kwijt te raken. Dit is een regelmatig terugkerend beeld in de winter.

In figuur 1 zijn van voor de korte dag- situatie de uurgemiddelde waarden weergegeven.

Voor de Lange Dag fase is het zo mogelijk nog wat ongunstiger. (figuur 2).

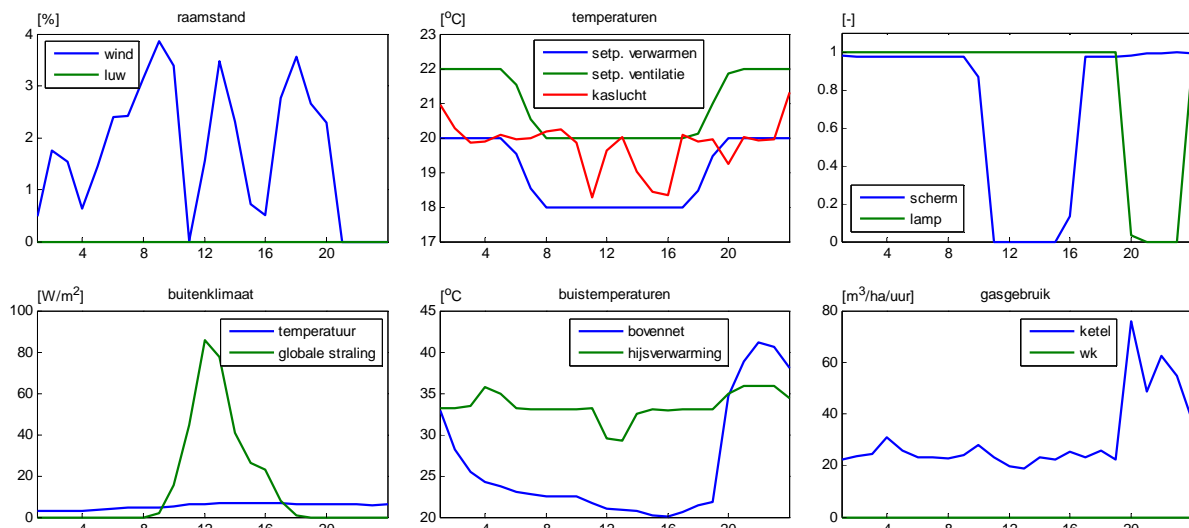
Doordat de lampen de hele nacht aanzijn wordt er gelucht (rode lijn staat op groen). De gekozen voorbeeld dag heeft een lage buitentemperatuur. Op warmere dagen zal er meer gelucht worden.



Figuur 1 Dagverlopen van de belangrijkste kasparameters van een korte dag fase in de winter (16 januari)

De grafieken komen wat hoekerig over omdat er uurgemiddelden worden weergegeven. Binnen dat uur is er uiteraard variatie. Dit kan er ook voor zorgen dat volgens het uurgemiddelde de kasluchttemperatuur niet boven de ventilatietemperatuur is uitgekomen terwijl er in dat uur wel geventileerd is op temperatuur. Voor het subfiguur in de rechterbovenhoek (scherm en lamp) geldt dat 1 dicht respectievelijk aan en 0 scherm open en lamp uit is.

De effecten van het aan- en uit-schakelen van de lampen en het openen en sluiten van het scherm zijn goed terug te vinden in het verloop van de kasluchttemperatuur (rode lijn in het middenboven figuur). Als de lampen aan zijn, is er alleen een minimumbuitemperatuur op het ondernet, zoals in paragraaf 2.2.2 is beschreven.

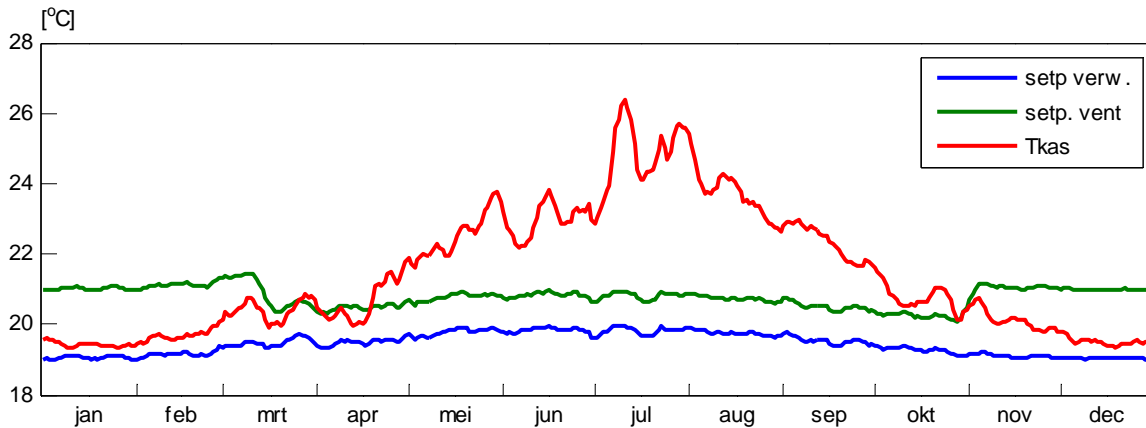


Figuur 2 Dagverlopen van de belangrijkste kasparameters van een lange dag fase in de winter (16 januari)

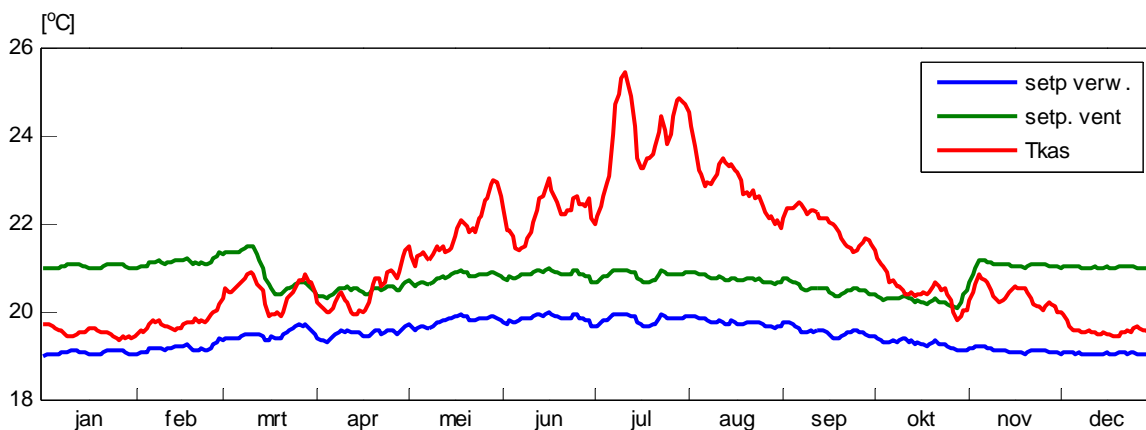
In de lange-dag fase is er in de nacht bij gesloten scherm en de lampen aan nog net geen sprake van een

warmteoverschot. Hoewel het niet duidelijk te zien is, stijgt de buitentemperatuur gedurende deze dag geleidelijk van ca 2°C naar 8 °C. (figuur links onder) Dan blijkt ook dat ondanks de steeds verder wegzakkende temperatuur van het bovennet, de kasluchttemperatuur gelijk blijft maar er wel steeds meer geventileerd wordt in de periode tussen 4 en 8 uur.

Naast individuele dagen zoals in Figuur 1 en Figuur 2 gepresenteerd, zijn deze ook berekend voor het hele jaar. Hieronder volgen algemene klimaatgrafieken met daggemiddelde waarden voor het hele jaar. Voor de duidelijkheid zijn ze wat afgevlakt door een voortschrijdend gemiddelde over 7 dagen te nemen. Figuur 3 laat zien dat de etmalen altijd minimaal 0.5 graad boven het setpoint liggen.



Figuur 3 Etmaal gemiddelde temperaturen voor de korte dag.

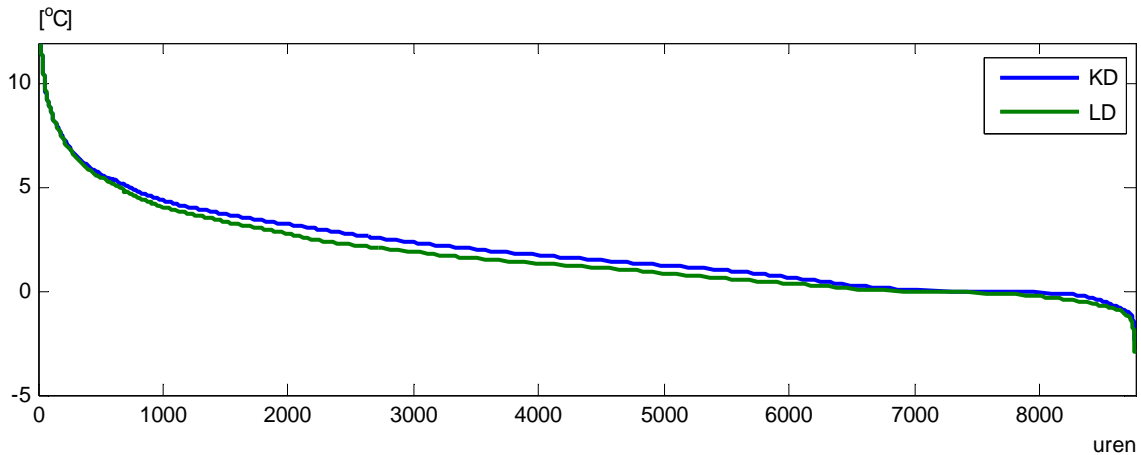


Figuur 4 Etmaal gemiddelde temperaturen voor de lange dag.

In het belichtingsseizoen is de kas met langedag duidelijk warmer dan de afdeling met kortedag. Daarbuiten vaak weer net iets koeler dan de kortedag kas omdat de er wat minder geschermd wordt. Er is dus voldoende warmte beschikbaar om een hoge temperatuur te realiseren.

Bovenstaande figuren kunnen ook op een andere manier gepresenteerd worden, namelijk volgens een jaarbelastingduurkromme. Bij een jaarbelastingduurkromme is voor iedere waarneming, in dit geval voor ieder uur, een sortering gemaakt van hoogste naar laagste waarde. Hierdoor kan eenvoudig duidelijk worden gemaakt hoe vaak (uren) een gewenste dan wel ongewenste situatie voorkomt. In Figuur 5 is het

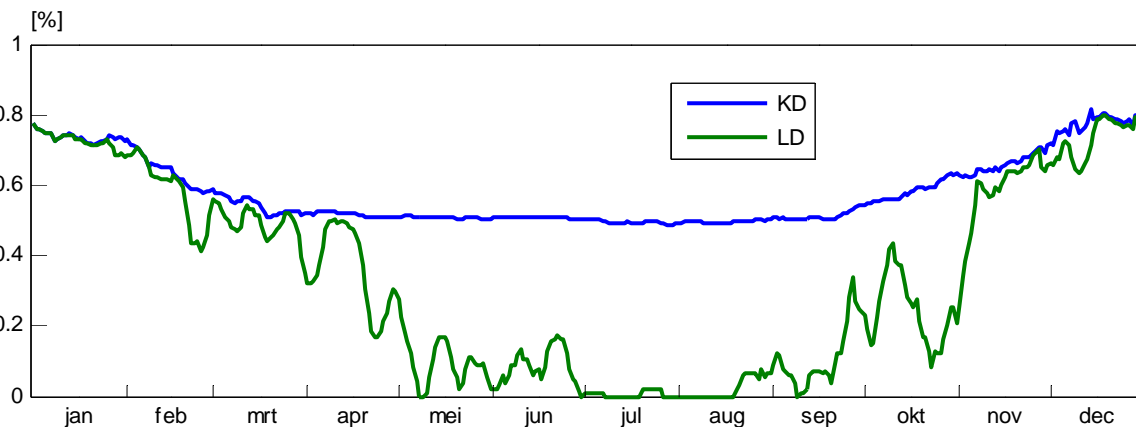
temperatuurverschil tussen de gerealiseerde kasluchttemperatuur en het setpoint verwarmen in een jaarbelastingduurkromme voor zowel de lange- als de korte-dag weergegeven.



Figuur 5 Jaarbelastingduurkromme van het temperatuurverschil gerealiseerde kasluchttemperatuur- setpoint verwarmen.

Er zijn maar een beperkt aantal uren waarbij de gerealiseerde kasluchttemperatuur onder dat van het setpoint verwarmen komt (uiterst rechter deel van figuur, waar het verschil negatief wordt). Hierbij is de onderschrijding van het setpoint verwarmen ook nog beperkt tot maximaal enkele graden. De gewenste temperatuur in de kas kan dan ook vrijwel altijd goed gerealiseerd worden.

In Figuur 6 is de daggemiddelde schermstand voor de korte- en lange-dag kas weergegeven.



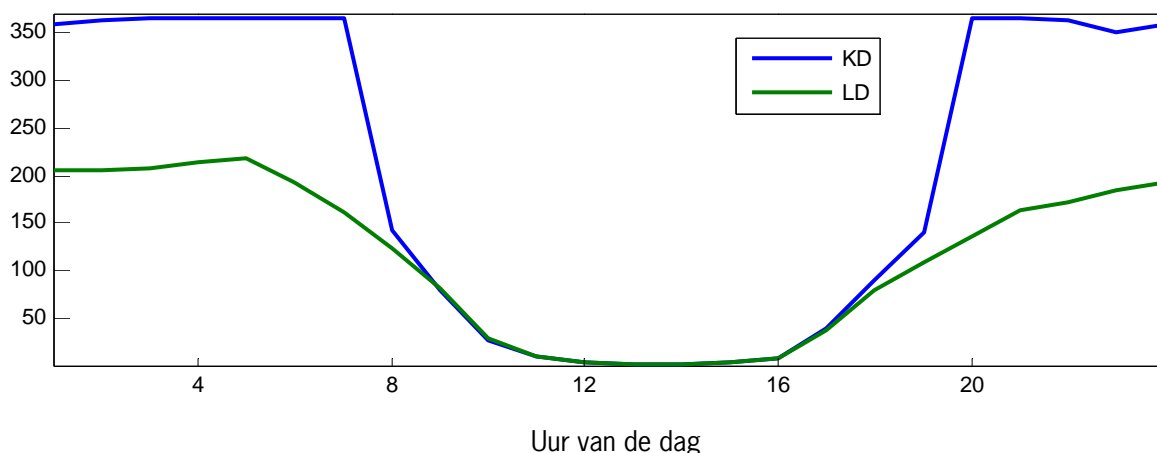
Figuur 6 Daggemiddelde schermstand voor de korte- en lange-dag kas.

De in dit figuur gegeven waarden moeten als een daggemiddelde worden zien. Dus als een fractie van de dag waarbij 1 dus staat voor 24 uur.

In de lange dag fase wordt op jaarbasis 2743 geschermd en in de korte dag fase 4896 uur. Hierbij zijn alleen de uren geteld dat het scherm meer dan 90% gesloten is geweest

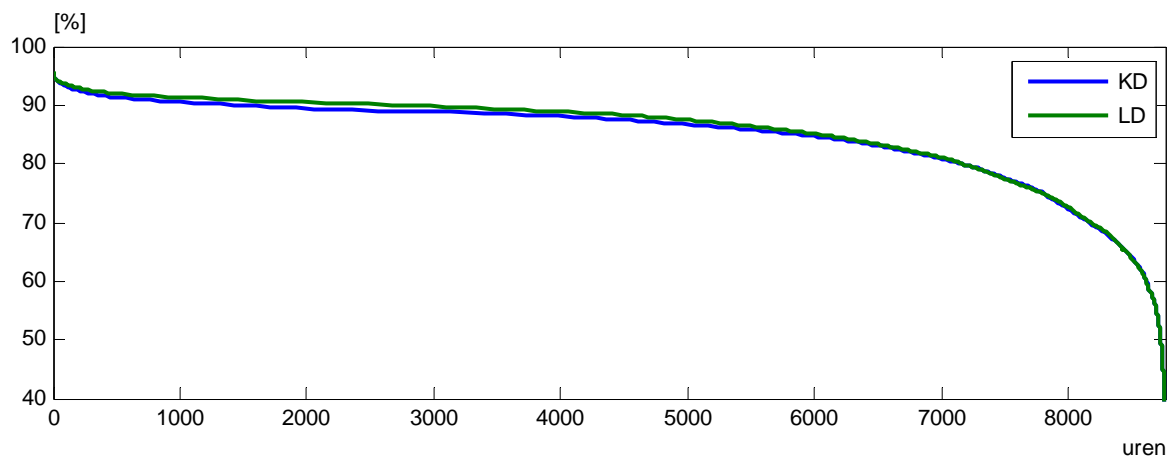
Veel meer schermuren zullen zonder productie verlies moeilijk te realiseren zijn, omdat extra schermuren juist in de winterdag tijdens de daguren gevonden moeten worden. Om dit te illustreren is in Figuur 7 voor ieder uur van de dag van zowel de korte- als de lange-dag fase weergegeven hoeveel dagen van het jaar het scherm op dat uur van de dag gesloten (meer dan 90% dicht) is geweest.

Aantal dagen van het jaar



Figuur 7 Per uur van de dag het aantal dagen van het jaar dat het scherm gesloten (meer dan 90% dicht) is voor zowel de korte- als de lange-dag fase.

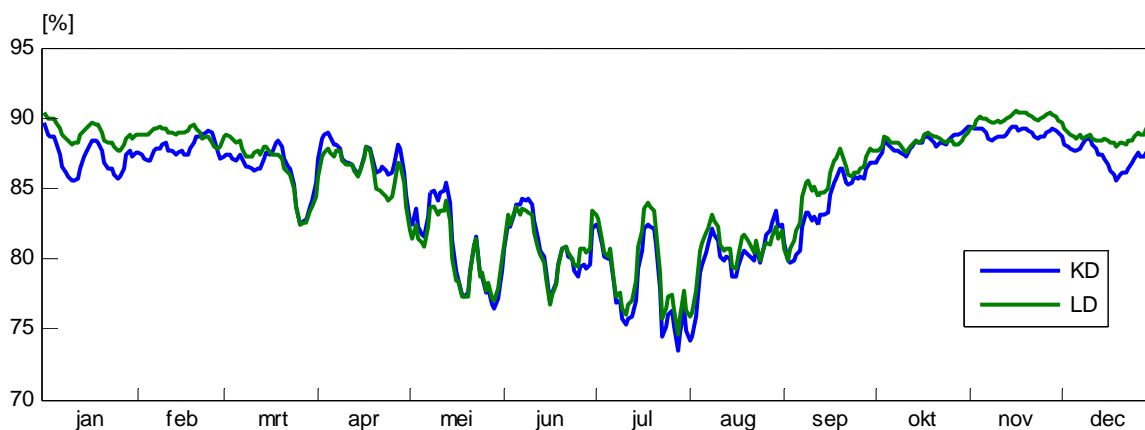
Hoewel in de interviews van het “quick-scan” project door de ondernemers is aangegeven dat er niet op vocht wordt geregeld, is het gerealiseerde vochniveau van groot belang. In Figuur 8 is de jaarbelastingduurkromme van de kaslucht RV van zowel de korte- als de lange-dag fase gegeven



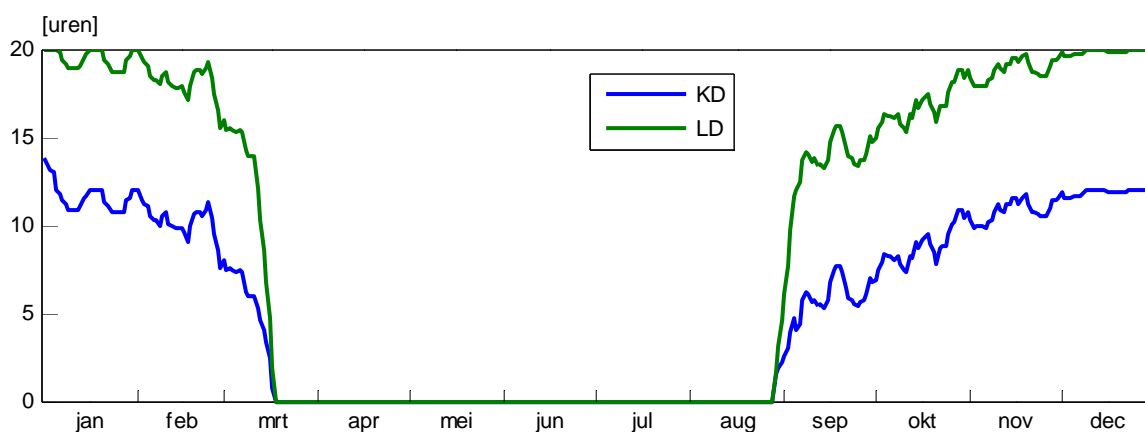
Figuur 8 Jaarbelastingduurkromme van de RV voor de korte- en de lange-dag fase.

Er is relatief weinig verschil tussen de langedag en kortedag kas, wel is RV nog meer dan 2800 uur voor de kortedag en 1400 uur voor de langedag boven de 90%. De jaarbelastingduurkromme zegt niet wanneer de uren met hoge of lage relatieve vochtigheid in de loop van een dag optreden. Het maximum niveau is 95% en een niveau van meer dan 94% komt slechts enkele tientallen uren voor.

Gelet op het grote aantal uren met een luchtvochtigheid boven de 85 % kan niet door nog vochtiger te gaan telen een voordeel voor energie besparing worden bereikt, omdat bij een nog hogere luchtvochtigheid de risico's op kwaliteitsverlies te groot worden. Figuur 9 laat zien dat in de winterperiode door het intensieve schermen en belichten in de lange-dag fase het vocht op een hoger niveau komt te liggen dan in de korte dag fase. Bij de start van de teelt wordt een hogere luchtvochtigheid dus wel geaccepteerd.



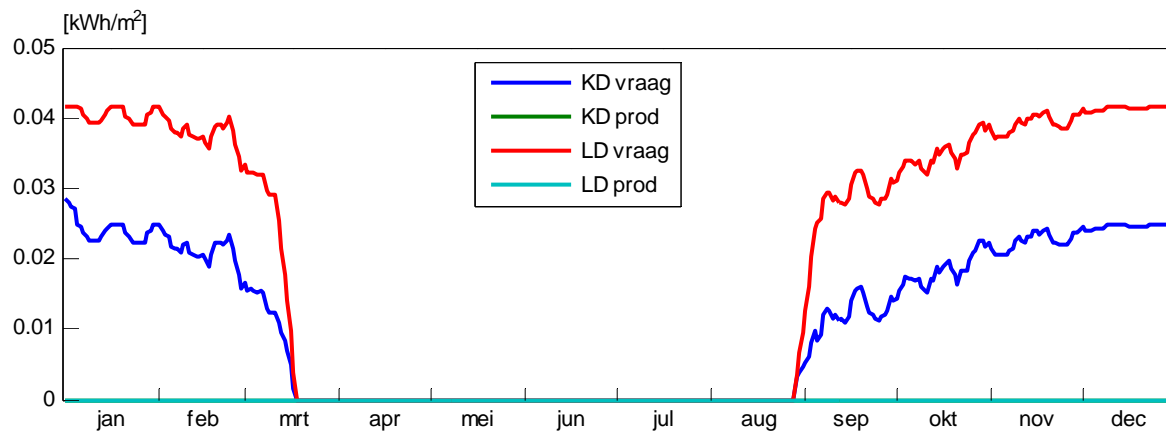
Figuur 9 Daggemiddelde kaslucht RV.



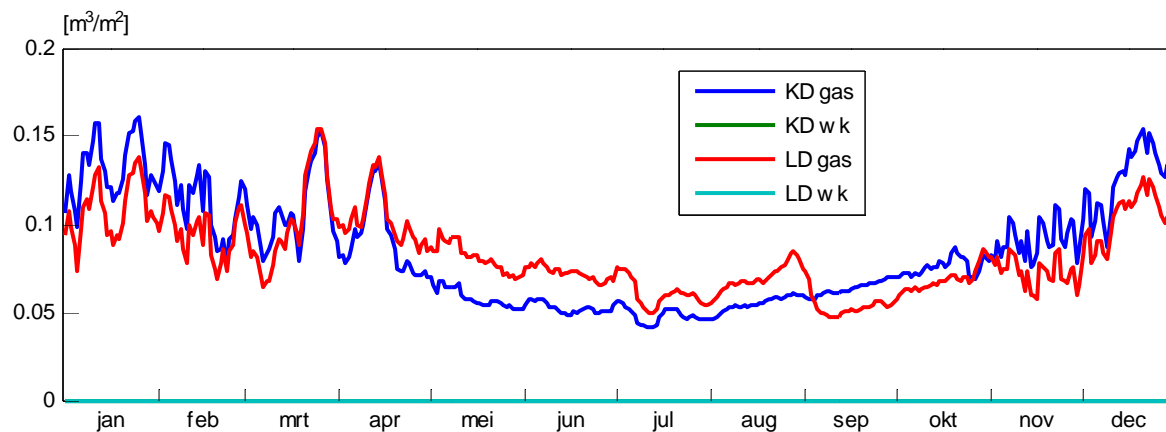
Figuur 10 Gemiddeld aantal branduren van de lampen voor de korte- en lange-dag kas

In Figuur 10 is het gemiddelde aantal branduren per dag van de lampen gegeven. De lampen hebben in totaal 1886 en 3431 uur gebrand. De uren belichting zijn een gegeven. In de chrysantenteelt wordt standaard belicht. Met het geïnstalleerde vermogen aan lampen wordt ook bepaald hoeveel warmte er door de lampen in de kas ingebracht. Losstaand van hoe deze elektriciteit wordt ingekocht (eigen productie met wk-installatie of inkoop van uit het openbare net of een combinatie), wat een grote invloed heeft op het warmteoverschot, zie paragraaf 3.2, zal meer of minder belichting dit mogelijke overschot aan warmte wel beïnvloeden.

In Figuur 11 is de bijbehorende elektriciteitsvraag van de lampen per dag gegeven. Omdat er geen eigen wk-installatie aanwezig is zijn de korte- en lange-dag productie in dit figuur nul.

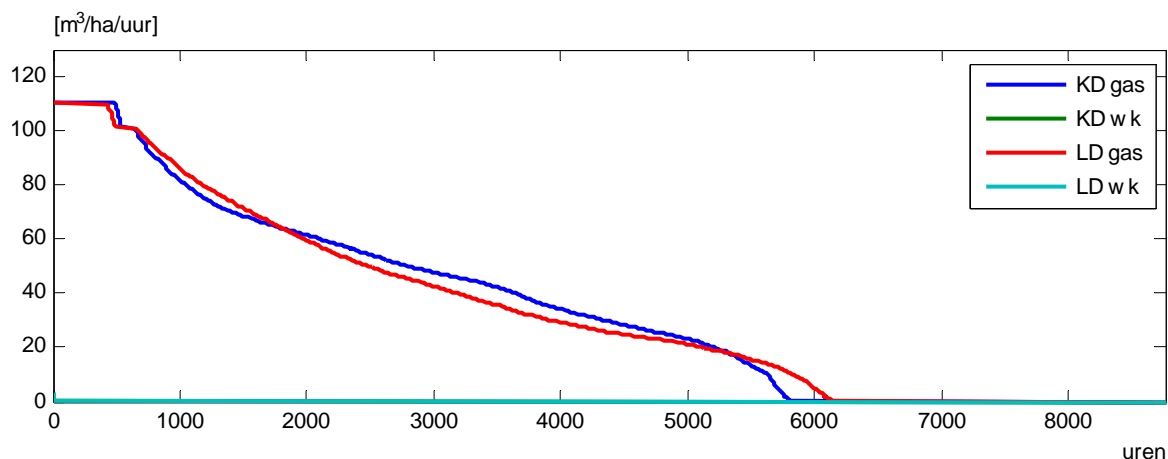


Figuur 11 Gemiddeld elektriciteitsgebruik van de lampen voor de korte- en lange-dag kas



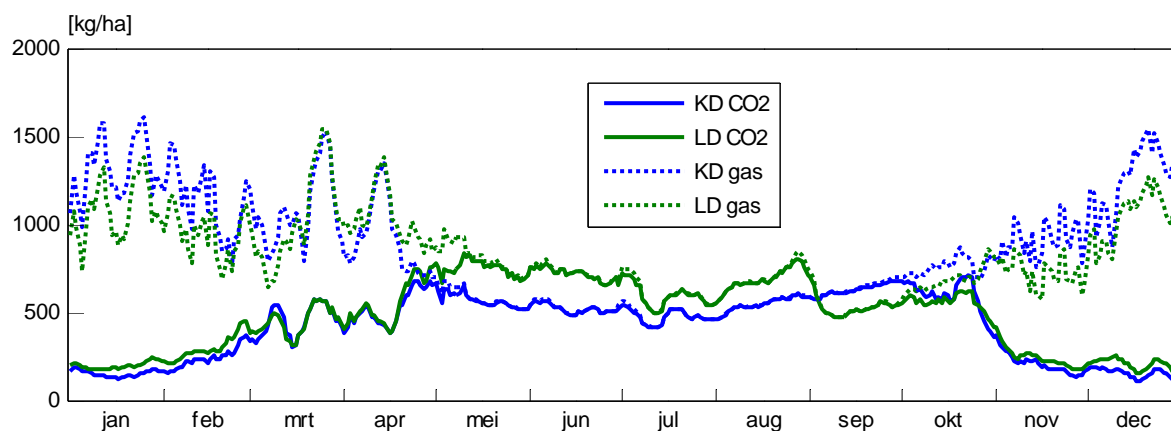
Figuur 12 Gemiddeld dagelijkse gasgebruik van de korte- en lange-dag kas)

In Figuur 12 is het dagelijkse gasgebruik van de ketel voor de lange- en korte-dag kas gegeven. In de herfst/winter is het gasverbruik voor de kortedag fase hoger dan in de langedag fase omdat minder met de lampen wordt verwarmd. In de zomer is door het eerder openen van de schermen het gasverbruik in de langedag fase hoger. Ook het gasgebruik kan in een jaarbelastingduurkromme worden samengevat. Dit is in Figuur 13 gedaan.



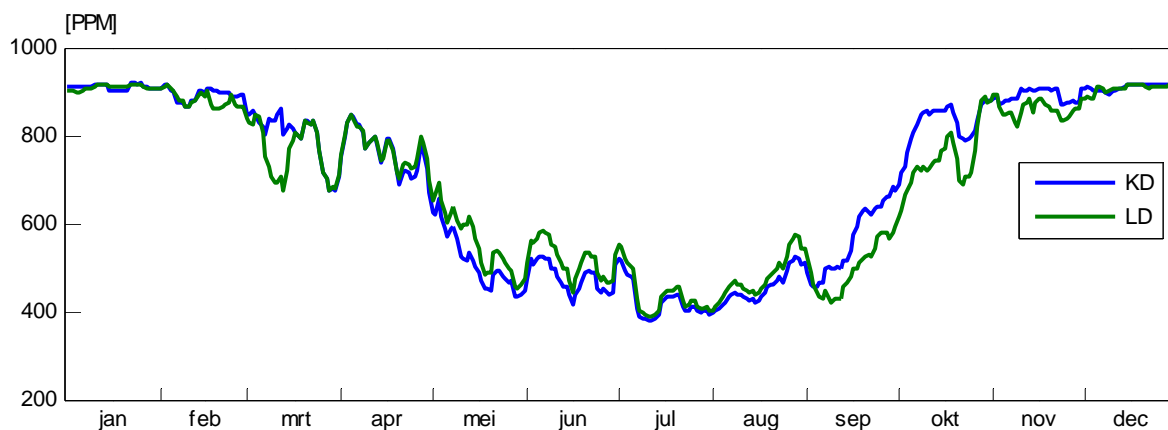
Figuur 13 Jaarbelastingduurkromme van het gasgebruik CO₂ van de korte- en lange-dag kas

Aantal uren met maximum afname wordt bepaald door het openbuffersysteem. Dat betekent de buffer op koude dagen in de winter voldraaien om pieken in warmtevraag op te kunnen vangen. Het maximum urengebruik is ca. 110 m³/ha/uur. Het plateau op 100 m³/ha/uur komt door de CO₂-branderstand, die maximaal 100 m³/ha/uur is. Dit moet meestal teruggeregeld worden omdat de buffer anders te snel vol komt. Van het gebruikte gas wordt een groot deel als CO₂ gedoseerd. In het volgende figuur is voor iedere dag het gasgebruik en het deel van het gas dat als CO₂ is gedoseerd weergegeven.



Figuur 14 Gemiddeld dagelijkse gasgebruik en gedoseerde CO₂ van de korte- en lange-dag kas

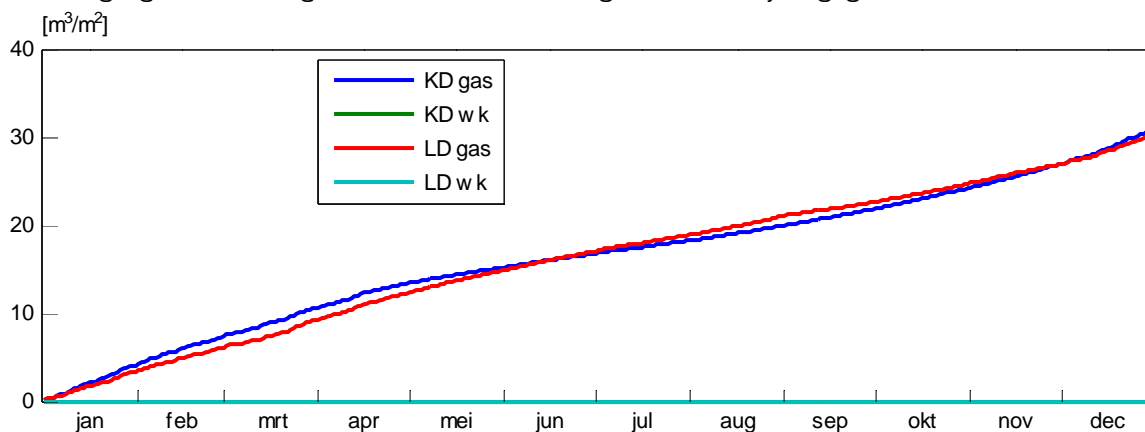
Figuur 14 laat zien dat in de periode mei t/m september al het gebruikte gas ook als CO₂ is gedoseerd. In de winter is door het hogere gebruik van gas aanbod groter terwijl door de verminderde ventilatie en de beperkte lichthoeveelheid de CO₂ vraag juist beperkt. Omdat in de zomer er geen verschil is, zal als in deze periode energie bespaard wordt dit ook productieverlies door het verminderde aanbod van CO₂ betekenen. Alleen als ketel CO₂ wordt vervangen door zuivere CO₂ kan op gas worden bespaard. Het verminderde aanbod aan CO₂ in de zomer komt ook tot uiting in het gerealiseerde CO₂-niveau in de kas, zoals in Figuur 15 wordt getoond.



Figuur 15 Gemiddeld CO₂-niveau in de kas dat er CO₂ gedoseerd wordt van de korte- en lange-dag kas

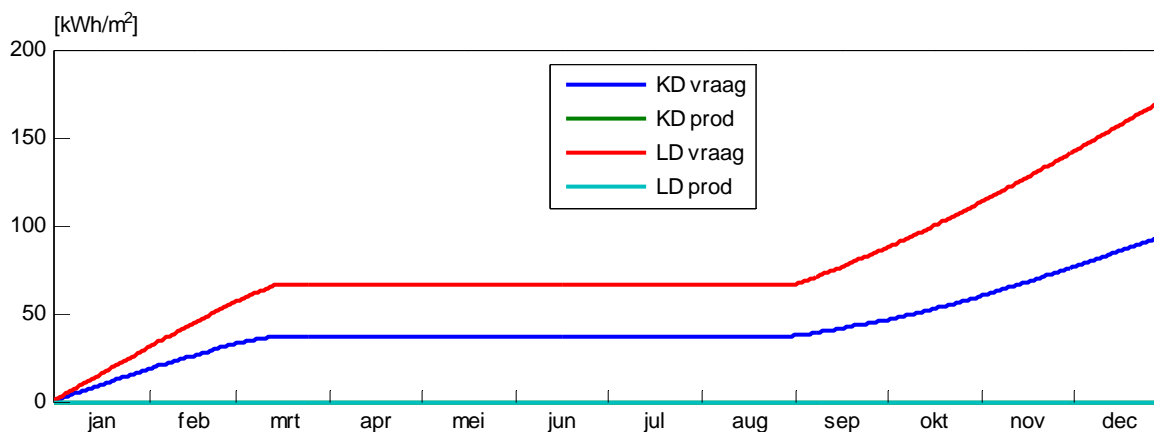
Gemiddeld over het jaar is het CO₂-niveau 701 en 721 ppm tijdens de uren dat het licht is of dat de belichting aan is voor respectievelijk de korte- en lange-dag. Deze figuur laat zien dat juist in de zomer, ondanks CO₂ dosering met buffersysteem het CO₂ niveau in de kas nog relatief laag blijft. Het CO₂-setpoint is 900 ppm (paragraaf 2.2.5)

Het totale gasgebruik is in Figuur 16 als een cumulatie gedurende het jaar gegeven.



Figuur 16 Cumulatief gasgebruik van de korte- en lange-dag kas

Omdat dit een situatie zonder wk-installatie is, is er dus ook geen gas gebruik voor deze machines. Deze gesimuleerde gebruiken zijn met 30.8 en 30.1 m³ aan de lage kant. Gezocht naar de oorzaak wordt gedacht aan de schermregeling. Het scherm is ook overdag regelmatig dicht, wat in Figuur 7 is getoond, in ieder geval is het scherm nog regelmatig dicht geweest in de randen van de dag. Op 2 dagen komt het scherm zelfs niet open. Daarnaast is de minimumbuis zeer terughoudend ingezet. Het gebruik is uiteraard zeer sterk afhankelijk van de belichtingsintensiteit. In Figuur 17 is het elektriciteitsgebruik cumulatief uitgezet.



Figuur 17 Cumulatief elektriciteitsvraag en productie van de korte- en lange-dag kas

Omdat dit een situatie zonder wk–installatie is, is er ook geen elektra productie door deze machines. Samenvattend zijn in Tabel 1 de belangrijkste energiestromen opgenomen.

Tabel 1 Jaarrond gebruiken van gas en elektriciteit, CO₂-dosering en verkoop van elektriciteit.

	kortedag		langedag	
	ketel	licht	ketel	licht
gasgebruik [m ³ /m ²]	30.8	0	30.1	0
kg CO ₂ gedoseerd [kg/m ²]	27.4	0	31.3	0
electriciteitsgebruik [kWh/m ²]		94.3		171.6
electriciteitsproductie [kWh/m ²]		0		0
verkoop elektriciteit [kWh/m ²]		0		0
inkoop elektriciteit [kWh/m ²]		94.3		171.6

3.2 MET WK–INSTALLATIE

Voor de wk–installatie is van het volgende uitgegaan:

elektrisch_rendement: 0.42

thermisch_rendement: 0.50

elektrisch geïnstalleerd vermogen 50 W/m². Dus een elektrisch wk–vermogen van ca. 500kW/ha.

Met deze rendementen gebruikt de wk–installatie dan ca. 136 m³/uur/ha. (ca 544 m³/uur). Motor op 4 ha 2 MW_{el}

Als de lampen niet aan zijn, draait de motor alleen tijdens de piekuren, dat is tussen 7 en 23:00 uur. Als de lampen uit zijn, draait de wk–installatie alleen voor CO₂ tussen 8 en 18:00 uur. Is de buffer om 18:00 warmer dan 90 °C dan stopt de motor. wk–installatie’s moeten zo min mogelijk in deellast draaien. In de zomer als de wk–installatie draait voor de CO₂ productie en teruglevering op het net, is dit niet te voorkomen zonder een uitgebreide regeling die ook nog eens zeer sterk door individuele eisen van de ondernemer wordt bepaald. Dit is opgelost door tijdens deze periode de volgende “vereenvoudigde” regeling te gebruiken: Als er sprake is van piekuren (tussen 7:00 en 23:00 uur)

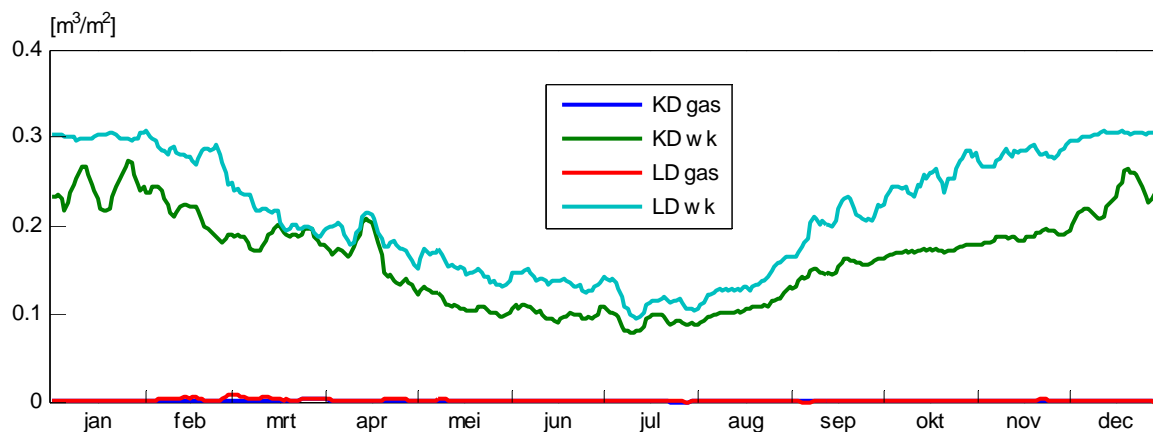
De machine draait op deellast, in dit geval op 80%;

Zolang de buffertemperatuur onder de 80 °C blijft gaat de machine op volle capaciteit draaien (100%) ;

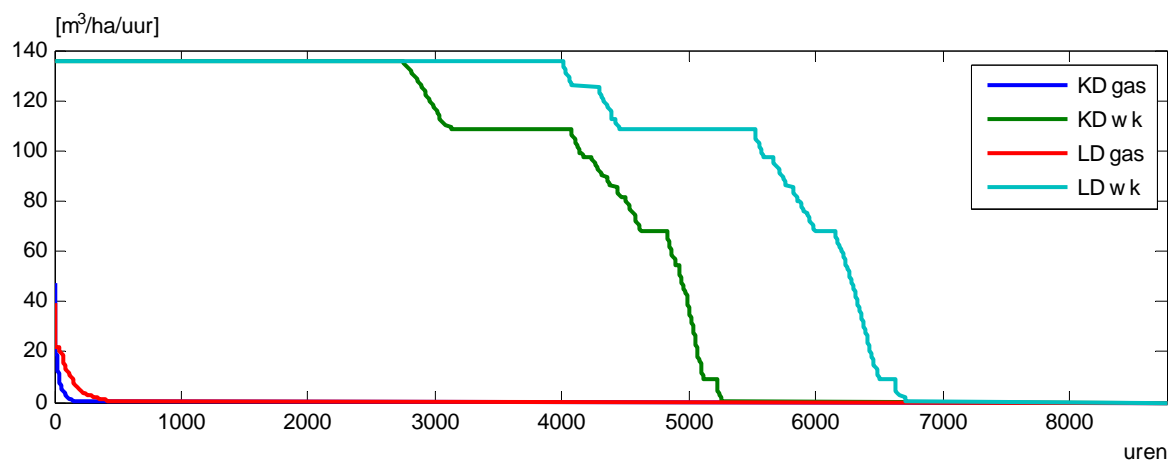
Komt de buffertemperatuur boven de 92 °C, dan gaat de machine op een deellast van 50% draaien; Als het na 18:00 uur is en de buffertemperatuur is hoger dan 90 °C, dan wordt de machine uitgeschakeld Ook als de buffer vol is, wordt ongeacht het tijdstip de wk–installatie uitgeschakeld.

Er wordt in principe dan ook geen warmte vernietigd. Dit gebeurt alleen als de wk-installatie moet draaien voor de lampen en hij kan de warmte niet kwijt. Dit is een probleem in de Lange Dag fase, zoals later getoond zal worden.

In Figuur 18 is voor zowel de lange- als de korte-dag fase van de wk-installatie en de ketel het gasgebruik weergegeven. Er is vrijwel geen ketel warmte meer nodig, wat nog eens bevestigd wordt door de jaarbelastingduurkromme van het gasgebruik (Figuur 19).

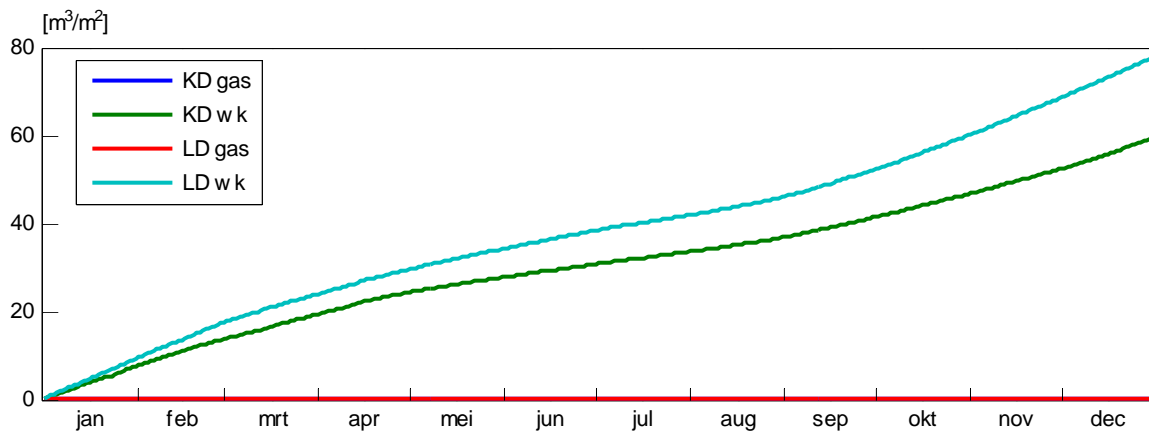


Figuur 18 Gemiddeld dagelijkse gasgebruik van ketel en wk-installatie voor de korte- en lange-dag kas



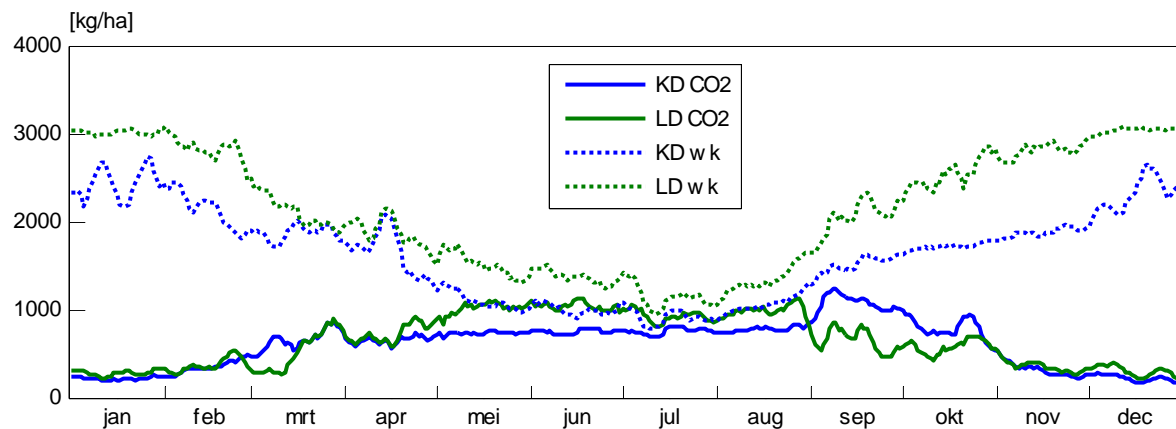
Figuur 19 Jaarbelastingduurkromme van het gasgebruik van ketel en wk-installatie voor de korte- en lange-dag kas

Maximum urengebruik is ca 160 m³/ha/uur (totaal). Als er voor gekozen wordt niet in deellast te draaien, dan komt dit er uiteraard heel anders uit te zien. Uit deze grafiek kan het wellicht lijken dat de machine heel veel uren op een grote deellastfactor draait. Bedenk echter dat als de machine in een uur 5 minuten op vol vermogen draait en vervolgens wordt uitgezet voor de rest van dat uur, deze situatie als een verbruik van ca. 12 m³/uur wordt weergegeven. De deellastniveaus zijn in deze figuur duidelijk te herkennen aan de plateaus in de grafiek. Zo draait de machine ca. 1000 uur op een deellastfactor van 80% (109 m³/ha/uur). In Figuur 20 is het cumulatief gasgebruik gegeven.



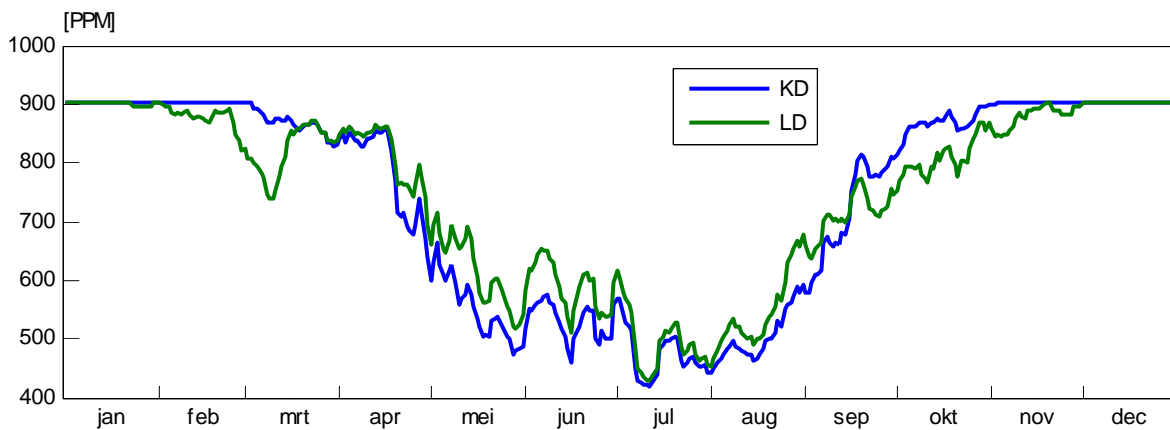
Figuur 20 Cumulatief gasgebruik van de korte- en lange-dag kas

Het gasverbruik is duidelijk hoger dan in de situatie met ketel (Figuur 16), omdat ook alle gas voor licht wordt ingekocht.



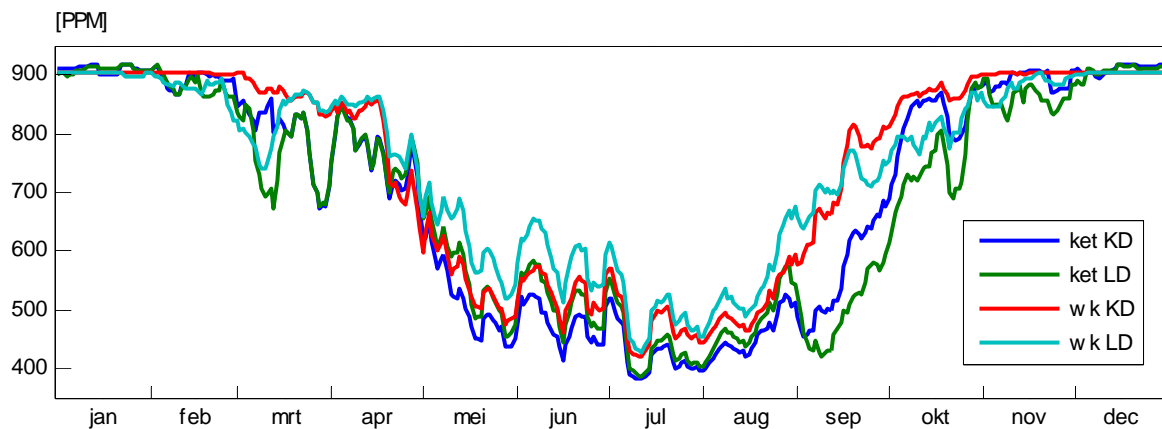
Figuur 21 Gemiddeld dagelijkse gasgebruik en gedoseerde CO₂ van de wk-installatie voor de korte- en lange-dag kas

In tegenstelling tot de situatie met alleen een ketel, zie je hier juist dat niet alle CO₂ gedoseerd wordt. Dat komt omdat er draaiuren van de wk-installatie zijn waar niet of slechts beperkt gedoseerd wordt. Ook in de zomer. Indien de bedrijfstijd van de wk-installatie meer wordt gericht op de momenten dat er grote CO₂-vraag is, dan zal dit verschil verder afnemen.



Figuur 22 Gemiddeld CO₂-niveau van de korte- en lange-dag kas tijdens het doseren

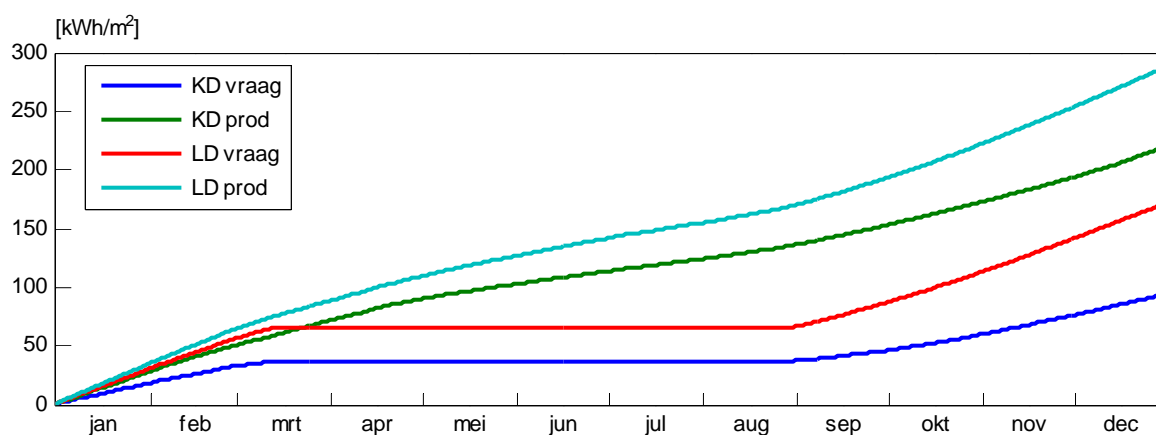
Gemiddeld over het jaar 741 en 777 ppm. De verschillen in het CO₂-niveau tussen de situatie met wk-installatie en die van doseren met de ketel (paragraaf 3.1), zullen vooral in de zomer zijn. Dit wordt in Figuur 23 getoond.



Figuur 23 Gemiddeld CO₂-niveau van de korte- en lange-dag kas tijdens het doseren in de situatie met een wk-installatie en met een ketel.

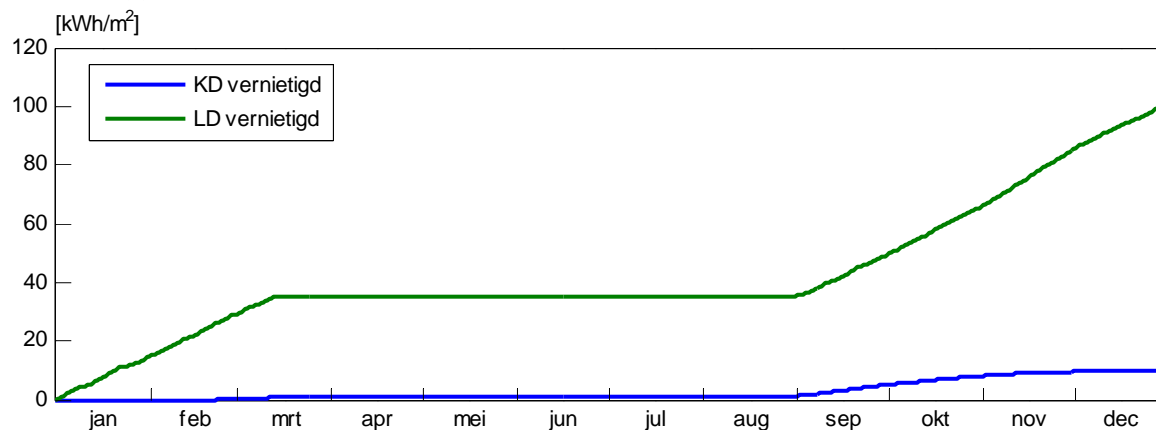
Het figuur laat goed zien dat met een wk-installatie in de zomer en het vroege najaar beduidend hogere CO₂-niveaus kunnen worden gehandhaafd.

In een situatie met warmtekracht, waarbij in de zomer gekozen wordt voor teruglevering, kan op jaarbasis een overschot aan elektriciteit ontstaan. In Figuur 24 is de elektriciteitsproductie en vraag als een cumulatie voor het jaar gegeven.



Figuur 24 Cumulatief elektriciteitsvraag en productie van de korte- en lange-dag kas

De elektriciteit productie is hoger dan de vraag (de jaarsommen zijn in Tabel 2 weergegeven). Aan de grote productie van elektriciteit zit ook een nadeel, dat er soms warmteoverschotten ontstaan. In deze case is er vanuit gegaan dat de wk-installatie alle voor de belichting noodzakelijke elektriciteit zelf produceert. Dan mag er ook warmte vernietigd worden. In de zomer, met teruglevering aan het net wordt er geen elektriciteit vernietigd. In Figuur 25 is de warmtevernietiging cumulatief weergegeven. Hierbij is de warmte teruggerekend naar kWh.



Figuur 25 Cumulatief warmtevernietiging van de korte- en lange-dag kas

Deze warmtevernietiging vindt plaats omdat de wk-installatie soms moet draaien op elektriciteitsvraag maar er geen ruimte meer is in de buffer deze 100 kWh aan warmte komt ongeveer overeen met 11 m³ gas (langedag).

Dit wordt veroorzaakt doordat de elektriciteit van de langedag in de nacht niet wordt ingekocht maar met de wk-installatie wordt geproduceerd. Dit kan verbeteren door een aanpassing in de regeling. Immers bij de kortedag, waar alleen met de dag mee wordt belicht, blijft het warmteoverschot beperkt tot ruim 1 m³gas. In Tabel 2 is een overzicht gegeven van de belangrijkste energiestromen.

Tabel 2 Jaarrond gebruiken van gas en elektriciteit, CO₂-dosering en en verkoop van elektriciteit

	kortedag		langedag	
	ketel	wk–installatie	ketel	wk–installatie
gasgebruik [m ³ /m ²]	0.2	59.5	0.4	77.9
kg CO ₂ gedoseerd [kg/m ²]	39.5	0.1	42.2	0.5
elektriciteitsgebruik [kWh/m ²]		94.3		171.6
elektriciteitsproductie [kWh/m ²]		219.6		287.5
verkoop elektriciteit [kWh/m ²]		125.4		116.4
inkoop elektriciteit [kWh/m ²]		0		0.5

In deze situatie maakt de wk–installatie erg veel draaiuren, ca. 6000 uur voor de kortedag en 6500 voor de langedag machine. In de praktijk zal dit lager zijn. Dan vindt er een verschuiving naar meer ketel gebruiken meer elektriciteit inkopen. Als gevolg van inzet van de wk–installatie is 10 á 15% extra CO₂ gedoseerd.

4 Combinaties

CO₂ van OCAP of zuiver CO₂ kan gecombineerd worden met combinaties van ketel en wk vermogen, dit vraagt om een optimale inzet van de bronnen voor warmte, elektriciteit en CO₂. In onderstaande berekeningen is uitgegaan van een regeling zonder minimumbuis op het bovennet, een vochtsetpoint van 88 %, zonder open bufferregeling.

Voor de CO₂ wordt altijd gezorgd voor een (maximale) doseercapaciteit van 250 kg/ha/uur. Dit is een gelijke hoeveelheid als de grote wk (50 w_{el}/m²) maximaal per uur kan produceren.

In de standaard teelt komt de CO₂ uit de ketel. Vervolgens is een situatie doorgerekend waarbij aanvullend CO₂ afkomstig is van een externe bron.

Voor de wk vermogens zijn de volgende situaties doorgerekend; wk's met 50, 40, 30 en 20 w_{el}/m². De CO₂ is dan afkomstig van de wk–installatie en als er nog voldoende ruimte voor warmte levering is komt de ketel bij tot er voldoende CO₂ is om maximaal 250 kg/ha/uur te doseren. Als er geen warmtevraag is en de buffer is vol, dan komt de ketel niet bij. Er wordt niet aanvullend met zuiver CO₂ gedoseerd. Het verschil tussen de hoeveelheid CO₂ bij aanvullende doseren (58.6) en de gedoseerde hoeveelheid zou aanvullend moeten worden ingekocht om het zelfde niveau te bereiken.

Om de CO₂ dosering door de wk–installatie van 15 mei tot 1 september te verbeteren zijn voor die periode de “piekuren” gedefinieerd als lopende van 8:00 tot 18:00 uur. In het belichtingsseizoen lopen de “piekuren” van 7 uur 's morgens tot 11 uur 's avonds.

Tabel 3 Resultaten simulaties voor verschillende grootte van geïnstalleerd wk vermogen.

	elektriciteit [kWh/m ²]	eenheid	referentie	zuiver CO ₂	wk 50	wk 40	wk 30	wk 20
elektriciteit	piek vraag voor belichting				93			
	dal vraag voor belichting				24			
	totale vraag voor belichting				117			
	piek productie van wk–installatie	kWh/m ²	0	0	198	169	134	93
	dal productie van wk–installatie		0	0	32	37	36	27
	totale productie van wk–installatie		0	0	230	206	170	120
	teruggeleverd aan het net		0	0	113	110	93	63
	ingekocht van het net		117	117	0	21	40	60
gas	gasgebruik ketel	m ³ /m ²	28.9	28.9	0.9	2.3	5.9	12.4
	gasgebruik wk		0	0	62.4	55.9	46.2	32.6
	totaal gasgebruik		28.9	28.9	63.3	58.1	52.1	45
CO ₂	CO ₂ dosering wk	kg/m ²	0	0	40.3	37.9	32.8	24.6
	CO ₂ dosering ketel		31.9	31.9	1.5	3.5	7.3	13.7
	gedoseerde zuiver CO ₂		0	26.7	0	0	0	0
	totaal gedoseerde CO ₂		31.9	58.6	41.9	41.4	40.2	38.3
	netto biomassa productie	kg/m ²	7.6	8.5	7.9	7.9	7.9	7.8
	vernietigde warmte	m ³ /m ²	0.0	0.0	3.6	1.7	0.5	0.1

In alle gevallen met een wk–installatie is er een netto overschot aan elektriciteit. Dat wil echter niet zeggen dat er op alle momenten voldoende elektriciteit aanwezig is, vandaar dat er sprake kan zijn van ingekochte en teruggeleverde elektriciteit.

Dat een opgesteld vermogen van 20 W_{el} meer dan de helft produceert van een situatie met een opgesteld vermogen van 50 W_{el} heeft te maken met het warmteoverschot dat bij de grote machine ontstaat. Hierdoor wordt de grote machine uitgeschakeld terwijl een kleinere nog door kan draaien. Het aantal draaiuren van de machines varieert van 4580 tot 6140 uur voor respectievelijk de wk–installatie met een elektrisch

geïnstalleerd vermogen van 50 en 20 W_{el}/m^2 .

Als er op het bedrijf een elektriciteitsvraag is voor de assimilatiebelichting draait de wk–installatie altijd. Op deze momenten kan er dus ook een warmteoverschot ontstaan. Als de warmtebuffer vol is moet deze warmte vernietigd worden. Op de andere uren, dus als de assimilatiebelichting is uitgeschakeld, mag de wk–installatie wel draaien en dus elektriciteit terugleveren, maar zal er geen warmte vernietigd gaan worden.

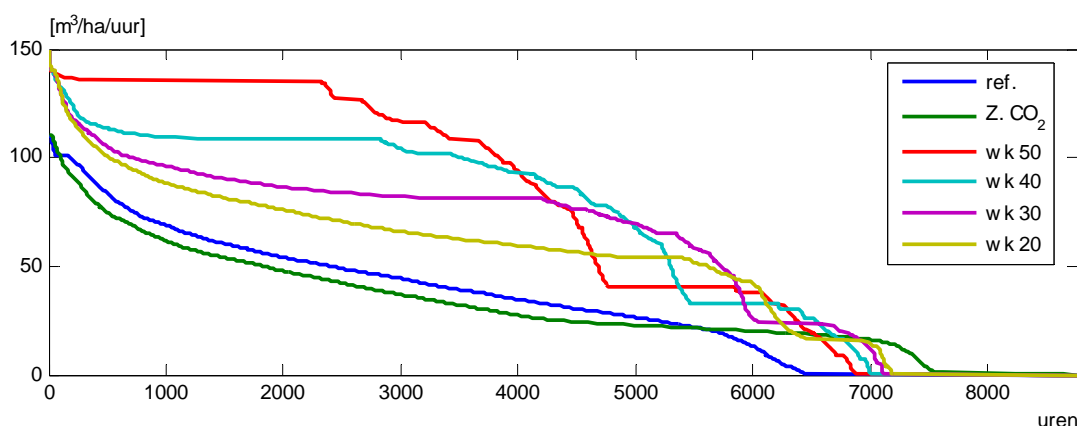
Als de warmtebuffer vol is, wordt de wk–installatie uitgeschakeld.

De biomassa productie is met het KASPRO model uitgerekend dit kan gezien worden als een goede indicator voor de groeipotentie. Dit is voor onderling vergelijk voldoende. De grote hoeveelheid zuivere CO_2 heeft duidelijk een productie stijging ten opzichte van de referentie tot gevolg. Dat de grote wk–installatie van 50 W_{el} niet veel meer dan die van 30 W_{el} produceert komt door de regeling van de wk–installatie. In de zomer wordt er niet belicht en dus ook geen warmte vernietigd. Hierdoor wordt er alleen geproduceerd wat er aan warmte in de kas benodigd is. Dat is onafhankelijk van de grote van de wk–installatie. Dit komt ook sterk tot uiting in de kg gedoseerde CO_2 .

Bij een afnemend vermogen van de wk–installatie moet de ketel vaker bijkomen. De tabel laat duidelijk zien dat bij een afname van het geïnstalleerde vermogen van de wk–installatie de vernietigde warmte afneemt, terwijl de berekende groei niet veel verschilt. De optimale omvang van de wk–installatie hangt daarom niet af van de productie aan chrysanten maar van de economisch beste verhouding tussen investeringskosten in de wk en de kosten en opbrengsten van de elektriciteit, die wordt ingekocht of teruggeleverd aan het net.

4.1 Jaarbelastingsduurkrommes van gasverbruik

In Figuur 26 is voor alle hiervoor beschreven cases een jaarbelastingduurkromme van het totale gasgebruik, dus ketel + wk–installatie gegeven. Hierbij is de korte- en lange-dag gecombineerd naar rato van de teeltoppervlakten op het bedrijf. In het figuur zijn gasgebruiken van de wk–installatie goed herkenbaar als de plateaus. De wk–installaties van 50, 40, 30 en 20 W_{el}/m^2 hebben gasgebruiken van respectievelijk 135, 108, 81 en 54 $m^3/ha/uur$. Gasgebruiken die boven dit niveau uitkomen zijn door de ketel (erbij) gebruikt. Hoe kleiner het vermogen van de wk–installatie, des te vaker dit het geval is. Ook is piek van de inzet van de ketel per uur dan groter.



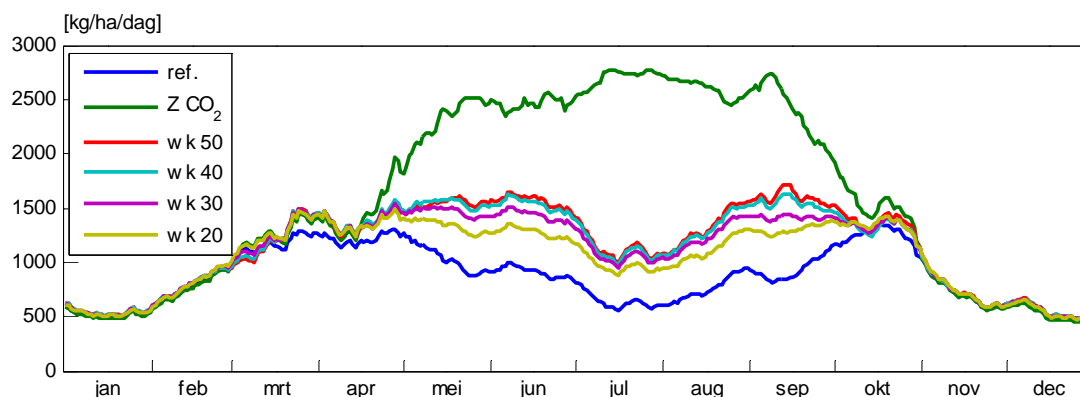
Figuur 26 Jaarbelastingduurkromme van het totale gasgebruik (ketel + wk–installatie).

Het verschil tussen de referentie en de case met zuivere CO_2 is opvallend. In het geval van zuivere CO_2 wordt er voor de CO_2 -dosering geen gebruik gemaakt van de warmtebuffer. Dit is een hypothetische benadering, omdat in de praktijk vrijwel altijd de basis behoefte aan CO_2 door de ketel zal worden geleverd,

maar voor het onderlinge vergelijk een bruikbare methode. Hierdoor zal in de case met zuivere CO₂ ook in de nacht, als in de referentie case de buffer geleegd wordt, de ketel warmte moeten produceren. Hierdoor wordt de ketel gedurende meer uren maar gemiddeld op een lager niveau ingezet. In de praktijk als wel gebruikt gemaakt wordt van de mogelijkheid om warmte te bufferen zal dit verschil verdwijnen en de jaarbelastingsduurkromme overeenkomen met die van de referentie.

4.2 Beschikbaarheid van CO₂

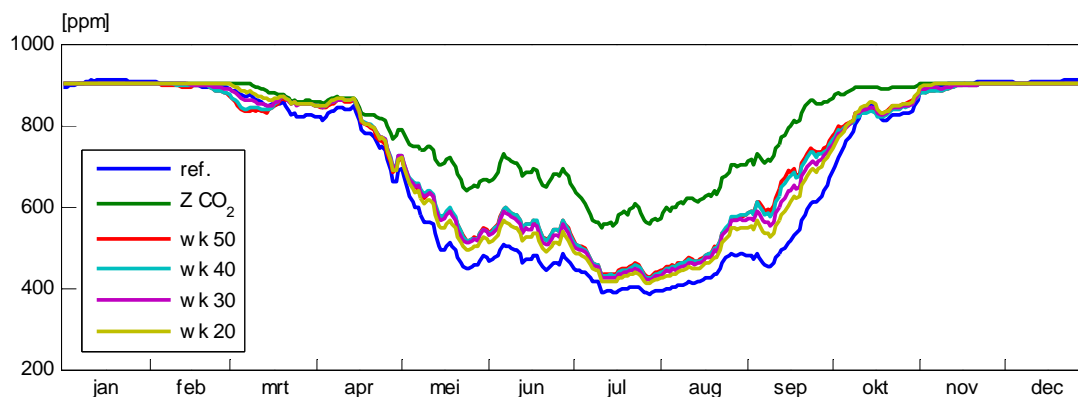
Hoe meer gas er op het bedrijf gebruikt wordt, des te meer de geproduceerde CO₂ ingezet kan worden. Hierbij is uiteraard een grote relatie tussen het moment dat de CO₂ wordt geproduceerd en of er in de kas veel of weinig geventileerd moet worden. Zoals uit Tabel 3 al bleek wordt er in de case met aanvullend zuivere CO₂ veruit de meeste CO₂ gedoseerd. Dit komt omdat de relatie tussen warmte- en CO₂-productie is verbroken. In het geval waar aanvullend zuiver CO₂ is gedoseerd, kan onbeperkt jaarrond 250 kg CO₂ per ha per uur worden gebruikt. In de winter is dit niet nodig daar er een kleine CO₂ vraag is. Dan is er weinig licht en weinig ventilatie zodat het CO₂ gebruik laag is. In de volgende figuur is voor iedere dag de totale hoeveelheid gedoseerde CO₂ weergegeven.



Figuur 27 Dagelijks gedoseerde hoeveelheid CO₂ weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 14 dagen.

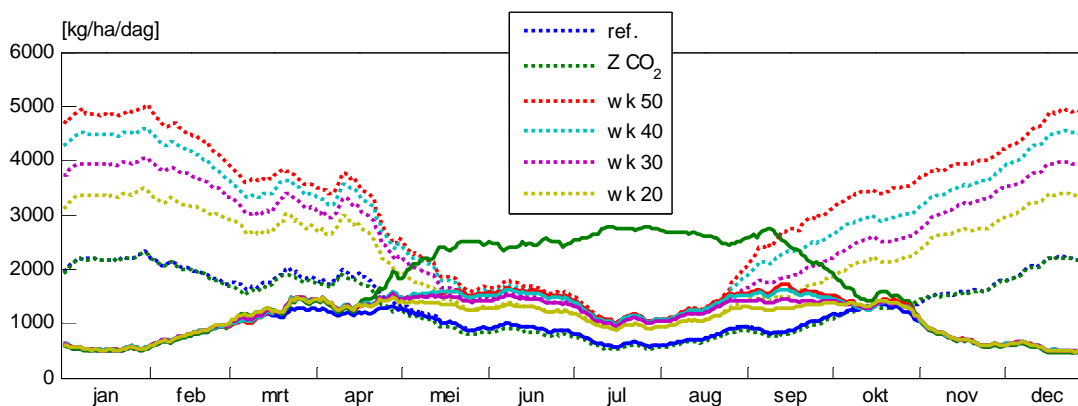
In Figuur 27 zijn 2 perioden duidelijk te onderscheiden, de winter en de zomer. Het voorjaar en de herfst zijn overgangperioden. In de winter (eind oktober eind februari) is de hoeveelheid gedoseerde CO₂ onafhankelijk van de beschikbaarheid. Anders gezegd, in alle situaties is er voldoende CO₂ aanwezig om aan de CO₂-vraag te voldoen. In de zomer (begin mei eind september) is de beschikbaarheid volledig bepaald door de manier waarop in de CO₂ wordt voorzien. In het geval met de zuivere CO₂ wordt er veelal 12 á 13 uur per dag het maximum gedoseerd (2500-2750 kg/ha/dag). Ook het verschil tussen wk 50 en wk 40 is erg klein. Dit was ook al in Tabel 3 gebleken. De wk 30 en wk 20 hebben door het lagere gebruik al minder CO₂ beschikbaar, maar daardoor krijgen deze de warmtebuffer moeilijker vol waardoor deze machine meer draaiuren gaan maken. Wat de wk-installatie aan ruimte overlaat in de buffer, wordt met de ketel bij gedoseerd. Hierdoor gaat echter het positieve effect van doseren met een wk-installatie enigszins verloren. Dit komt door de gunstige verhouding warmte/CO₂ van een wk-installatie. (per eenheid warmte produceert een wk-installatie bijna 2 keer zoveel CO₂). De wk-installaties presteren in deze zomerperiode altijd nog beter dan de referentie. In het voorjaar (maart april) en het najaar (oktober) is de beschikbaarheid van CO₂ voor alle wk-installaties ongeveer gelijk, echter in de referentie, waar alleen met de ketel CO₂ wordt geproduceerd, begint een klein te kort (ten opzichte van de andere cases) te ontstaan. Daarnaast wordt in deze periode ook de meeste warmte vernietigd van de wk 50 en wk 40. Immers de belichting wordt gebruikt zodat de wk-installatie aanstaat als de assimilatiebelichting is ingeschakeld.

In de zomer worden grote hoeveelheden CO₂ gedoseerd om aan het gewenste CO₂-niveau in de kas te komen. Als het licht is of als de assimilatiebelichting is ingeschakeld, wordt een CO₂-niveau van 900 ppm nagestreefd (jaarrond). In Figuur 28 is het gerealiseerde CO₂-niveau weergegeven tijdens de uren dat er CO₂ gedoseerd wordt.



Figuur 28 Gemiddeld CO₂- niveau tijdens de uren dat er gedoseerd wordt, weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 14 dagen.

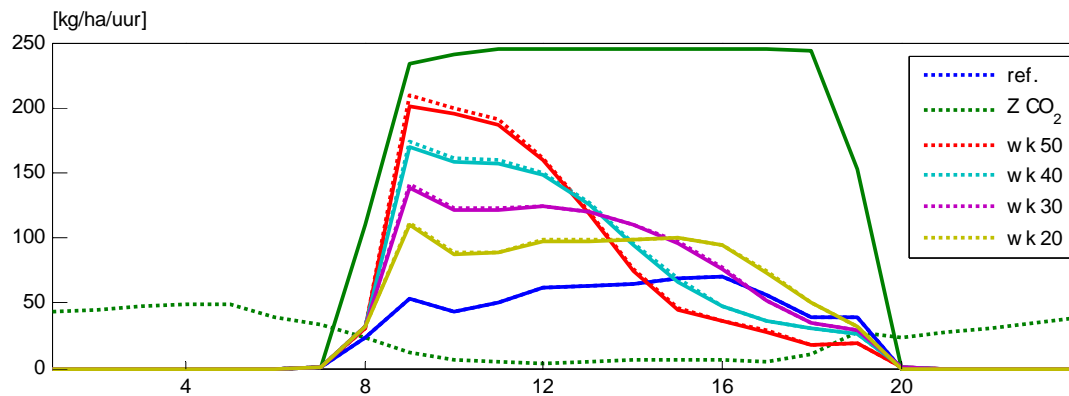
Door het enorme verschil in CO₂ gift tijdens de zomer, neemt het CO₂-niveau in de zomer met 150 tot 200 ppm toe ten opzichte van de referentie als er onbeperkt met een capaciteit van 250 kg/ha/uur gedoseerd wordt. Dit verschil is voor de groei een belangrijke impuls. Een andere mogelijkheid om het CO₂-niveau te verhogen zou kunnen worden bereikt door de luchtramen langer gesloten te houden. Hiermee kan de CO₂-vraag worden verlaagd en of de productie verhoogd.



Figuur 29 Dagelijkse CO₂-productie en CO₂-dosering, weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 14 dagen (... lijn is beschikbaar – lijn is gedoseerd).

In het midden van de zomer is er weinig verschil tussen de verschillende wk-installaties. Alle geproduceerde CO₂ wordt dan gedoseerd. In de zomerperiode wordt geen warmte vernietigd, zodat de warmtevraag van de kas bepalend is voor de hoeveelheid CO₂ die ter beschikking komt, uitgezonderd de situatie met aanvullend zuiver CO₂-dosereren. Met een wk-installatie is dat wat gunstiger dan met de ketel. Dit laatste kan wordt ook geïllustreerd in het volgende figuur waarbij voor iedere case is aangegeven hoeveel CO₂ er per dag geproduceerd wordt en hoeveel er uiteindelijk als CO₂ gedoseerd is. Uit Figuur 29 blijkt dat alleen in de periode juli – augustus alle beschikbare CO₂ ook wordt gedoseerd.

Door van de maand juli een cyclisch (van de maand juli is dan van alle 31 dagen de geproduceerde en gedoseerde CO₂ van het zelfde moment van de dag gemiddeld) gemiddelde te maken wordt duidelijk in welke periode van de dag er CO₂ geproduceerd en gedoseerd wordt.



Figuur 30 Uurlijkse CO₂-productie en CO₂-dosering van de maand juli (... lijn is beschikbaar – lijn is gedoseerd).

De case waar alleen zuivere CO₂ wordt gedoseerd (groen) heeft gedurende de nacht gemiddeld gesproken altijd enige CO₂-productie. Dit omdat de buffer niet gebruikt wordt. Combinatie van ketel, buffer en aanvullend doseren van zuivere CO₂ zal resulteren in een lagere inkoop van CO₂ vergelijkbaar met de hoeveelheid gedoseerde CO₂ van de referentie. Het in de loop van een dag teruglopen van de CO₂ bij wk50 is het gevolg van het uitschakelen van de installatie bij een volle warmtebuffer. Omdat het gebruik van deellast bedrijf van een wk-installatie voorkomen moet worden, is het bij grote geïnstalleerde elektrische vermogens per m² in de zomer moeilijker om gedurende de gehele dag CO₂ te kunnen doseren.

5 Resultaat van de simulaties

Uit de simulaties komen de volgende punten naar voren:

- De gewenste setpointtemperatuur verwarmen, kan met de gebruikte instellingen goed worden gerealiseerd. Daarbij ligt de gerealiseerde temperatuur vaak iets boven de ingestelde waarde. De gekozen temperatuur is afgestemd op het teeltplan en de cultivar. Verlaging van deze instelling past niet binnen de randvoorwaarde van de telers van gelijke productie en goede planning.
- Een groot aantal uren is de luchtvochtigheid boven de 85 %, een gegeven dat onafhankelijk van de hier gekozen uitgangssituatie in de praktijk ook veelvuldig voorkomt.
- Er komt door de minimumbuis teveel warmte in de kas, vooral bij gesloten scherm. Loslaten van de minimumbuis op het bovennet levert voor de situatie met ketel een besparing op van 7 %.
- De gekozen schermregeling resulteert in een aantal dagen dat het scherm niet wordt geopend. Een situatie waar in de praktijk bewust wel of niet voor gekozen wordt.
- De wk-installatie maakt veel draaiuren. Bij installatie van een groter wk-vermogen wordt dit minder maar dan is er meer warmte vernietiging.
- Met een grote wk-installatie is het moeilijker om in de zomer gespreid over de dag CO₂ te produceren. Het in deellast gaan draaien moet, waar mogelijk, voorkomen worden.
- Het absolute verbruik voor de warmtevoorziening is laag.
- Combinatie van ketel, kleine wk-installatie en inkoop van electra en zuivere CO₂ kan resulteren in voldoende warmte, licht en CO₂ voor een maximale groei. De juiste afmetingen van een installatie zijn bedrijfsspecifiek.

6 Conclusie en aanbeveling

In de chrysantenteelt wordt vanuit oogpunt van verwarming op een energiezuinige wijze geteeld. De uitgangspunten van de “standaard teelt” zijn met een teler en twee voorlichters besproken. Zij konden zich in de gekozen uitgangspunten goed vinden. Daarbij werd duidelijk dat productkwaliteit een eerste prioriteit heeft bij de telers.

De bedrijven kunnen kritischer kijken naar de warmte die in het bovennet wordt ingevoerd door middel van een minimumbuis temperatuur. Uitzetten van deze regeling levert een besparing van 7 % op.

De schermkierregeling in de nacht moet niet gepaard gaan met extra warmte inzet. Omgekeerd als er een minimumbuis op het bovennet wordt gezet zal een te veel aan warmte leiden tot meer schermkier.

De Quick Scans chrysant gaven aan dat er op gebruik van minimumbuis en vochtregeling nog energiebesparing mogelijk zou zijn. De bevindingen van dit onderzoek komen daarmee overeen voor zover het bedrijven zijn zonder wk-wk-installatie. De chrysantenbedrijven hebben de maatregelen die in de groenteteelt zijn onderzocht al verwerkt in hun regelingen.

De aanwezigheid van grote wk-installaties en assimilatie belichting op het grootste deel van de bedrijven, zodat voldoende warmte beschikbaar is, nodigt niet uit om energie zuiniger te stoken. De wk-installatie zorgt voor een grotere beschikbaarheid van CO₂ vergeleken met een situatie met ketel.

Bij een grote wk-installatie (50 W_e/m²) wordt in het belichtingsseizoen warmte die overeenkomt met 3.5 m³/m² aardgas onnodig ingezet. De wk moet echter draaien vanwege de elektriciteit vraag op het bedrijf. In de zomer, als de wk alleen mag draaien als de warmte nuttig kan worden gebruikt, staat een grote wk geregeld stil. Bij een kleinere wk-installatie (20 W_e/m²) wordt geen warmte vernietigd en draait de machine op jaarbasis ruim 1500 uur extra. De optimale combinatie van capaciteit van wk, ketel en inkoop van CO₂ is bedrijfsspecifiek. Duidelijk is dat een wk die volledig voorziet in de vraag naar elektriciteit voor de belichting niet optimaal is voor CO₂ dosering en nuttig gebruik van de geproduceerde warmte. Juist bij een kleine wk als op jaarbasis de ketel geregeld moet worden gebruikt voor verwarming zijn maatregelen om energiezuinig te verwarmen zinvol. (Figuur 26 blz 30)

Een groot deel van de warmte in de belichte chrysantenteelt is afkomstig van de belichting en de wk-wk-installatie. Een besparing op energie in de chrysantenteelt zal in de efficiëntie van de belichting- armaturen en lampen- en de wk-wk-installaties gevonden moeten worden. Een verandering van het teeltsysteem- zoals Mobysant- kan met meer takken per m² bijdragen aan een hogere energie-efficiëntie. Combinatie van een kleine wk met ketel, buffer en aanvullend inkoop van CO₂ is een optimale mix. De dimensionering is bedrijfsspecifiek. Mogelijkheden om de luchtramen langer gesloten te houden zullen ook bijdragen aan een hoger CO₂-niveau in de kas en daarmee de CO₂-vraag kunnen verlagen en of de productie verhogen.

Literatuur

Enthoven, H. 2006. Regelen op vocht in plaats van raamstand. Marc Ruys: "Durf nodig voor vochtregeling bij chrysant en radijs". Onder Glas 3(1):36-37

Ruijs, M., M. Esmeijer en F. Kempkes, 2006. Kan het nog beter? Advies voor energiebesparing aan een energiezuinige chrysantenteler. Deel I, II en III. LEI 2006.