

Meerlagenteelt in de praktijk

Energie-efficiënter tulpen broeien 2011

J. Wildschut, K. van der Putten, M. van Dam (WUR/PPO)
J.B. Campen (WUR/Glastuinbouw)

© 2012 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

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

Dit project is uitgevoerd in opdracht van en gefinancierd door de partijen in de Meerjarenaafpraak energie Bloembollen (KAVB, PT, min.EL&I, Agentschap NL en telers).



Projectnummer: 32 360 844 11

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Bloembollen, Boomkwekerij & Fruit

Adres : Prof. Van Slogterenweg 2
: Postbus 85, 2160 AB Lisse

Tel. : 0252 - 462121

Fax : 0252 - 462100

E-mail : info.ppo@wur.nl

Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

SAMENVATTING.....	5
1 INLEIDING	7
2 WERKWIJZE.....	7
3 RESULTATEN	8
3.1 Kasklimaat	8
3.2 Licht	13
3.3 Energie-Efficiëntie	16
3.4 Tulpenbroeierij van de toekomst	20
4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	21
5 COMMUNICATIE.....	23
BIJLAGE 1: MECHANISCHE VOCHTAFVOER MET BUITENLUCHT.....	24
BIJLAGE 2: WWW.MEERLAGETEELTINDEPRAKTIJK.NL	29
BIJLAGE 3: SAMENVATTING LICHT-DONKER PROEVEN 2009/2010	31

Samenvatting

In 2009/2010 is het project “Meerlagenteelt (MLT) in de praktijk” met 4 broeiers van start gegaan met als doelstelling het ondersteunen van de ontwikkeling van MLT-systemen waardoor op middellange termijn het energieverbruik voor de broeierij drastisch afneemt. De werkwijze hierbij is enerzijds het demonstreren van op praktijkbedrijven reeds ontwikkelde MLT-systemen, en van de hierbij gerealiseerde energiebesparingen, en anderzijds het met deze bedrijven testen van recente resultaten van onderzoek naar verbeteringen van o.a. belichting en kasklimaat. Conclusies waren o.a. dat het energieverbruik bij meerlagenbroei minstens 40% lager is en dat om de RV beter te controleren mechanisch ontvochtigen een goede oplossing is.

Dit 2^{de} jaar zijn 7 broeiers bij het project te betrokken. De belangrijkste activiteiten waren het volgen van het kasklimaat (RV- en temperatuurverdeling), het doorrekenen van de benodigde ventilatiecapaciteit voor mechanische ontvochtiging, lichtmetingen, het testen van o.a. LED-verlichting en het doorrekenen van het gerealiseerde energieverbruik.

De maximale verdamping van tulpen op stilstaand water bleek in de orde van 2 – 4 liter/m² teelt/dag. Dit wordt pas aan het eind van de trek op zonnige dagen gerealiseerd. Berekeningen met KASPRO laten zien dat om de RV onder de 85% te houden dmv. mechanisch ontvochtigen een maximale ventilatiecapaciteit van 8m³/uur/m² kas voldoende is. De gemiddelde verwachte capaciteitsbenutting hiervan is 15%.

Bij bedrijf 2 was het temperatuursverschil tussen de 2 lagen zeer klein: de lucht wordt door de losse ventilatoren en de slurven zeer goed over de kas verdeeld. Het systeem om mechanisch te ontvochtigen houdt de RV vrijwel altijd onder de 85%. Op Bedrijf 4 ligt de temperatuur boven laag1 echter fors lager dan boven laag2, vermoedelijk om de groeisnelheid in de 2^{de} helft van de trek (t.o.v. de belichting met kunstlicht) af te remmen. Ook bij bedrijf 5 is het temperatuursverschil tussen laag 1 en laag 2 klein, en net als op Bedrijf 2 zijn er vrijwel geen verschillen in absoluut vochtgehalte.

Lichtmetingen op Bedrijf 2 lieten zien dat de daglichtsom in de 2^{de} helft van januari ongeveer even hoog is als bij de vroeger aanbevolen 20-25 μmol die bij 24 – 20 uur per dag voor alle cultivars voldoende is voor goede kwaliteit. Op Bedrijf 1 zou op basis hiervan op laag1 na 5 - 6 dagen donker 6 – 7 uur/dag belichten nodig zijn. Zonder het diffuus licht dat overdag op laag 1 valt zou 11 – 12 uur nodig zijn.

Alle op de bedrijven onder LED-lampen geteste cultivars worden onder blauw licht langer en zwaarder. Ook onder blauwe TL-lampen. Onder rode LED's bleven deze cultivars allemaal korter, maar slechts enkele vertoonden duidelijk vroege spreiding. De bladkleur is onder rode LED's donkerder dan onder blauwe LED's.

Door op een deel van het kasoppervlak gedeeltelijk in 3 lagen te broeien nam op Bedrijf 1 de productie toe van 9 tot 12 miljoen stelen en kwam het energieverbruik uit op 3,26 MJ/bos. T.o.v. broei op één laag in de jaren 2004 t/m 2007 is hierdoor per bos 47% op energie bespaard. O.a. door minder uitval a.g.v. een beter gecontroleerd kasklimaat kon Bedrijf 2 de productie van 18 miljoen stelen in 2010 verhogen naar 22,4 miljoen stelen in 2011. Het energieverbruik per bos komt hiermee op 3,02 MJ/bos. Door meerlagenteelt is zo 40% bespaard. Ook bedrijf 4 bespaart door meerlagenteelt 40% op energie, maar het energieverbruik per bos is hier hoger. Belangrijkste achtergrond hierbij is dat pas in de 2de helft van februari de maximale wekelijkse productiecapaciteit bereikt werd.

Bedrijf 5 bespaart 20% per bos door meerlagenteelt, met als achtergrond een netto kasbenutting van 125%. T.o.v. het energieverbruik in 2006 is in de periode 2008/2011 het energieverbruik per bos ook afgenomen door kasvernieuwing, het gebruik van een WKK, warmteopslag en een warmtepomp: van 7,3 MJ/bos in 2006 tot 4,5 MJ/bos in 2008/2011. Hierdoor is het energieverbruik met 38% afgenomen.

Voor broeiseizoen 2011/2012 (fase 3) wordt aanbevolen het aantal bedrijven uit te breiden naar mogelijk 10. Dit vergroot de variatie in MLT-systemen (verschillen in aantal lagen, lichtregimes, interne logistiek, compartimentering). Het is van belang de horizontale en verticale verdeling van het PAR-licht (Photosynthetically Active Radiation, 400 – 700 nm) in kaart te brengen, waar mogelijk alternatieve lichtregimes en lichtbronnen te testen en het kasklimaat (temperatuur en RV) te monitoren bij verschillende systemen van ontvochtiging. Aandachtspunten hierbij zijn horizontale en verticale gelijkmatigheid, en de energiekosten van mechanisch ontvochtigen. Daarnaast dient het energieverbruik per bos bepaald te worden.

1 Inleiding

Het broeien in meerdere lagen biedt grote mogelijkheden om het energieverbruik in de broeierij terug te dringen. Daarnaast zijn er voordelen als een betere kasbenutting, waardoor een lagere kostprijs, en productie-uitbreiding zonder kasuitbreiding. Het elektraverbruik voor belichten van de onderste laag is hierbij een cruciale factor. Recent onderzoek laat zien dat in het begin van de trek de lichtbehoefte van tulp echter bijzonder laag is en dat met licht-efficiënte rode en blauwe LED's de plantopbouw van de tulp gestuurd kan worden. Met LED's i.p.v. TL- of Kwiklampen kunnen de teeltlagen veel dichter op elkaar geplaatst worden waardoor meerlagenteelt (MLT) nog energie-efficiënter kan worden. Ondanks de mogelijke voordelen wordt MLT in de praktijk nog weinig toegepast. Achtergronden hierbij zijn de hoge investeringen en onzekerheden over het kasklimaat en over het beste lichtrecept.

Doelstelling van het project 'Meerlagenteelt in de praktijk' is het versneld ontwikkelen en implementeren van eb/vloed MLT-systemen waardoor in de bolbloemensector op middellange termijn het energieverbruik voor de broeierij drastisch afneemt.

De werkwijze hierbij is enerzijds het demonstreren van reeds ontwikkelde MLT-systemen op praktijkbedrijven en van de hierbij gerealiseerde energiebesparingen, anderzijds het op deze bedrijven testen/verifiëren van de recente resultaten van onderzoek naar verbeteringen van belichting, kasklimaat, e.d..

Het project is in augustus 2009 gestart met 3 bedrijven die in de kas (geheel of gedeeltelijk) in meer lagen broeien, plus een 4^{de} bedrijf dat in gestapelde containers de bewortelingsfase verlengt. Op de 3 eerste bedrijven is het kasklimaat op 10 – 15 plaatsen gedurende 3-4 weken gelogd, zijn mogelijkheden van mechanisch ontvochtigen doorgerekend en is het energieverbruik per bos tulpen (de energie-efficiëntie) doorgerekend. Op het 4^{de} bedrijf is tijdens de spuitvorming het effect van belichten met rode en blauwe LED's getest.

Samenvattende conclusies van het eerste projectjaar waren:

- Het energieverbruik bij meerlagenbroei is minstens 40% lager
- Het kasklimaat kan voldoende gecontroleerd worden om zweters & kiepers te voorkomen
- Met mechanisch ontvochtigen is de RV beter te controleren dan door stoken met de ramen open
- De mogelijkheden van LED verlichting worden nog niet voldoende benut
- Er bestaat een grote variatie in het realiseren van meerlagenteelt

2 Werkwijze

De werkwijze in dit project is vergelijkbaar met die van het project State-of-the-Art bewaren van tulpenbollen: enerzijds het demonstreren van reeds ontwikkelde en beproefde MLT-systemen op praktijkbedrijven en van de hierbij gerealiseerde energiebesparingen. Anderzijds het op deze praktijkbedrijven testen/verifiëren van de recente resultaten van onderzoek naar verbeteringen van belichting, kasklimaat, e.d.. Op deze wijze wordt de praktijk direct gevoed met de nieuwste ontwikkelingen uit het onderzoek en wordt het onderzoek direct gevoed met resultaten en ervaringen op de praktijkbedrijven. De op deze wijze ontwikkelde verbeteringen aan het MLT-systeem kunnen de erop volgende broeiseizoenen weer aan de sector gedemonstreerd worden.

Het 2^{de} jaar van dit project zijn meer broeiers bij dit project te betrekken. Er zijn veel goede varianten van het MLT- systeem denkbaar en meer deelnemers aan dit project geeft meer mogelijkheid tot vergelijking en dus meer informatie voor de sector. Naast de 3 broei-bedrijven die aan de opstart van dit project mee

werkten, M.T. Burger Bloembollen, Wagemaker Flowers B.V. en Zwet Tulips werd in het broeiseizoen 2010/2011 ook samengewerkt met De Wit Bloembollen B.V., Breg Biddinghuizen, Karel Bloembollen B.V. en Germaco B.V.. Twee van deze bedrijven broeien dit seizoen nog niet in meer lagen maar werkten mee aan het testen van LED-belichting. De LED-lampen zijn ter beschikking gesteld door LemnisLighting. De belangrijkste activiteiten waren het volgen van het kasklimaat (RV- en temperatuurverdeling), het doorrekenen van de benodigde ventilatiecapaciteit voor eventuele mechanische ontvochtiging, lichtmetingen, het testen van LED-verlichting en het doorrekenen van het gerealiseerde energieverbruik.

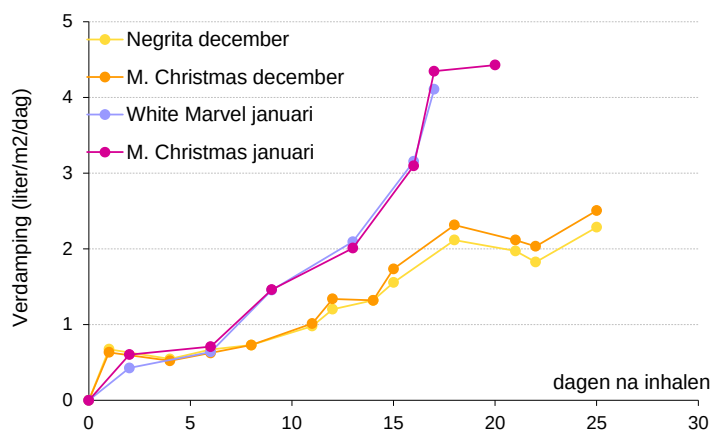
3 Resultaten

3.1 Kasklimaat

Temperatuur en RV op Bedrijf 1 zijn vorig broeiseizoen (2009/2010) op verschillende punten in het systeem gemonitord en gebleken is dat de ventilatoren en het slurvensysteem temperatuur en vocht over de twee teeltlagen goed verdelen. Incidenteel kunnen temperatuur (overdag) en RV (s' nachts) boven de 2^{de} laag oplopen. In dit laatste geval is stoken met het raam open geen energiezuinige methode om vocht af te voeren.

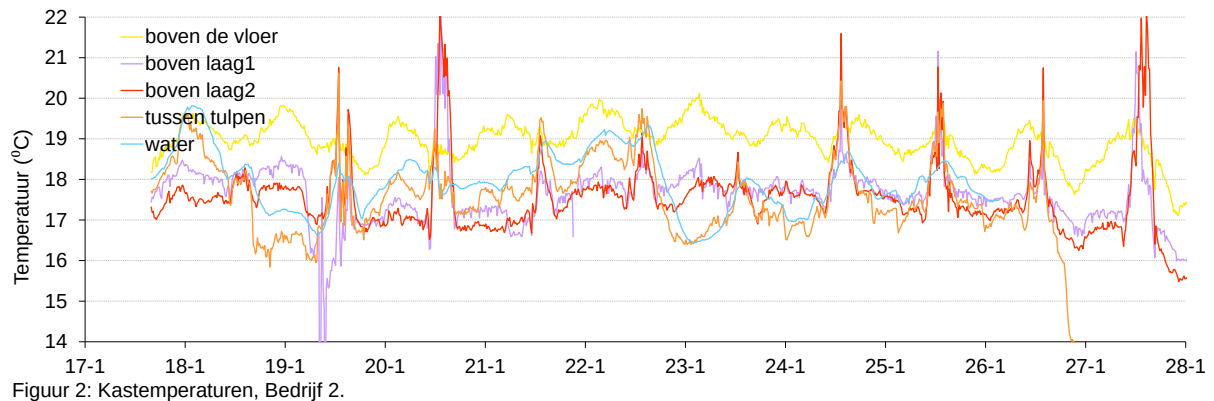
Voor Bedrijf 1 is daarom doorgerekend wat de capaciteit van een systeem om mechanisch te ontvochtigen zou moeten zijn, in dit geval bij uitbreiding van het bruto kas oppervlak naar 3600 m² en van de broei naar 3 lagen, zie Bijlage 1.

Hierbij is het van belang een goede inschatting van de maximale verdamping van tulpen te hebben. Onderzoek aan broei op water door PPO laat zien dat de maximale verdamping (bij 17 °C en een RV van 50% – 60%) in het begin van de trek laag is, maar afhankelijk van de instraling aan het eind van de trek flink kan oplopen. In december werd aan het eind van de trek rond de 2 liter water per dag per m² verdampt, in januari bij zonnige dagen liep dit op tot ruim 4 liter, figuur 1. Om de maximale verdamping bij meerlagenteelt te schatten zouden deze hoeveelheden dus vermenigvuldigd moeten worden met de bedekkingsgraad per laag en het aantal lagen. De in deze proeven gebruikte cultivars verschillen in verdamping nauwelijks van elkaar.



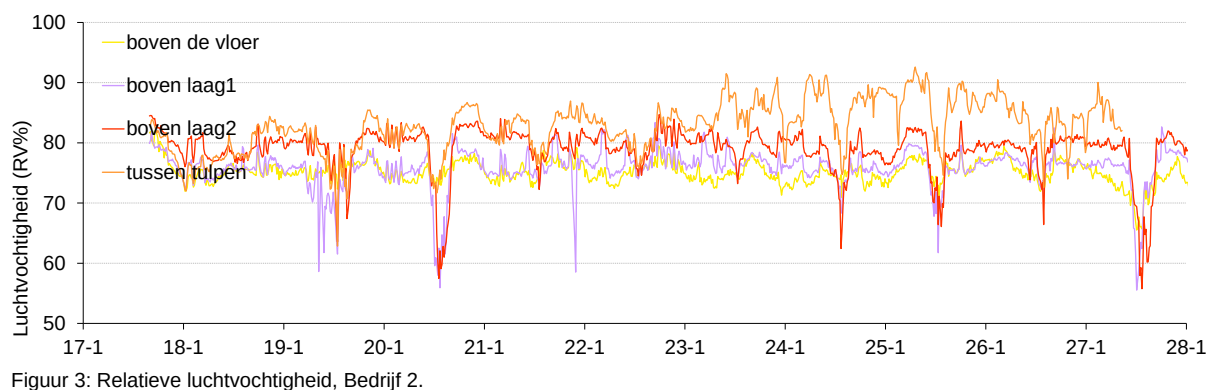
Figuur 1: Verdamping tulpen in waterbroei.

Bedrijf 2 heeft het systeem van luchtbehandelingskasten, slurven en ventilatoren aangepast waardoor nu mechanisch ontvochtigen met aangezogen buitenlucht mogelijk is. Om het systeem door te meten zijn op verschillende plaatsen in de kas, in de slurven, en tussen de tulpen op een container in het transportsysteem, draadloze temperatuur- en RV sensoren geplaatst. Hiermee is van 17 januari t/m 3 februari het kasklimaat gevolgd. De temperatuur in die periode tot het moment dat de eerste tulpen van de container geoogst worden is weergegeven in figuur 2.

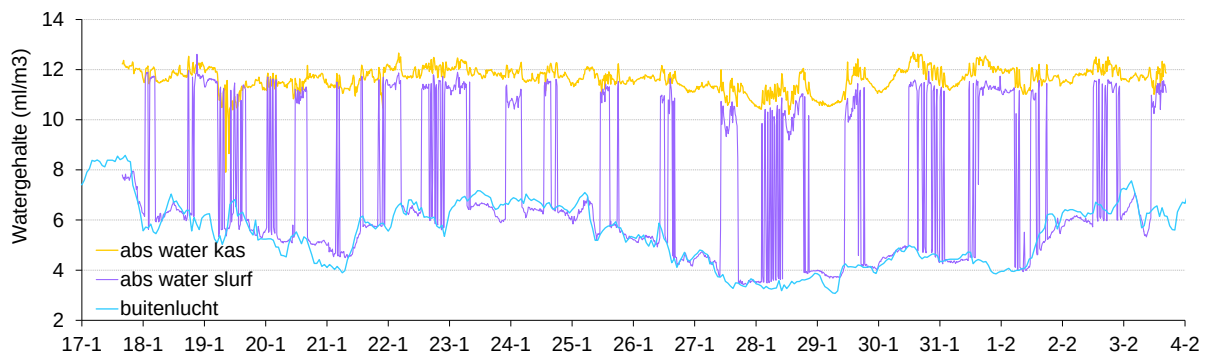


De temperatuur van de kaslucht boven laag 1 is vrijwel gelijk aan die boven laag 2. Het kasklimaat is dus gelijkmatig. De temperatuur boven de vloer ligt 1 – 2 graden hoger (vloerverwarming). De temperatuur tussen de tulpen en de temperatuur van het water in de trays (gemeten in 8 verschillende bakken in dezelfde container) liggen door de vloerverwarming aanvankelijk iets hoger dan de temperatuur van de kaslucht boven de teeltlagen. Op 22 januari gaat de container naar de bovenste laag en wordt de temperatuur tussen de tulpen en die van het water in de trays gelijk aan de temperatuur van de kaslucht. De pieken in de temperatuur van de kaslucht boven de teeltlagen, tussen de tulpen en iets gedempter van het water in de trays, worden veroorzaakt door instraling van de zon. De temperatuur in de slurven varieert van 25 °C (wanneer met buitenlucht ontvochtigd wordt) tot 35 °C wanneer kaslucht wordt opgewarmd.

De RV geeft een omgekeerd beeld, figuur 3: De RV boven laag 2 ligt meestal iets boven de RV boven laag 1, die vrijwel gelijk is aan de RV boven de vloer. De RV van de kaslucht blijft overal onder de 85%. De RV tussen de tulpen ligt aanvankelijk gelijk aan de RV van de kaslucht, maar naarmate het gewas zich ontwikkelt komt de sensor meer tussen de bladeren te zitten en wordt de RV hoger dan in de kaslucht en neemt toe tot 90%.

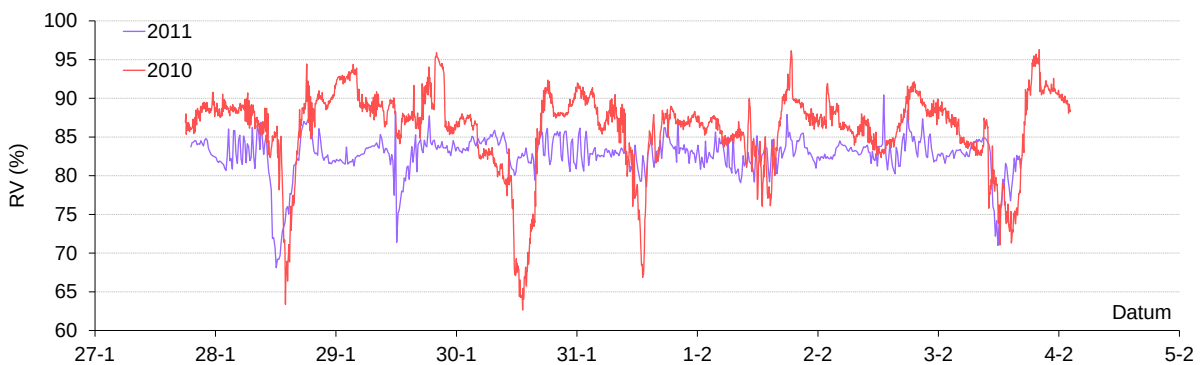


De gemiddelde RV van de kaslucht bleef door het mechanisch ontvochtigen onder de 85%. Wanneer ontvochtigd moet worden zuigt de luchtbehandelingskast buitenlucht aan waarvan het absolute watergehalte met 4 - 6 ml/m³ (data KNMI, station Berkhout) ver onder dat van de kaslucht is, figuur 4. Deze droge lucht wordt opgewarmd en via de slurven in de kas verdeeld. Het absolute watergehalte van de kaslucht is gemiddeld vrijwel constant op 11-12 ml/m³. Wanneer *niet* ontvochtigd hoeft te worden, wordt kaslucht aangezogen waardoor het absolute vochtgehalte in de slurf direct dat van de kaslucht benadert.



Figuur 4: Absolute luchtvochtigheid kaslucht, in de slurven, Bedrijf 2 en buiten (Berkhout, KNMI).

In vergelijking met dezelfde periode in het vorige broeiseizoen bleef met dit systeem van mechanisch ontvochtigen de maximale RV in de kas vrijwel altijd onder de 85%.



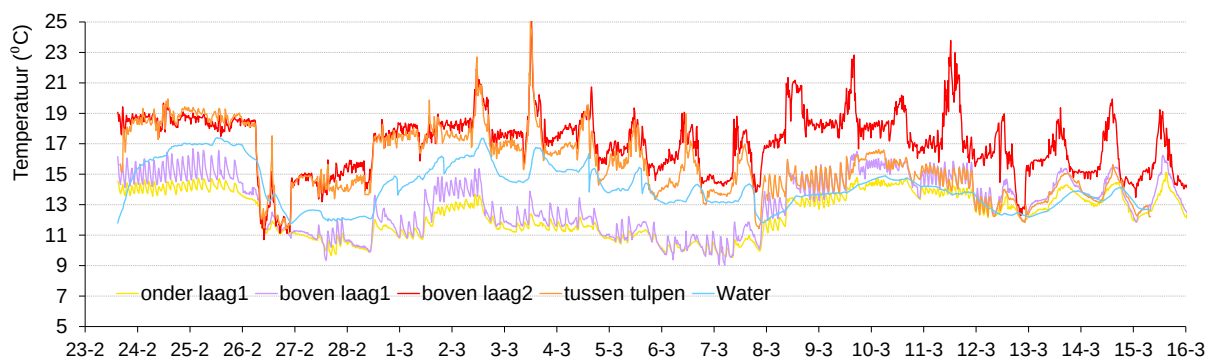
Figuur 5: Maximale RV zonder (2010) en met mechanisch ontvochtigen (2011), Bedrijf 2.

Bedrijf 4, zie foto's, heeft net als Bedrijf 1 een geheel gesloten 2^{de} laag boven het gehele kasoppervlak. De onderste laag wordt belicht met witte en blauwe TL-lampen. De kas wordt mechanisch ontvochtigd. De



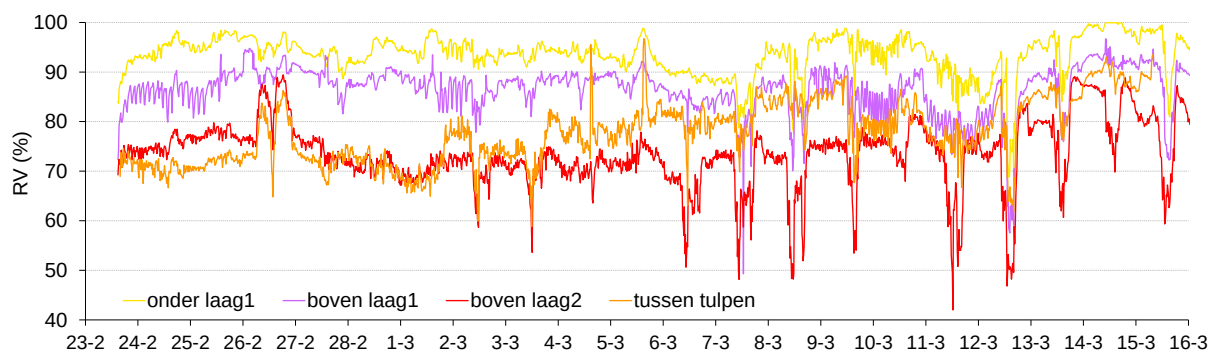
bovenste laag wordt verwarmd met buizen, de onderste laag via de slurven van het ontvochtigingssysteem/luchtbehandelingskasten. Van 23 februari t/m 23 maart is op dezelfde wijze als bij Bedrijf 2 het kasklimaat gevolgd. De temperatuur in die periode tot het moment dat de eerste tulpen van de container geoogst worden is weergegeven in figuur 6. Om logistieke redenen begint op Bedrijf 4 de trek op

de bovenste laag, waarna de tulpen op de onderste laag afrijpen en geoogst worden. De temperatuur boven laag 2 was 3 – 4 °C hoger dan boven laag 1. De temperatuur onder laag 1 was vrijwel hetzelfde als boven laag 1. Tussen de tulpen was de temperatuur aanvankelijk als boven laag 2, en nadat de container op 7 maart naar laag 1 verhuisde was de temperatuur als boven laag 1. De temperatuur van het water is dan gelijk aan de temperatuur onder laag 1 (warmte komt van boven).



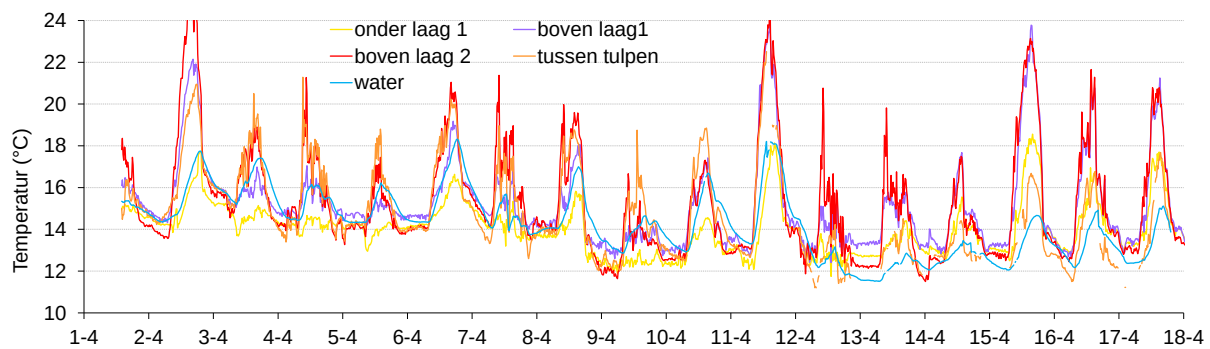
Figuur 6: Kastemperatuur, Bedrijf 4.

De RV liet weer het omgekeerde beeld zien, figuur 7. Boven en vooral onder laag 1 was de RV hoger dan boven laag 2. Boven laag 1 was de RV regelmatig boven 85%. Aanvankelijk was de RV tussen de tulpen gelijk aan de RV van de directe omgeving (boven laag 2), maar naarmate het bladerdek zich ontwikkelt wordt het tussen de tulpen vochtiger dan boven laag 2. Als op 7 maart de container naar laag 1 verhuist waar de RV hoger ligt is er nauwelijks verschil meer tussen de luchtvochtigheid tussen de tulpen en de directe omgeving.



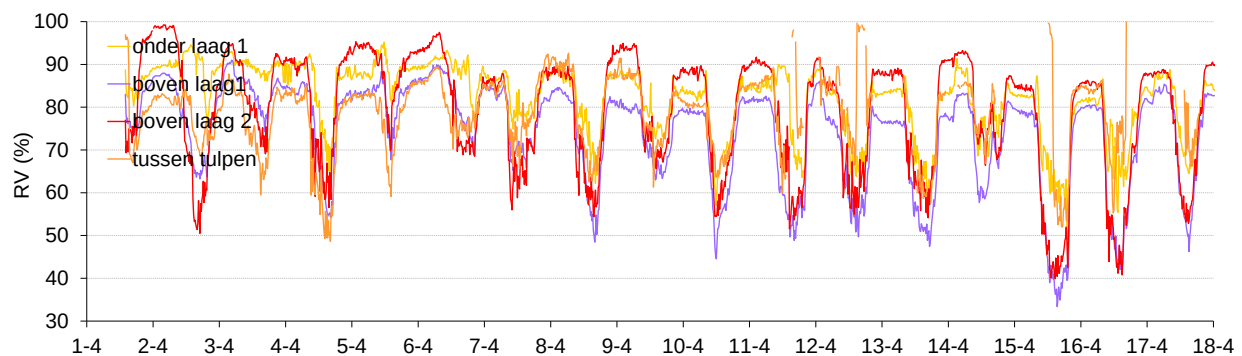
Figuur 7: RV in de kas, bedrijf 4.

Bedrijf 5 heeft slechts boven een deel van de kas een 2^{de} laag. Dit deel is door glas afgesloten van het deel met een enkele teeltlaag. De trek start in het deel met de dubbele laag waar vanaf 1 april het kasklimaat werd gemonitord. De temperatuur van het proceswater was gelijk aan de temperatuur onder laag 1, de temperatuur tussen de spruiten was gelijk aan de temperatuur boven laag 1, figuur 8. De temperatuur boven de 2^{de} teeltlaag was overdag fors hoger dan boven de 1^{ste} laag. Op 3 april ging de container naar de 2^{de} laag waardoor de temperatuur van het water en tussen de tulpen de situatie op laag 2 volgt. Op 11 april werd de container van het kascompartiment met de dubbele teeltlaag verplaatst naar het compartiment met de enkele teeltlaag. In dat deel was het koeler zodat de temperatuur tussen de tulpen en die van het proceswater onder de temperaturen van het compartiment met de dubbele teeltlaag kwamen. Overdag was de temperatuur boven laag 2 hoger dan boven laag 1 waar het warmer was dan onder laag 1. S'nachts was het meestal het warmst boven laag 1, het koelst boven laag 2 en onder laag 1. Vanaf 14/4 was er geen verschil meer tussen laag 1 en 2: er staan vermoedelijk geen tulpen meer op de 2^{de} laag.



Figuur 8: Kastemperaturen, Bedrijf 5.

De RV vertoont een omgekeerd beeld: s'navts het hoogst boven laag 2 en onder laag 1, het laagst boven laag 1, figuur 9. Overdag is de RV boven laag 1 en 2 lager dan onder laag 1.



Figuur 9: RV in de kas, Bedrijf 5.

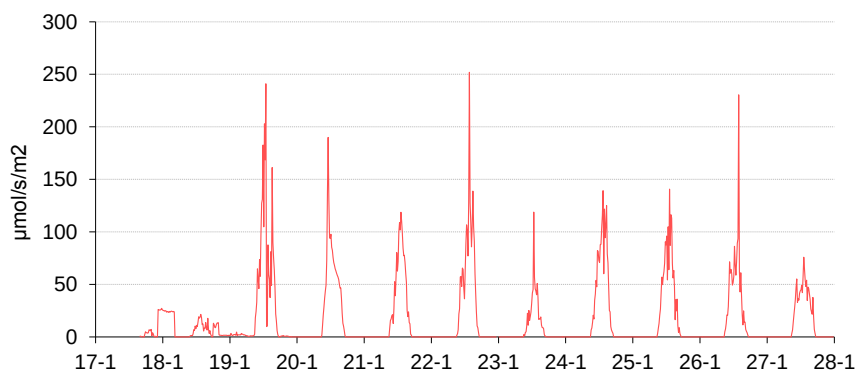
Tabel 1 vat de gemiddelde temperatuur en RV tijdens de gevolgde trekken op de drie bedrijven samen. Op Bedrijf 2 wordt bij een hogere temperatuur gebroeid dan op de twee andere bedrijven. Achtergrond hierbij is dat op Bedrijf 2 met een eb/vloed systeem wordt gebroeid en dat de gevolgde trek in januari plaatsvond. De andere twee bedrijven broeien op stilstaand water en de gevolgde trekken vonden plaats in maart en in april. De kans dat de RV boven de 85% komt is op Bedrijf 2 boven beide lagen 0%. Afgezien van andere weersomstandigheden later in het broeiseizoen, zijn achtergronden hierbij dat op Bedrijf 2 mechanisch ontvochtigd wordt en dat de bovenlaag op dit bedrijf niet gesloten is, maar een bedekkingsgraad van 55% heeft. Op Bedrijf 4 en op Bedrijf 5 in het betreffende kasdeel is de bedekkingsgraad van de bovenlaag 100%. Ook op Bedrijf 4 wordt mechanisch ontvochtigd, maar er wordt op laag 1 bij een veel lagere temperatuur gebroeid (13,1 versus 17,7 °C op Bedrijf 2). De absolute luchtvochtigheid was op Bedrijf 2 en Bedrijf 5 voor beide lagen gelijk. Op bedrijf 4 is door mechanisch ontvochtigen van laag 1 het absolute vochtgehalte veel lager dan boven laag 2 (11,5 ml/m³ boven laag 1 versus 14,6 ml/m³ boven laag 2).

Tabel 1: Gemiddelde temperatuur en RV tijdens de trek.

	Bedrijf 2	Bedrijf 4	Bedrijf 5
begin metingen	17-jan	23-feb	1-apr
einde trek	27-jan	5-mrt	17-apr
einde metingen	3-feb	23-mrt	22-apr
Onder laag 1			
Temp	19,0	12,4	14,0
RV%	75,3	93,5	82,1
kans RV > 85%	0%	96%	45%
Boven laag 1			
Temp	17,7	13,1	15,2
RV%	75,8	86,5	74,0
kans RV > 85%	0%	72%	11%
H ₂ O abs (ml/m ³)	15,1	11,5	13,0
Boven laag 2			
Temp	17,6	17,1	15,3
RV%	79,1	73,5	79,1
kans RV > 85%	0%	6%	48%
H ₂ O abs (ml/m ³)	15,0	14,6	13,1
Tussen tulpen			
Temp	17,4	15,6	14,8
RV%	82,9	77,8	78,6
kans RV > 85%	30%	15%	23%
Water Temperatuur	17,7	14,2	14,3

3.2 Licht

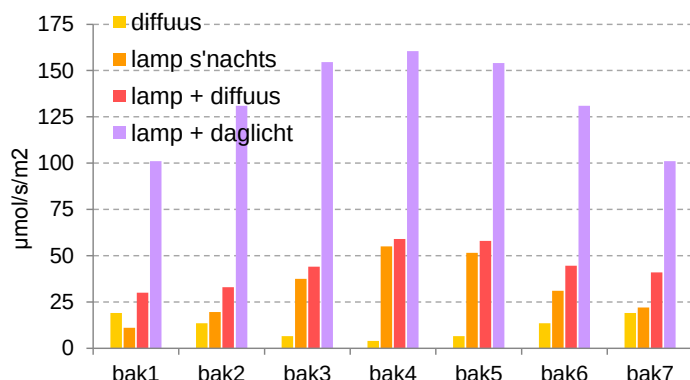
Op Bedrijf 2 zijn op een container in het transportsysteem vanaf het inhalen ook 2 lichtsensoren meegereisd. De eerste 2 dagen bevond de container zich in laag 1 onder een gevulde containerbaan van laag 2, daarna onder een open baan van laag 2. Op 22 januari verhuisde de container naar de bovenlaag en op 27 januari werden de eerste tulpen geoogst en de sensoren verwijderd.



Figuur 10: PAR-licht op de tulpen.

Met pieken tot 250 $\mu\text{mol/s/m}^2$ bij zonneschijn overdag was de gemiddelde instraling tussen ongeveer 08:00 uur en 16:30 uur tijdens deze trek t/m 27 januari 51 $\mu\text{mol/s/m}^2$, gemiddeld over 24 uur is dat 19 μmol . Dat is vrijwel gelijk aan de 20-25 μmol die bij 24 - 20 uur/dag kunstlicht voor alle cultivars voldoende is om goede tulpen te leveren. Recht onder de lamp werd s'nachts ongeveer 30 μmol gemeten, tussen de lampen 15 $\mu\text{mol/s/m}^2$.

Op Bedrijf 1 is eenmalig overdag op 3 februari op laag 1 over de breedte van een containerbaan het PAR-licht per bak onder verschillende omstandigheden gemeten: waar de laag erboven leeg was en de lampen aan (dus daglicht + lamp), en onder een gesloten bovenlaag *zonder* (alleen diffuus licht uit de 60 cm vrije ruimte tussen de containerbanen van laag 2) en *met* de lampen aan (diffuus + lamp). Het verschil tussen de laatste twee is dan wat de lamp s'nachts oplevert, figuur 11.



Figuur 11: Lichtprofielen op laag 1

De lichtintensiteit op laag 2 varieerde tussen 190 en 206 $\mu\text{mol/s/m}^2$, ruim boven het maximum van 160 μmol op laag1. Overdag met een lege containerbaan erboven *plus* de lamp aan is de gemiddelde lichtintensiteit 133 μmol , met lampen aan en een gesloten containerbaan is dat overdag 44 en s'nachts 33 μmol . Uitsluitend diffuus licht geeft op laag 1 gemiddeld 12, in het midden 4 en aan de randen van de container 19 μmol .

Rekenend met 20 - 25 $\mu\text{mol/s/m}^2$ gedurende 24 - 20 uur per dag belichten, terwijl de eerste 30% van de trek niet belicht hoeft te worden: Op de bovenlaag krijgt het gewas ruim voldoende licht (dus ruim meer dan

de $25 \mu\text{mol} \times 3600 \times 24/1000.000 = 2,16 \text{ mol/m}^2$ per dag). Op de onderste laag zou de trek in het donker kunnen starten en als 60% van de tijd op de onderste laag (dus 30% van de totale trekduur) verstreken is dient er belicht te worden. Uitgaand van het laagste lichtniveau bij "lamp + diffuus" op de buitenste bakken 1, 2, 6 en 7 (gemiddeld $37 \mu\text{mol}$) is dan tijdens de laatste dagen op laag 1 een belichting van 6 - 7 uur per dag voldoende. Zonder diffuus licht zou er die laatste dagen op de eerste laag 11 – 12 uur belicht moeten worden.

Figuur 10 laat zien dat de hoeveelheid PAR-licht overdag sterk varieert zodat ook de hoeveelheid diffuus licht sterk varieert. Belichting zou misschien door een PAR-sensor aangestuurd kunnen worden zodat belichting stopt wanneer de optimale dagelijkse lichtsom bereikt is, of zodat s'navonds niet *meer* wordt aangevuld dan wat overdag te kort gekomen is.

Bedrijf 1 experimenteert met de eerste dagen van de trek (maximaal 5) broeien *onder* laag 1 waar de tulpen in het donker staan. Op deze tulpen zijn met een laag lichtniveau (eerst 11 daarna $16 \mu\text{mol/s/m}^2$) rode en blauwe LED's getest. Onder blauwe LED's groeiden de spruiten fors sneller dan onder rode LED's, zie foto's. Onder rode LED's werd de geteste cultivar (Purple Prince) goed groen en was er eerder bladspreiding. Worden de tulpen echter 10 dagen onder blauwe LED's gehouden dan worden ze te lang en gaan slingeren. Na het verplaatsen naar de bovenliggende teeltlagen was er tegen de tijd dat geoogst werd geen verschil meer tussen de tulpen waar te nemen. Elke 10 minuten zijn foto's met een webcam genomen en vervolgens tot filmpje gemonteerd. De filmpjes zijn te zien op www.meerlageteeltindepraktijk.nl, zie Bijlage 2.



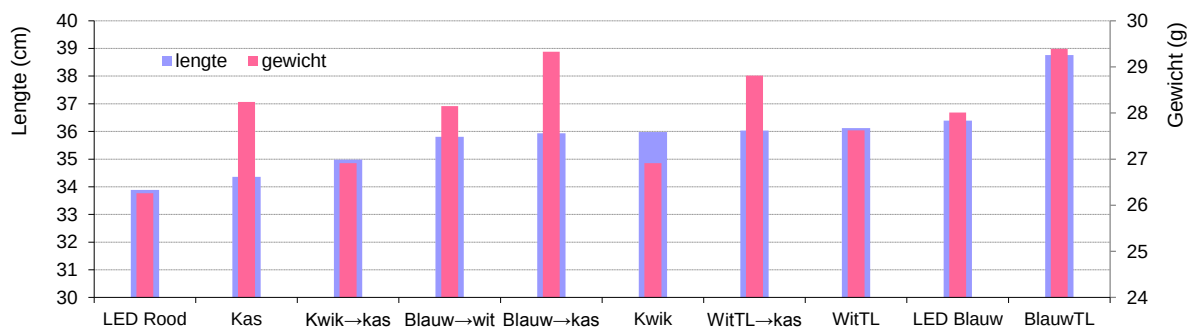
Foto's: Tulpen op Bedrijf 1 onder rode en blauwe LED's.

Bedrijf 6 heeft ter voorbereiding op meerlagenteelt in een bewaarcel met 8 verschillende cultivars, elk 10 bakken, oriënterende proeven gedaan met witte en blauwe TL, en rode en blauwe LED's, zie foto's. In totaal zijn in de periode van half november tot half februari in de bewaarcel 8 trekken uitgevoerd gelijktijdig met trekken in de kas, per trek telkens een andere cultivar.



Foto's: Tulpen op Bedrijf 6 onder witte TL, blauwe TL en onder rode en blauwe LED's. De rode LED's hingen aan de kant van de webcam, de blauwe aan het andere eind. De tulpen in het midden stonden onder een rood/blauw mengsel.

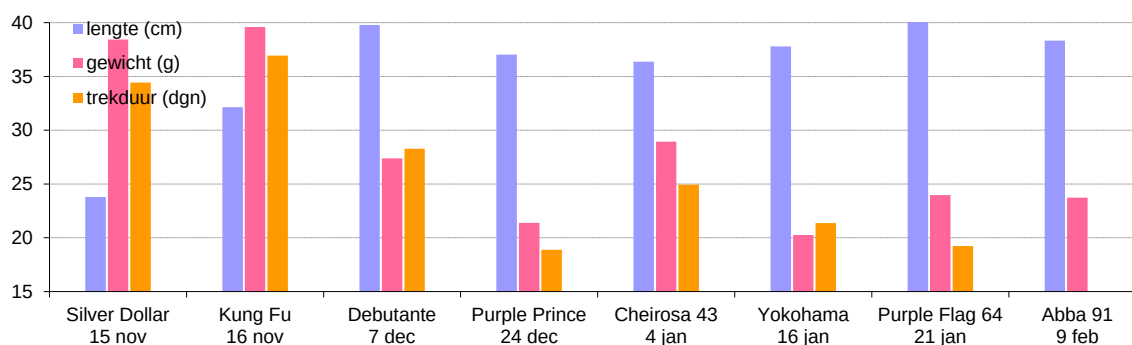
De rode en blauwe LED's zijn bij de laatste 3 trekken vervangen door een kwiklamp. Halverwege de trek zijn van sommige cultivars enkele bakken in de kas gezet of van lampsoort gewisseld. Aldus zijn 10 verschillende lichtregimes getest waarvan de resultaten zijn samengevat in figuur 11. Hierin zijn de lichtbehandelingen gerangschikt op gemiddelde lengte van de cultivars (kortste eerst, langste laatst). De tulpen onder rode LED bleven het kortst, onder blauwe TL het langst, gevolgd door blauwe LED. De zwaarste tulpen werden onder blauwe TL, onder blauwe TL en daarna in de kas, en onder witte TL en daarna in de kas gebroeid. Onder rode LED's en ook onder de kwiklamp (geheel of alleen de eerste helft van de trek en daarna in de kas) bleven de tulpen het lichtst.



Figuur 11: Lengte en gewicht van tulpen afgebloeid onder verschillende lichtregimes.

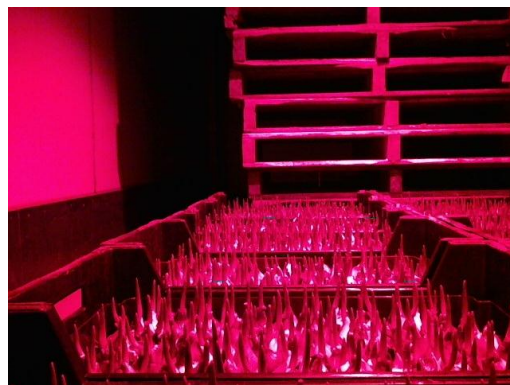
Bij de trekken van Debutante (7 december ingehaald), Purple Price (24 december ingehaald) en Cheirosa (4 januari ingehaald) is ook de bladkleur visueel beoordeeld met een score tussen 1 en 10: het laagst scoorden de tulpen die volledig onder blauwe TL groeiden, die onder witte TL groeiden en daarna in de kas zijn gezet, en die onder blauwe TL groeiden en daarna in de kas zijn gezet. Het hoogst scoorden tulpen onder de kwiklamp, de rode LED's en in de kas. Tussen cultivars was er gemiddeld geen verschil in score.

Cultivars met hun datum van inhalen, trekduur, lengte en gewicht zijn samengevat in figuur 12.



Figuur 12: Gewicht, lengte en trekduur van de cultivars uit de lichtproeven.

Op bedrijf 7 zijn in een bewaarcel de rode en blauwe LED's afzonderlijk getest (zie foto's), telkens met andere cultivars.



Plantgewicht en lengte zijn hier niet bepaald, wel is de cultivar door het bedrijf telkens visueel beoordeeld. De geteste cultivars waren o.a. Yellow Flight, Viking, Leen van der Mark, Debutante, Cheirosa en Yokohama. Voor alle cultivars gold dat onder rood de bladkleur donkerder was en de plantlengte 5 tot 7 cm korter dan onder blauw. Bij deze cultivars was onder rode LED's de spreiding niet opvallend eerder of beter dan onder blauw.

De resultaten van de belichtingsproeven komen overeen met de proeven uitgevoerd bij PPO: forsere groei onder blauwe LED's (langer en zwaarder). De snellere spreiding onder rode LED's is echter niet bij alle cultivars waargenomen. De proeven zijn uitgevoerd onder lage lichtniveaus (11 tot 16 $\mu\text{mol/s/m}^2$). Voor het eerste deel van de trek is dit voldoende, het tweede deel vereist voor stevigheid, goede bladkleur en plantopbouw vermoedelijk hogere lichtintensiteiten.

Onderzoek aan de minimale lichtbehoefte door PPO in Lisse (programma Systeeminnovaties) liet zien dat lichttekort in de late fase van de broei tot een andere plantopbouw leidt (poot relatief langer, langste blad relatief korter) en afhankelijk van cultivar tot slappe onveilige tulpen of tot groen blijvende bloemen, zie Bijlage 3. Lichttekort in de beginfase van de broei heeft geen negatieve effecten.

3.3 Energie-Efficiëntie

Van bedrijven 1, 2, 4 en 5 zijn energie- en productiecijfers verzameld om het energieverbruik in de kas (voor verwarming en belichting) per bos tulpen te kunnen schatten en daarmee ook de energiebesparing t.o.v. éénlaags broei.

Bedrijf 1 broeide t/m het broeiseizoen 2006/7 van half december tot half april op één laag ongeveer 4,5 miljoen stelen. Gemiddeld over de drie broeiseizoenen 2004/5, 2005/6 en 2006/7 werd er voor het broeien van één bos tulpen 6,15 MJoules verbruikt. De drie volgende broeiseizoenen werd met twee teeltlagen in de kas het dubbele gebroeid waarbij de onderste laag werd belicht. Voor een bos tulpen werd toen rond de 3,80 MJ verbruikt, een besparing t.o.v. broei in één laag van 38%. Afgelopen broeiseizoen (2010/11) is *onder* de eerste teeltlaag tot maximaal 5 dagen onbelicht voorgetrokken op ongeveer de helft van het teeltoppervlak. Toen werden er 12 miljoen tulpen gebroeid met een energie-efficiëntie van 3,26 MJ/bos, een besparing van 47% t.o.v. de broei in 2004 t/m 2007 op één laag, tabel 2.

Tabel 2: Energieverbruik per bos tulpen (excl. koeling/preparatie, machines), Bedrijf 1.

	eenlaagsbroei (4,5 miljoen stelen)			tweelaagsbroei (9 mln)			3-laags (12 mln)
week 49 t/m 16	2004/5	2005/6	2006/7	2007/8	2008/9	2009/10	2010/11
bedekkingsgraad	89%	89%	89%	178%	178%	178%	223%
gas (MJ)	2748395	2961560	2589497	2764186	2843495	2932791	2981150
elektra (MJ)*	-	-	-	620573	620573	620573	930860
totaal (MJ)	2748395	2961560	2589497	3384759	3464068	3553364	3912010
MJ/bos van 10	6,11	6,58	5,75	3,76	3,85	3,86	3,26
gemiddeld bij 1-laags		6,15					
		bespaard t.o.v. 1-laags		39%	37%	37%	47%

* uitgangspunt: Op één van de teeltlagen bij 2-laags gemiddeld 8 uur belichting, bij 3-laags gemiddeld 12 uur.

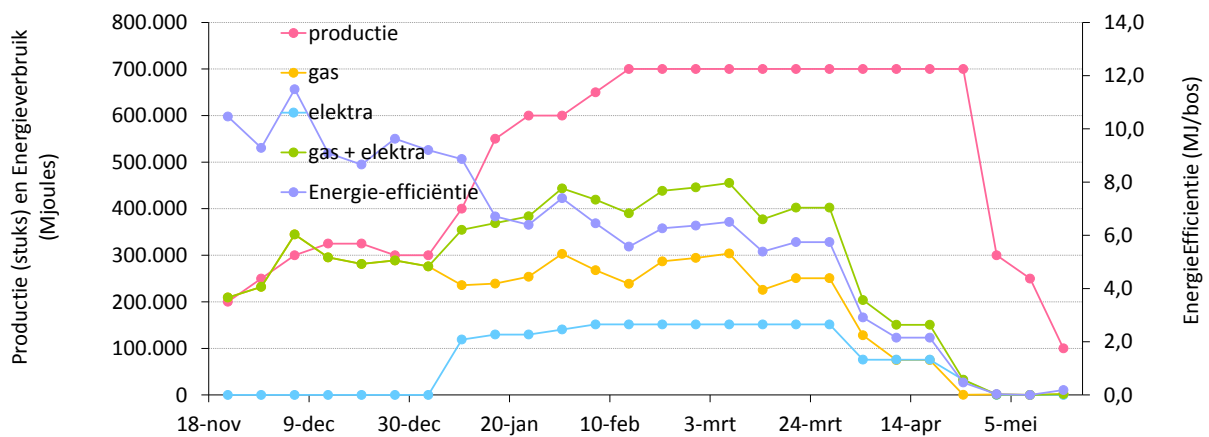
Bedrijf 2 verbruikt uitsluitend groene stroom en verwarmt de kas met een systeem van warmtewisselaars, warmtepompen en warmteopslag in de bodem. T.o.v. het vorig broeiseizoen zijn er flink meer tulpen gebroeid. Het totale energieverbruik voor kasverwarming is iets lager geschat waardoor het energieverbruik per bos fors lager uit kwam op 3,02 MJ/bos (25% minder dan vorig jaar). Door MLT alleen is hierdoor 40% op energie bespaard.

Tabel 3: Schatting energieverbruik per bos, december t/m mei, bedrijf 2.

	eenheid	2009/10	2010/11
productie	stelen	18.000.000	22.350.000
totaal energieverbruik (uitsluitend groene stroom!)	kWh	1.136.880	1.185.300
koeling/preparatie per 1000 stks volgens monitoring MJA-e	kWh	19,5	19,5
totaal elektra koeling/prep etc.	kWh	351.000	435.825
elektra verlichting kas	kWh	10.000	40.884
geschatt energieverbruik voor verwarming*	kWh	775.880	708.591
totaal kas	kWh	785.880	749.475
	MJ	7.072.920	6.745.275
Energieverbruik/bos (kasverwarming + licht)	MJ/bos	3,93	3,02
Bespaard door MLT			40%

* op het bedrijf wordt geen gas verbruikt, uitsluitend groene stroom voor warmtepompen

Bedrijf 4 start de broei om redenen van interne logistiek op de bovenste laag. De 2^{de} helft van de trek staan de tulpen op de onderste laag waar ze t/m week 12 met blauwe en witte TL-lampen 24 uur per dag belicht worden, daarna 12 uur per dag. Op de 6451 m² teelt (161 % kasbedekking) werden 13,2 miljoen tulpen gebroeid. De eerste tulpen werden 22 november geoogst, de laatste op 16 mei. Vanaf eind januari t/m eind april is de kas in volle productie. Het gasverbruik voor verwarming is in december t/m februari het hoogst en neemt in maart pas af. Het elektraverbruik voor verlichting start pas als ook op de onderste laag gebroeid wordt, in de eerste week van januari, figuur 13. In deze figuur is ook het energieverbruik per bos weergegeven: in het begin van het broeiseizoen is dit het hoogst (meer dan 10 MJ/bos) door de lage weekproductie en het hoge energieverbruik. Het totale energieverbruik (verwarming *plus* belichting) is het



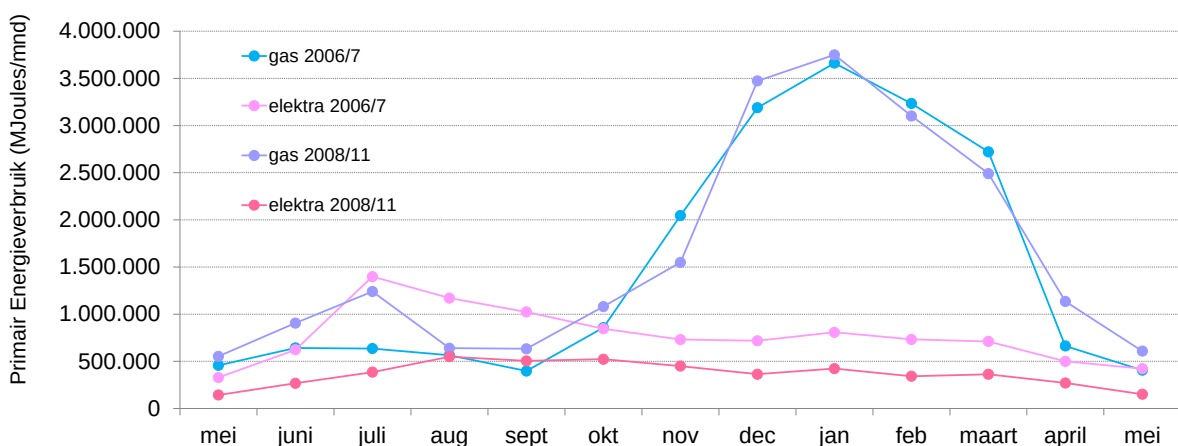
Figuur 13: Wekelijkse productie en energieverbruik, Bedrijf 4

hoogst in februari. Het gewogen gemiddelde energieverbruik per bos was 5,58 MJ en betekent t.o.v. broei in één teeltlaag een energiebesparing van 40%, tabel 4.

Tabel 4: energieverbruik Bedrijf 4.

	eenheid	20010/11
productie	miljoen	13
gasverbruik	m3	152.384
	MJ	5.359.345
elektra verlichting	kWh	221.118
	MJ*	1.990.062
Totaal	MJ	7.349.407
	MJ/bos	5,59
Energiebesparing	%	40%

Bedrijf 5 heeft sinds november 2007 een WKK (80 kWe opgewekt door een gasmotor), warmteopslag in de aquifer en een warmtepomp. De oudere kassen zijn volledig vernieuwd en toegerust met energieschermen, gevelisolatie etc.. Ook is er een nieuw kasdeel van bruto 4000 m² bijgebouwd waarin boven de eerste teeltlaag van netto 3910 m² (6 banen) een tweede teeltlaag is geïnstalleerd van 3250 m² (5 banen). Het totale netto teeltoppervlak komt daarmee op 15954 m² en de bedekkingsgraad op 126%. Het energieverbruik vóór (2006/2007), en na de bedrijfsvernieuwing/uitbreiding (2008 t/m 2011, m.u.v. de periode juni t/m oktober 2008 waarin de WKK niet goed functioneerde) is weergegeven in figuur 14.



Figuur 14: Energieverbruik voor en na bedrijfsvernieuwing.

Door de elektra-productie van de WKK lag de aankoop van elektra in de jaren na 2008 aanzienlijk lager dan in 2006. Het gasverbruik lag op het zelfde niveau. De broeiproduktie van half december t/m de 3^{de} week van april lag in 2006 echter op 16 miljoen stelen, in de jaren na 2008 op 30 miljoen. De energie-efficiëntie in de broei is hiermee fors verbeterd, tabel 5.

Tabel 5: Energieverbruik voor de broei voor en na bedrijfsvernieuwing, Bedrijf 5.

		2006	2008/2011
productie	miljoen	16	30
gasverbruik	m3	332958	339208
	MJ	11710115	11929931
schatting warmtepomp (COP = 3)**	MJ		1704276
Totaal voor warmte	MJ	11710115	13634207
	MJ/bos	7,3	4,5
energiebesparing			38%

* tulpen worden niet belicht

** COP = Coefficient of Performance: een warmtepomp met een COP = 3 levert met 1 MJoule elektra 3 MJoule warmte.

Voor de 4 bedrijven is het energieverbruik samengevat in Tabel 6. Om de 4 bedrijven onderling beter vergelijkbaar te maken is hierin voor Bedrijf 1 en Bedrijf 5 (resp. tabel 2 en tabel 5) de energiebesparing niet berekend door te vergelijken met de productie- en energiecijfers uit de periode dat het bedrijf nog op één laag broeide, maar berekend zoals voor Bedrijf 2 en Bedrijf 4 (tabel 3 en 4): "het kWh-verbruik voor belichting x 3,6 (= de hoeveelheid warmte die bij het elektraverbruik vrijkomt, uitgedrukt in MJ) *plus* het gasverbruik in MJoules *gedeeld* door de productie van het oppervlak van één laag".

Tabel 6: Samenvatting energieverbruik bij bedrijf 1, 2, 4 en 5.

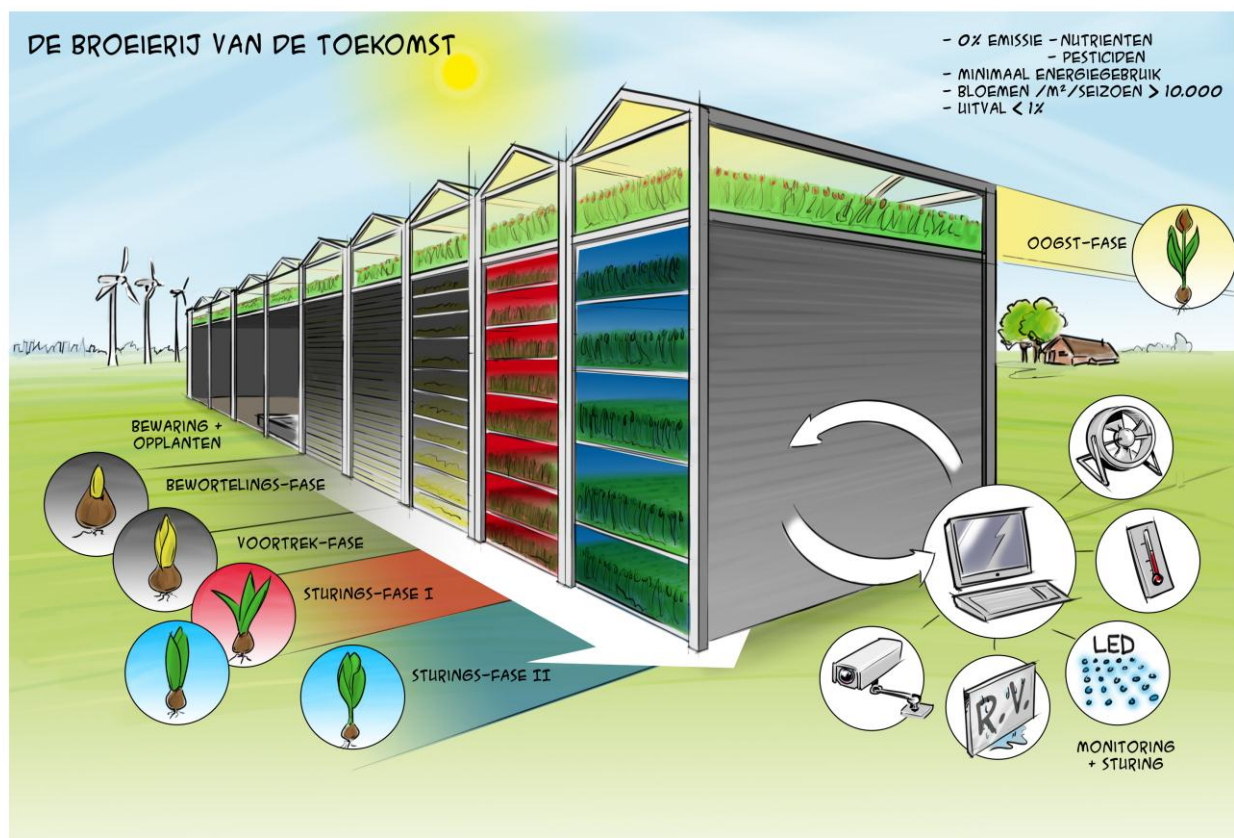
Bedrijf	eenheid	Bedrijf1	Bedrijf2	Bedrijf4	Bedrijf5
Broeiperiode	datum	15-dec	15-nov	22-nov	15-dec
	datum	15-apr	29-mei	16-mei	21-apr
	dagen	121	195	175	127
bruto kasoppv	m2	2000	5300	4000	12800
netto teelt oppv	m2	4452	8050	6451	15954
bedekkingsgraad	%	223%	152%	161%	125%
gasverbruik voor warmte	m3	84.764	-	152.305	339.208
per m2 kas	m3	42,4	-	38,1	26,5
per m2 teelt	m3	19,0	-	23,6	21,3
bespaard op gas	%	55%	nvt	38%	20%
warmtepomp	kWh	-	708.591	-	189.364
totaal verbruik voor warmte	MJ	2.981.150	6.377.315	5.356.567	13.634.207
Belichting	gemiddeld belicht	uur/dag	12	6	21
	geïnstalleerd	watt/m2	40	40	31
	totaal	kWh	103429	40884	221118
	primaire	MJ	930860	367960	1990062
Totaal Energie	MJ	3.912.010	6.745.275	7.346.628	13.634.207
aandeel voor belichting	%	24%	5%	27%	0%
Productie	miljoen	12	22,4	13,2	30
Energie/bos	MJ/bos	3,26	3,02	5,59	4,54
Bespaard t.o.v. 1 laag broei		53%	55%	40%	20%

De energiebesparingen t.o.v. broei in één laag zijn aanzienlijk en afhankelijk van de bedekkingsgraad en het belichtingsregime.

3.4 Tulpenbroeierij van de toekomst

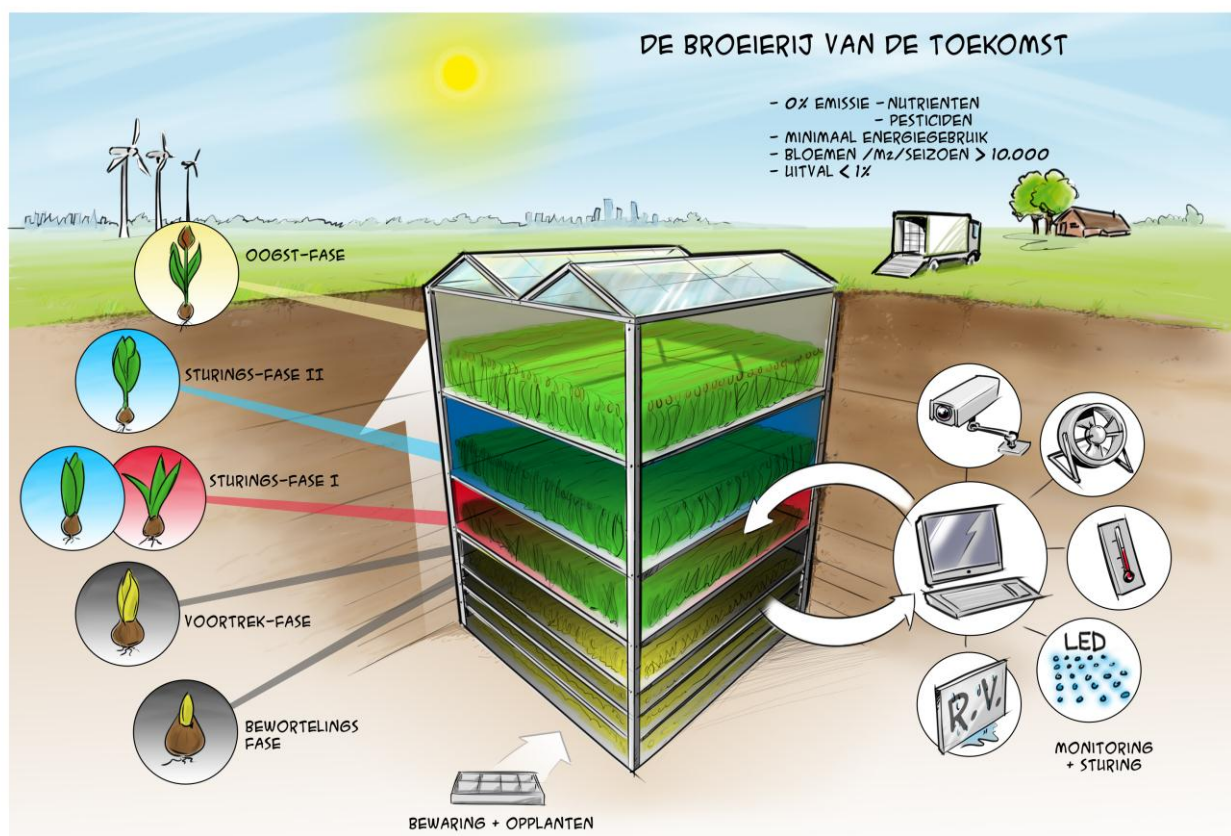
Twee alternatieve ontwerpen van MLT systemen zijn hieronder uitgebeeld (illustraties door JAM Visueel denken). Compartimentering per groeifase, plantsturing met o.a. rode en blauwe LED-belichting, eb/vloed, en teeltsturing dmv. sensoren en klimaatcomputers zijn hierin belangrijke componenten.

Doel is een minimaal energieverbruik en maximale productie van de hoogste kwaliteit, zonder emissie van nutriënten en pesticiden.



Mogelijk wat minder ver in de toekomst ligt bovenstaand ontwerp, waarbij de compartimenten/cellen voor beworteling, voortrek en plantsturing met rode en blauwe LED's naast elkaar liggen en waar de afstand tussen de lagen toeneemt naarmate de planten langer worden. Bovenop deze cellen ligt dan het kasgedeelte waarin de tulpen de laatste dagen voor de oogst staan om onder daglicht hun definitieve vorm en kleur te krijgen.

Iets verder in de toekomst ligt het alternatieve ontwerp waarbij alle compartimenten verticaal gestapeld zijn, de zg. broeitoren. De compartimenten zitten om redenen van ruimtelijke ordening onder de grond. Alleen het kasdeel voor de laatste paar dagen van de trek bevindt zich boven de grond.



4 Conclusies en Aanbevelingen

Uit de proeven en metingen zijn de volgende conclusies te trekken:

- De *maximale* verdamping van tulpen op stilstaand water is in de orde van 2 – 4 liter/m²/dag. Dit wordt pas aan het eind van de trek gerealiseerd en hangt af van de instraling van zonlicht.
- Bij broei in meer lagen is de maximale verdamping per m² kas dus “de bedekkingsgraad” x (2 – 4) liter.
- Berekeningen met KASPRO laten zien dat om bij 2-laags broei de RV onder de 85% te houden dmv. mechanisch ontvochtigen met aangezogen buitenlucht, door de kas verspreid via slurven, een maximale ventilatiecapaciteit van 8m³/uur/m² kas voldoende is. De gemiddelde verwachte capaciteitsbenutting hiervan is 15%.
- Bij bedrijf 2 is het temperatuursverschil tussen de 2 lagen zeer klein: de lucht wordt door de losse ventilatoren en de slurven zeer goed over de kas verdeeld.
- Het nieuw geïnstalleerde systeem om mechanisch te ontvochtigen houdt de RV vrijwel altijd onder de 85%.
- Problemen met kiepers en zweters zijn hiermee voorkomen.

- Op Bedrijf 4 ligt de temperatuur boven laag1 fors lager dan boven laag2.
- De RV boven laag 1 is gemiddeld 85 – 90%, ondanks dat er fors wordt ontvochtigd: het absolute vochtgehalte is met 11,5 ml/m³ flink lager dan boven laag 2 (14,6 ml/m³). De temperatuur boven laag1 is dus fors lager, vermoedelijk om de groeisnelheid (t.o.v. de belichting met kunstlicht) af te remmen.
- Ook bij bedrijf 5 is het temperatuursverschil tussen laag 1 en laag 2 klein.
- Net als op Bedrijf 2 is er vrijwel geen verschil in absoluut vochtgehalte tussen de lucht boven laag 1 en boven laag 2.
- Lichtmetingen op Bedrijf 2 lieten zien dat de gemiddelde daglichtsom in de 2^{de} helft van januari ongeveer evenveel is als bij de vroeger aanbevolen 20-25 μmol kunstlicht die bij 24 – 20 uur per dag voor alle cultivars voldoende is om tulpen van goede kwaliteit te leveren.
- Op Bedrijf 1 zou op basis van deze aanbeveling op laag1 na maximaal 6 dagen donker per dag 6 – 7 uur belichten nodig zijn. Zonder het diffuus licht dat tussen de containerbanen door op laag 1 valt zou 11 – 12 uur nodig zijn.
- Alle op de Bedrijven 1, 5 en 7 onder LED-lampen geteste cultivars (> 16) worden onder blauw licht langer en zwaarder. Ook onder blauwe TL-lampen.
- Deze cultivars blijven ook allemaal korter onder rode LED's, maar slechts enkelen vertonen duidelijk eerdere spreiding.
- Op Bedrijf 2 was de bladkleur onder rode LED's, onder de kwiklamp en in de kas het donkerst, onder blauwe of witte TL het lichtst. De lage lichtintensiteit van de TL-verlichting (3 $\mu\text{mol/s/m}^2$ tegen 8 $\mu\text{mol/s/m}^2$ onder LED) kan daar debet aan zijn.
- Ook op bedrijf 7 was de bladkleur onder rode LED het donkerst. Hier was de lichtintensiteit onder rode LED's gelijk aan onder de blauwe LED's: 16 $\mu\text{mol/s/m}^2$.
- Door op een deel van het kasoppervlak *onder* de 1^{ste} teeltlaag enkele dagen voor te trekken en zo gedeeltelijk in 3 lagen te broeien nam op Bedrijf 1 de productie toe van 9 tot 12 miljoen stelen en kwam het energieverbruik voor kasverwarming en belichten uit op 3,26 MJ/bos. T.o.v. broei op één laag in de jaren 2004 t/m 2007 is hierdoor per bos 47% op energie bespaard.
- O.a. door minder uitval a.g.v. een beter gecontroleerd kasklimaat kon Bedrijf 2 de productie van 18 miljoen stelen in 2010 verhogen naar 22,4 miljoen stelen in 2011. Gerekend naar primaire energie komt het energieverbruik per bos hiermee op 3,02 MJ/bos. Zou er op 1 laag gebroeid zijn dan zou er 5,03 MJ/bos verbruikt zijn, zodat door meerlagenteelt 40% bespaard is.
- Ook bedrijf 4 bespaart door meerlagenteelt 40% op energie, maar het energieverbruik per bos is hier hoger. Achtergrond hierbij is dat pas in de 2^{de} helft van februari de maximale wekelijkse productiecapaciteit bereikt wordt, en dat het belichten van de onderste laag relatief veel energie kost.
- Bedrijf 5 bespaart 20% door meerlagenteelt, met als achtergrond dat slechts een deel van het kasoppervlak 2 lagen heeft. Vergeleken met het energieverbruik in 2006, toen 16 miljoen stelen werden gebroeid, is in de periode 2008/2011 toen 30 miljoen stelen werden gebroeid het energieverbruik per bos ook afgenomen door vernieuwing van de kassen en het gebruik van een WKK, warmteopslag en een warmtepomp. Hierdoor nam het energieverbruik met 38% af van 7,3 MJ/bos in 2006 tot 4,5 MJ/bos in 2008/2011.

Aanbevelingen:

Voor fase 3 van dit project: Het monitoren van het kasklimaat (licht, temperatuur en RV), en van het energieverbruik, blijft van groot belang om verschillende systemen van meerlagenteelt te vergelijken. Er zijn enkele nieuwe bedrijven die in 3 of meer lagen willen gaan broeien en dat geeft weer andere verschillen in

kasklimaat. Naast de verticale verdeling van temperatuur en RV zijn ook de horizontale verschillen van belang, m.n. bij het mechanisch ontvochtigen en bij compartimentering.

In de loop van het broeiseizoen moet de horizontale en verticale verdeling van het PAR-licht in de kas nauwkeurig in kaart worden gebracht bij de verschillende meerlagensystemen en lichtregimes, zodat meer informatie over de lichtbehoefte van de verschillende cultivars naar voren komt.

Voor fase 3 van dit project worden daarom de volgende activiteiten voorgesteld:

- Het aantal deelnemende bedrijven uitbreiden (naar mogelijk 10). Dit vergroot de variatie in MLT-systemen (verschillen in aantal lagen, lichtregimes, interne logistiek, compartimentering).
- PAR-Lichtprofielen in de kas in kaart brengen (verdeling horizontaal en verticaal).
- Testen van alternatieve lichtregimes en lichtbronnen.
- Monitoren kasklimaat (temperatuur en RV) bij verschillende systemen van ontvochtiging. Aandachtspunten hierbij zijn horizontale en verticale gelijkmatigheid, en de energiekosten van mechanisch ontvochtigen.
- Monitoren energieverbruik per steel.
- Het in een of meerdere bijeenkomsten evalueren van de resultaten met de betrokken broeiers
- Op basis van de resultaten doorrekenen verbeteringen en alternatieve ontwerpen van meerlagenteeltsystemen.
- Kennisverspreiding: de website onderhouden en vakbladartikel en in samenwerking met adviseurs/voorlichters lezingen op bijeenkomsten / open dagen.

5 Communicatie

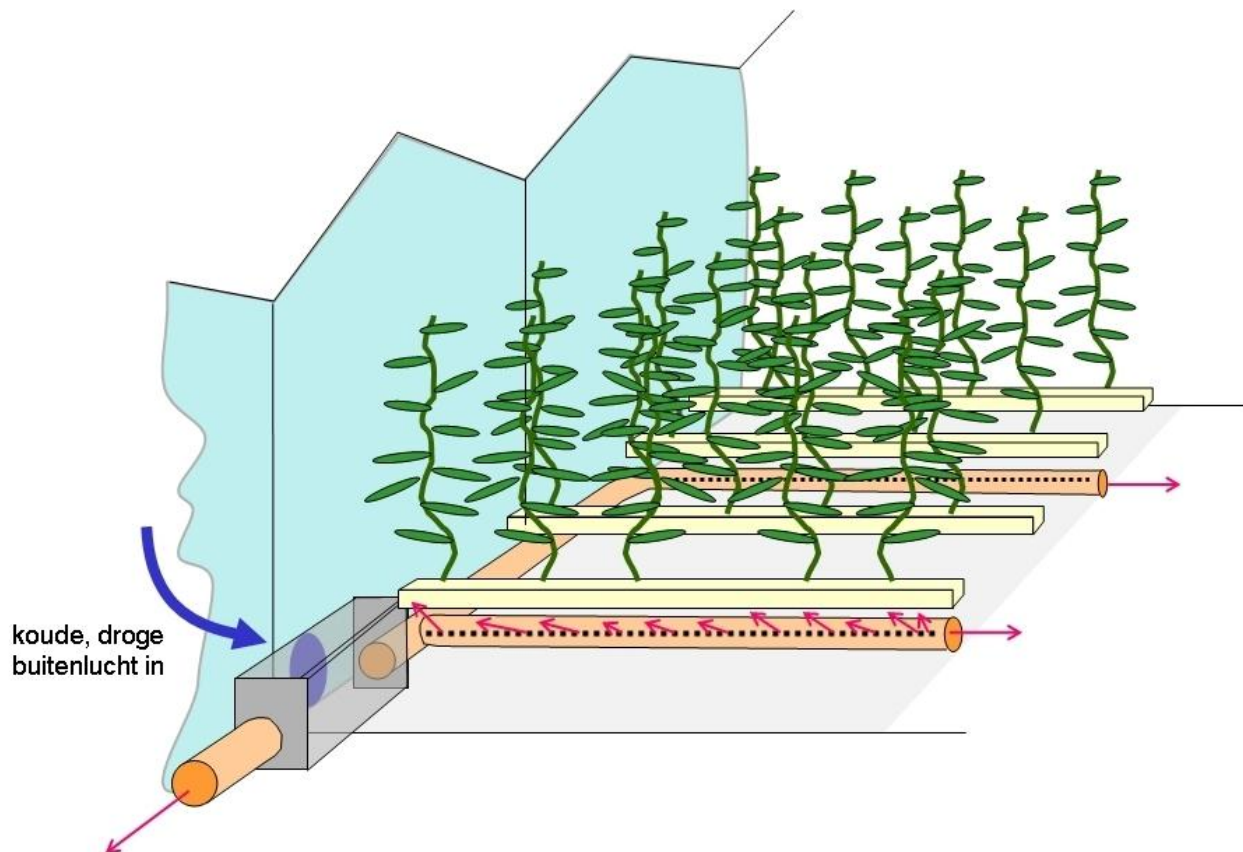
In het kader van dit project is een website geopend, zie Bijlage 2, waar o.m. resultaten van belichtingsproeven te volgen zijn. De werking van mechanisch ontvochtigen is middels een poster op de open dag van PPO, en tijdens de Mechanisatietentoonstelling in Lisse gepresenteerd. Daarnaast zijn 4 lezingen verzorgd, zie tabel 7:

Tabel 7: Lezingen over Meerlagenteelt.

	datum	gelegenheid	publiek
H.Gude	14-jan	bijeenkomst/brainstorm Het nieuwe Telen Tulp	25
M. van Dam	24-feb	bijeenkomst Agribours Zwaagdijk	200
M. Raaphorst	14-mrt	studieclub West Friesland	20
K. van der Putten	23-mei	bijeenkomst PT/KAVB	30

Bijlage 1: Mechanische vochtafvoer met buitenlucht

J.C. Campen (WUR Glastuinbouw)



Principeschets van het systeem

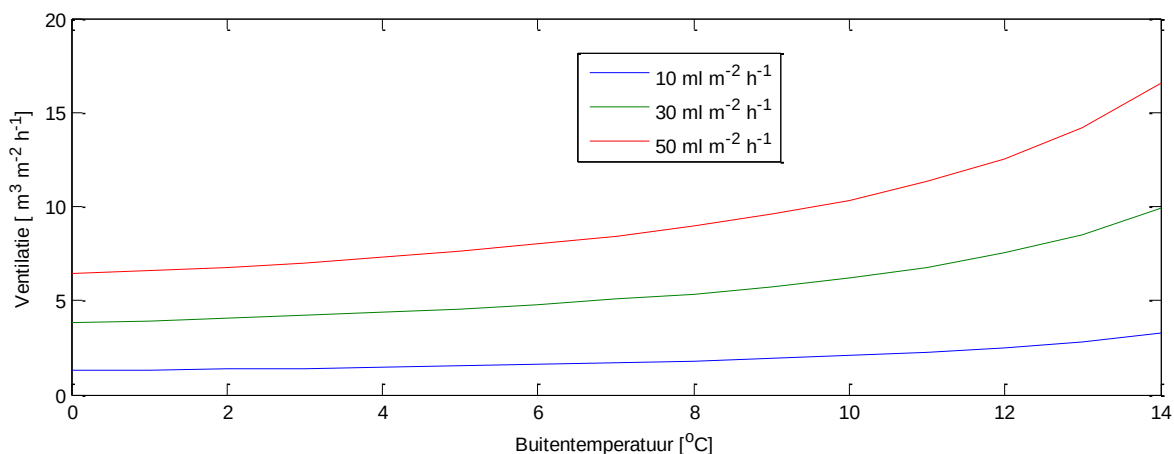
Buitenlucht bevat altijd minder vocht dan kaslucht, ook op het moment dat het regent of mist. De absolute luchtvochtigheid is lager voor buitenlucht waardoor luchtuitwisseling met kaslucht altijd zorgt voor een netto vochtafvoer. Traditioneel gebeurt de vochtafvoer door ventilatie met de ramen. Deze methode heeft echter twee nadelen: (1) de controleerbaarheid is niet goed aangezien de hoeveelheid lucht die wordt uitgewisseld niet precies te regelen is. Daarnaast (2) is de verdeling van de buitenlucht die binnenkomt niet gelijk qua temperatuur en vocht. Hierdoor ontstaat een ongelijkmatig kasklimaat.

Met gecontroleerde vochtafvoer waarbij buitenlucht middels een ventilator en luchtslangen in de kas wordt gedistribueerd worden deze nadelen weggenomen. De vochtige kaslucht verlaat de kas door de kieren in de kas die er meestal voldoende aanwezig zijn. Bij voorkeur wordt de buitenlucht voorverwarmd zodat lokale klimaatverschillen worden vermeden.

De hoeveelheid lucht die wordt ingeblazen is afhankelijk van de hoeveelheid vocht die moet worden afgevoerd en het absoluut vochtverschil tussen buiten en binnen.

$$\text{Ventilatie} [m^3 / s] = \frac{\text{Verdamping} [l / s]}{AV_{kas} - AV_{buiten} [l / m^3]}$$

De hoeveelheid vocht die moet worden afgevoerd hangt af van de verdamping van het gewas en de verdamping van vrij water in de kas.



Benodigde hoeveelheid ventilatie als functie van de buitentemperatuur bij verschillende hoeveelheden verdamping waarbij de kastemperatuur 17°C is bij 80% RV

De hoeveelheid verdamping die in bovenstaande figuur is weergegeven komt overeen met verdampingshoeveelheden die horen bij geen of een lage instraling waarbij de ramen gesloten blijven. Op het moment dat de instraling hoger wordt, en daarmee de verdamping, zullen de ramen worden geopend op basis van temperatuur en wordt de luchtvochtigheid daarmee ook laag genoeg.

Toepassing van het systeem op Bedrijf 1



Luchtverdeelsysteem op Bedrijf 1

Op Bedrijf 1 hangen 16 ventilatoren die de lucht boven de bovenste teeltlaag wegzuigen naar beneden en tussen de onderste en de bovenste teeltlaag middels een luchtslang verdelen. De temperatuur en

luchtvochtigheids-metingen laten zien dat dit goed werkt.

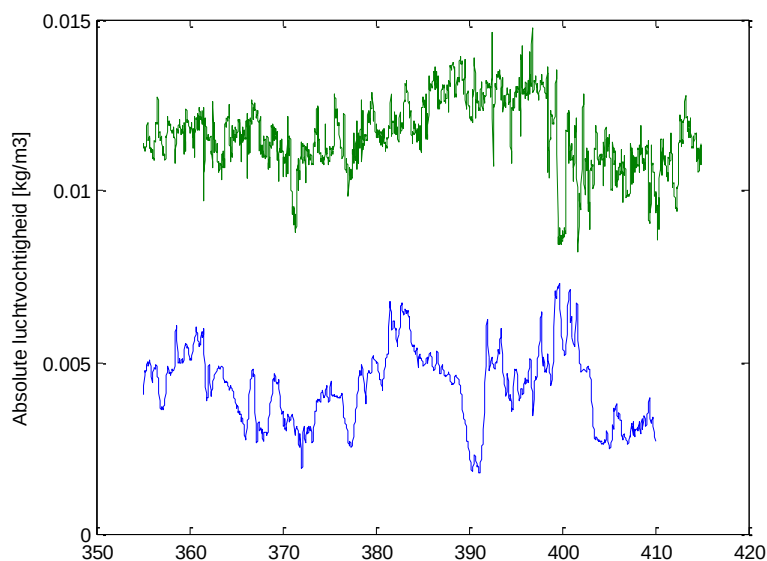
Bij het systeem van mechanisch ontvochtigen wordt buitenlucht via een slang naar deze verschillende ventilatoren gebracht waarmee de lucht vervolgens tussen de containers wordt geblazen. Er zijn in totaal vier slangen met elk een ventilator nodig. Deze ventilatoren worden geregeld op basis van de relatieve luchtvochtigheid (of vocht deficit) die gemeten wordt bij de meetbox (of een combinatie van meetboxen in het gebied waar de lucht wordt ingezet).

In eerste instantie wordt het systeem uitgevoerd zonder voorverwarming van de lucht. De lucht die de kas binnenkomt via de slang is koud en als de slang niet geïsoleerd is zal er veel condens op de slang ontstaan. Isoleren is dus een vereiste ook omdat er anders kouval rond de luchtslang kan ontstaan. De koude buitenlucht wordt opgemengd met de kaslucht voordat het de verdeelslangen ingaat. Hierdoor zullen de verdeel slangen niet te koud worden. Op het moment dat het buiten heel koud is, is er maar weinig buitenlucht nodig ten behoeve van de ontvochtiging. Ook op deze momenten zal dit dus naar alle waarschijnlijkheid geen probleem geven.

De droge lucht wordt verspreid met het luchtslangensysteem dat reeds aanwezig is. Aangezien temperatuur en vocht in het bestaande systeem goed verdeeld zijn kan je er vanuit gaan dat de droge lucht ook goed wordt verspreid.

Voor een exacte dimensionering van het systeem is het belangrijk de hoeveelheid verdamping te weten. Deze is mogelijk uit de watergift te verkrijgen. Op basis van deze gegevens en het gewenste klimaat kan de maximale ventilatiebehoefte worden bepaald en kan een berekening worden gemaakt waaruit de inzet van de ventilator zichtbaar wordt.

Ruwe berekening



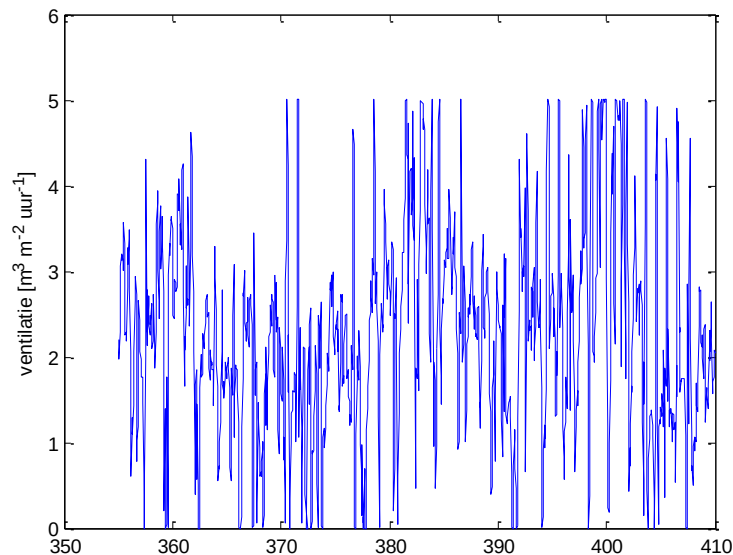
Absolute luchtvochtigheid buiten (blauw) en in de kas (groen) in de periode van half december tot half februari

Bovenstaande figuur laat de absolute luchtvochtigheid van de buitenlucht en de kaslucht zien in de periode van half december tot half februari. Gemiddeld is het vochtverschil tussen kas en buiten ongeveer 6 gr/m³. Op basis van de grafiek zou de maximale verdamping ongeveer 3 liter per dag zou zijn, wat aan de hoge kant is. Op basis van deze getallen zou de hoeveelheid buitenlucht die nodig is om deze hoeveelheid vocht af te voeren 15 m³m²uur⁻¹ zijn. Echter door condensatie op het dek zal dit getal lager uitvallen.

KASPRO berekeningen

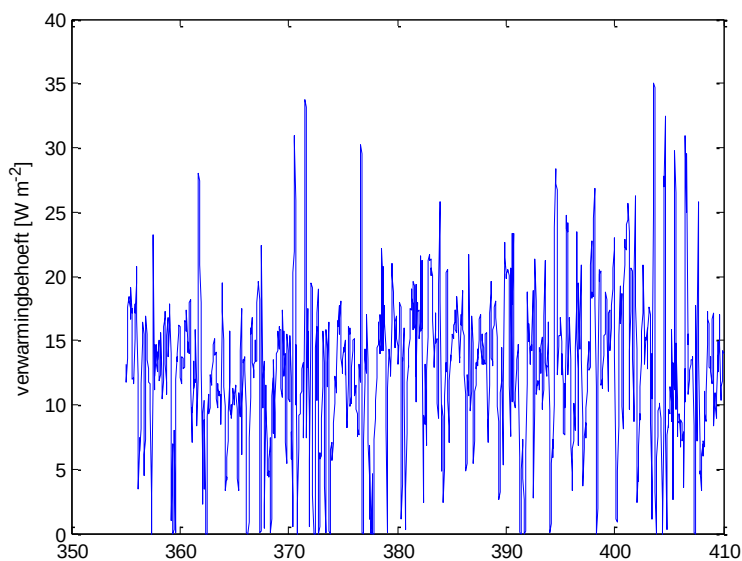
Op basis van de klimaatcomputerdata is een simulatie in KASPRO uitgevoerd. KASPRO is een dynamische

simulatie model waarmee het klimaat in een kas kan worden berekend. In feite is het een virtuele kas. De buitencondities (temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, wind, straling) worden als randvoorwaarde gebruikt. De regeling van het klimaat gebeurt op dezelfde wijze als in een echte kas middels de klimaatcomputer.



Ventilatie behoefte ten behoeve van de ontvochtiging met buitenlucht

Bovenstaande figuur laat de benodigde ventilatie met buitenlucht zien. Uit deze grafiek blijkt dat ventilatie van maximaal $5 \text{ m}^3 \text{m}^{-2} \text{uur}^{-1}$ voldoende is. Dit is dus lager dan uit de ruwe berekening naar voren kwam. Dit komt mede door de condensatie tegen het dek en het feit dat er bij veel verdamping ook veel zonneinstraling is en de kas dan wordt geventileerd. Een frequentiegeregelde ventilator is nodig om een goede regeling te krijgen.

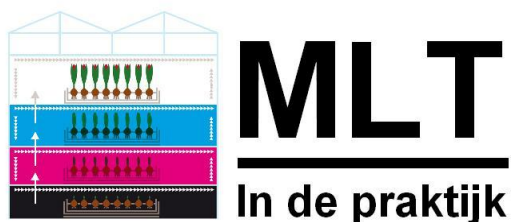


De extra verwarmingsbehoefte die nodig is om de koude buitenlucht op kaslucht temperatuur te brengen is maximaal 35 W/m^2 .

Conclusie

De berekeningen laten zien dat middels de aanzuiging van buitenlucht de luchtvochtigheid in de kas goed geregeld kan worden. De exacte verdamping van het gewas en het vrije water is een onzekere factor in de bepaling van de benodigde capaciteit. Op basis van de berekeningen van het kasklimaat waarbij de temperatuur en de luchtvochtigheid in overeenstemming zijn gebracht met de gemeten waardes, zou 5 m³/m² uur voldoende zijn. Een installatie met een maximum capaciteit van 8 m³/m² uur die frequentie geregeld wordt, lijkt daarom voldoende. Overigens draait de ventilatie uiteraard niet constant op 8 m³m²uur⁻¹ maar gemiddeld ongeveer op 15% van deze capaciteit. Het totale kasoppervlak wordt 3600 m² en er komen 4 ventilatoren. Dit betekent 7200 m³/m² uur per ventilator.

Bijlage 2: www.meerlageteeltindepraktijk.nl



Op de website www.meerlageteeltindepraktijk.wur.nl worden de laatste resultaten van het aan meerlagenteelt gerelateerd onderzoek bijgehouden en vind u informatie over verschillende aspecten als mechanisch ontvochtigen, LED-belichting en energiebesparing.

Middels onderstaand persbericht is de opening van de website gecommuniceerd:

PERSBERICHT

Nieuwe website: tulpen in meer lagen zien groeien

Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO Bloembollen) heeft in de afgelopen jaren veel kennis verworven op het gebied van meerlagenteelt in de broeierij van bolbloemen. Veel kennis is nu online beschikbaar op een nieuwe website. Op deze website is informatie te vinden over belichting, ontvochtiging en verschillende teeltsystemen.

Ook zijn er interessante videofilms te bekijken waarin de groei van tulpen onder verschillende lichtbronnen versneld wordt afgebeeld. De site zal in de lopende tijd uitgroeien met nieuwe informatie en nieuw beeldmateriaal.

Deze website is onderdeel van het project 'Meerlagenteelt in de Praktijk'. Dit project wordt uitgevoerd in opdracht van en gefinancierd door de partijen in de Stuurgroep Schone en Zuinige Bloembollen (KAVB, PT, EL&I, Agentschap NL en telers).

Het webadres van de nieuwe site is: www.meerlageteeltindepraktijk.wur.nl

Bijlage 3: Samenvatting Licht-donker proeven 2009/2010

In het project “Systeeminnovatie in de broeierij” is onder meer onderzoek naar de minimale lichtbehoefte van tulp gedaan. De laatste proeven in deze context zijn uitgevoerd met de cultivars Viking, Dow Jones en Uto. Hierbij werd de trek opgedeeld in 3 denkbeeldige fasen en zijn de tulpen steeds één fase niet belicht. De resultaten, gemiddeld over cultivars, zijn samengevat in tabel 1 en in figuur 1, 2 en 3. Achtergronden bij uitval door lichtgebrek in de laatste fase zijn voor de verschillende cultivars samengevat in tabel 2.

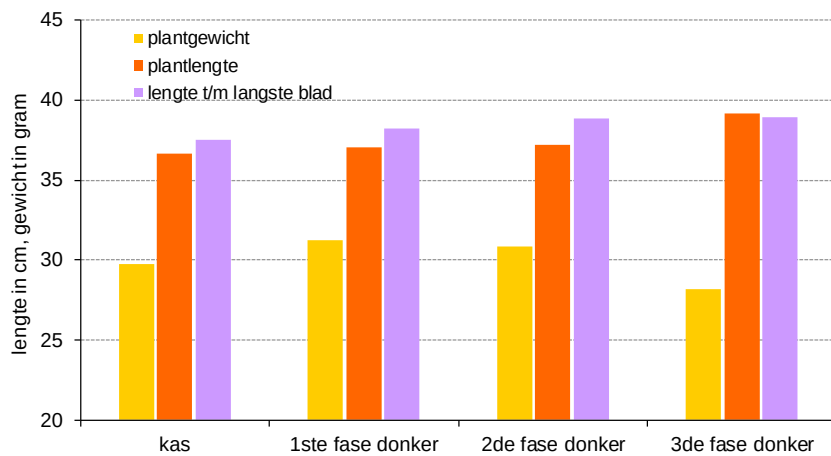
Tabel 1: Gemiddelden (over cultivar en trek) per lichtbehandeling

	eenheid	kas	donkerperiode		
			1ste fase	2de fase	3de fase
% in donker gemiddeld	%	0%	25%	36%	31%
trek 1	%	0%	25%	25%	42%
trek 2	%	0%	26%	47%	20%
groeiduur gemiddeld	dgn	21	22	23	22
groeiduur trek 1	dgn	27	29	28	28
groeiduur trek 2	dgn	15	16	17	16
plantgewicht	g	29.7	31.3	30.9	28.2
plantlengte	cm	36.7	37.0	37.2	39.2
poot	cm	12.0	12.0	13.2	15.6
steel	cm	19.6	19.7	18.8	18.7
bloem	cm	5.1	5.2	5.2	4.9
lengte t/m langste blad	cm	37.5	38.2	38.8	38.9
bloem uit blad	cm	0.8	1.2	1.7	-0.3
lengte langste blad	cm	25.5	26.2	25.7	23.3
gew/cm	n	0.81	0.84	0.83	0.72
poot/steel	n	0.61	0.61	0.70	0.83
blad/plantlengte	n	0.70	0.71	0.69	0.59
uitval (onveilig)	%	4%	5%	4%	46%

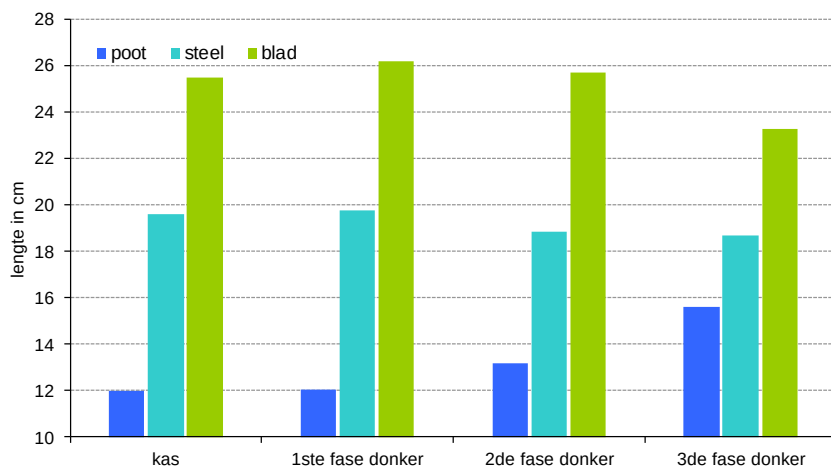
Tabel 2: Achtergronden onveiligheid bij 3de fase in het donker, per cultivar.

Cultivar	trek	groeiduur (dgn)	% onveilig	achtergrond
Viking	1	30	100%	bloem komt niet op kleur (blijft groenig/geel)
	2	18	100%	idem
Dow Jones	1	30	50%	idem
	2	18	2%	-
Uto	1	22	32%	kromme stelen, slappe plant
	2	12	3%	-

Dow Jones en Uto bij trek2 nauwelijks uitval: donkerperiode 3de fase was ook maar een paar dagen



Figuur 1: Plantgewicht en -lengte.



Figuur 2: Lengte poot, steel en blad.

