

CO₂-schadedrempel voor lelieplantgoed

Ademhaling, warmteproductie en CO₂-schade

Jeroen Wildschut, Casper Slootweg en Marga Dijkema

© 2016 Wageningen, Wageningen UR/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 Stuurgroep Schone en Zuinige Bloembollen / Meerjarenafspraken energie Bloembollen (KAVB, min.EZ, RVO.nl en telers).



Projectnummer: 37 361 834 00

Wageningen UR / Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Bloembollen, Boomkwekerij & Fruit

Adres : Prof. Van Slogterenweg 2
: Postbus 85, 2160 AB Lisse
Tel. : 0252 - 462121
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 Ademhaling	8
3.2 Oogst	9
3.3 Consequenties.....	10
4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	12
BIJLAGE 1: VERDELING GEOOGSTE BOLLEN OVER ZIFTMATEN.....	15

Samenvatting

Plantgoed van leliecultivars wordt op 2 tot 0 °C bewaard bij een hoge RV (90 – 95%). Hoe hoog het CO₂-gehalte hierbij in de bewaarcel mag oplopen zonder schade aan te richten, is niet bekend. In de praktijk leeft de vraag sterk hoe hoog de CO₂-schadedrempel is en op veel bedrijven wordt de ventilatie gestuurd op basis van het gemeten CO₂-gehalte in de bewaarcel. Hierbij worden CO₂-setpoints (schadedrempels) genoemd uiteenlopend van 1000 ppm tot 6000 ppm.

Doelstelling van dit onderzoek is om voor plantgoed van enkele leliecultivars de CO₂-schadedrempel te bepalen. Plantgoed van de cultivars White Heaven, Extravaganza en Original Love is daarom van december 2014 tot april 2015 in 4 herhalingen bij 4 CO₂-niveaus bij 0 tot 1 °C bewaard in 16 geconditioneerde tanks. De gerealiseerde CO₂-niveaus waren 473, 2838, 6355 en 14490 ppm.

Voor en na de bewaring is de ademhaling gemeten. April 2015 zijn de bollen per behandeling geteld, gewogen en opgeplant. Oktober 2015 geoogst, verwerkt, gesorteerd naar bolmaat, geteld en gewogen.

De resultaten van dit onderzoek laten zien dat de ademhaling bij 0,5 °C aan het begin van de bewaarperiode 2,7 ml CO₂/kg/uur is en aan het eind tot 1,5 ml is afgenomen. Tussen bollen die bewaard zijn bij de verschillende CO₂-concentraties is geen verschil in ademhaling.

CO₂-concentraties tot 15.000 ppm tijdens de bewaring van lelieplantgoed hebben geen effect op de kwaliteit: veldopbrengsten van het plantgoed worden op geen enkele wijze nadelig beïnvloed door maandenlange bewaring onder deze hoge CO₂-concentraties. De eventuele CO₂-schadedrempel bevindt zich dus boven de 15.000 ppm.

Doorrekening met het BewaarModel op basis van deze bevindingen laat o.a. zien dat bij een ademhaling van 1,5 ml CO₂/kg/uur en een gemiddelde celventilatie van 1 m³/uur per m³ bollen de CO₂-concentratie in de cellucht niet verder kan oplopen dan 1309 ppm. Bij een permanente circulatie van 50 m³/uur per m³ bollen loopt tussen de bollen de CO₂-concentratie in de palletkisten dan gemiddeld op naar 1327 ppm. Bij eenzelfde circulatiehoeveelheid gerealiseerd met een aan/uit ritme van b.v. 3 om 27 minuten loopt de CO₂-concentratie tussen de bollen op tot 2400 ppm. Dit zijn allemaal waarden ver verwijderd van de schadedrempel van ergens boven de 15.000 ppm.

Bij een ademhaling van 1,5 ml CO₂/kg/uur kan een CO₂-concentratie > 15.000 ppm in de cellucht alleen ontstaan als in plaats van gemiddeld met 1 m³ (=1000 liter)/uur met 60 liter/uur per m³ bollen geventileerd wordt. Tussen de bollen kan bij deze ademhaling een CO₂-concentratie > 15.000 ppm alleen ontstaan als de circulatieventilator minstens 6 uur uit staat (en er geen diffusie naar buiten de kist plaats vindt).

Een maximaal gewichtsverlies van ongeveer 10% tijdens de bewaring betekent een gemiddeld vochtverlies van ongeveer 16,6 ml/uur, terwijl bij een ademhaling van 1,5 ml CO₂/kg/uur slechts 0,7 ml water vrijkomt: het is dan niet door de ademhaling dat er ontvochtigd moet worden maar door verdamping van vocht uit de bol. Er wordt dan door de verdamping meer warmte onttrokken dan er door de ademhaling wordt geproduceerd, de minst beluchte kist is dan kouder dan de meest beluchte kist.

Als de RV van de cellucht door ontvochtiging op 90% wordt gehouden en die tussen de bollen in de minst beluchte kist onder de 95%, dan is een circulatie nodig van 115 m³/uur (bij een spreiding hierin van 40%). Loopt de ademhaling op tot 4 of meer ml CO₂/kg/uur dan wordt er meer warmte door de ademhaling geproduceerd dan er door verdamping onttrokken wordt, de minst beluchte kist is dan warmer dan de meest beluchte kist.

Het is gezien deze resultaten zinloos om de celventilatie te sturen op basis van een CO₂-setpoint tussen de 1000 en 6000 ppm. Dit kost energie en lost geen enkel probleem op. Belangrijker is het om de lucht zo gelijkmatig mogelijk over de kisten te verdelen, zodat de circulatie zo laag mogelijk ingesteld kan worden. De circulatie zou dan gestuurd moeten worden op basis van de verdamping van de bollen en het maximale temperatuurverschil tussen de kisten. Hier zou een efficiënt meetsysteem voor ontwikkeld moeten worden. Grenswaarden hierbij zijn dan bijvoorbeeld een RV tussen de bollen van maximaal 95% en een maximaal temperatuurverschil van 0,25 °C. Precieze waarden zullen afhangen van cultivars.

1 Inleiding

Bij de bewaring van bloembollen hebben *ventilatie* (verversing van cellucht met buitenlucht) en *circulatie* (verversing van de lucht tussen de bollen met cellucht) als functie om ethyleen (alleen bij tulp), CO₂, water(damp) en soms ook warmte af te voeren en eventueel O₂ aan te voeren, zodat bewaarcondities optimaal zijn en hiermee de kwaliteit van de bollen behouden blijft. Voldoende circulatie is van belang om eventuele verschillen in bewaarcondities tussen de kisten in de stapeling te minimaliseren.

Voor een aantal gewassen/cultivars is de ademhaling (= productie CO₂/uur per kg bollen) bij verschillende bewaartemperaturen bekend (o.a. lelies, tulp). Hiermee is dan ook bekend hoeveel H₂O er per uur vrijkomt, en wat de warmteproductie is en dus hoeveel warmte afgevoerd moet worden om de temperatuur van de bollen op de ingestelde bewaar temperatuur te houden.

Plantgoed van leliecultivars wordt op 2 tot 0 °C bewaard bij een hoge RV (90 – 95%). Hoe hoog het CO₂-gehalte hierbij in de bewaarcel mag oplopen zonder bij de bollen schade aan te richten, is echter niet bekend.

In de praktijk leeft de vraag sterk hoe hoog de CO₂-schadedrempel is en op veel bedrijven wordt de ventilatie gestuurd op basis van het gemeten CO₂-gehalte in de bewaarcel. Hierbij worden CO₂-setpoints (schadedrempels) genoemd uiteenlopend van 1000 ppm tot 6000 ppm.

Doelstelling van dit onderzoek is om voor plantgoed van enkele leliecultivars de CO₂-schadedrempel te bepalen. Op basis hiervan, en van de bepaalde ademhaling, wordt met o.a. het BewaarModel uit het project "Voorwaardelijke Ventilatie- en Circulativenormen" (<https://sites.wur.nl/sites/BewaarModel>) dan inzichtelijk gemaakt hoeveel ventilatie- en circulatie eigenlijk nodig is voor de afvoer van CO₂, H₂O en warmte.

2 Werkwijze

Plantgoed van de lelie cultivars White Heaven (longiflorum), Extravaganza (Oriëntal) en Original Love (LA) is van december 2014 tot april 2015 in 4 herhalingen bij 4 CO₂-niveaus bij WUR/FBR bewaard in een cel van 0 tot 1 °C in 16 geconditioneerde tanks, zie foto 1. Het vochtgehalte (RV% 90 – 95%) en het zuurstofgehalte (21%) werden hierbij constant gehouden. De gerealiseerde CO₂-niveaus waren 473, 2838, 6355 en 14490 ppm.

Voor en na de bewaring is de ademhaling gemeten. Eind april 2015 zijn de bollen naar Lisse gebracht, per behandeling geteld, gewogen en opgeplant.

In oktober 2015 zijn de bollen geoogst, verwerkt, gesorteerd naar bolmaat, geteld, gewogen en beoordeeld op kwaliteit. Data zijn geanalyseerd met IBM SPSS Statistics 22.

Een overzicht van de activiteiten mbt. het lelieplantgoed is gegeven in tabel 1.

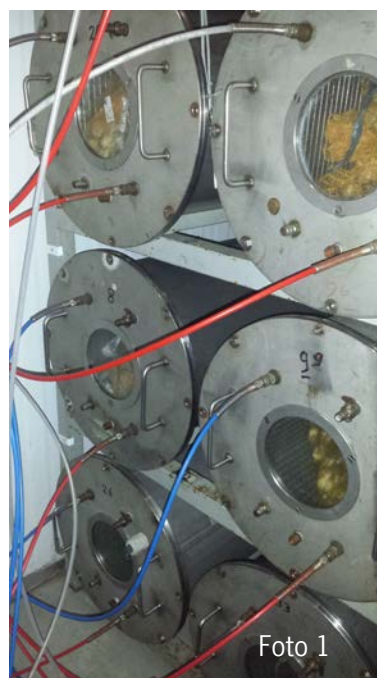


Foto 1

Tabel 1: Overzicht activiteiten mbt. plantgoed leliecultivars.

Cultivar	Longiflorum White Heaven	LA Original Love	Oriental Extravaganza
rooi bij teler	eind september 2014	half november 2014	begin december 2014
ontvangen bij PPO Lisse	27-nov-14	9-dec-14	9-dec-14
bepalen ademhaling (bij 9 en 0,5 °C)	dec 2014	dec 2014	dec 2014
bewaring in CO ₂ tanks FBR	dec 2014 - april 2015	dec 2014 - april 2015	dec 2014 - april 2015
bepalen ademhaling (bij 0,5 °C)	23-apr-15	23-apr-15	23-apr-15
opplanten PPO Lisse	21-apr-15	23-apr-15	23-apr-15
oogst	5-okt-15	6-okt-15	28-okt-15

3 Resultaten

3.1 Ademhaling

Na rooi bij de teler en binnenkomst bij PPO is in december 2014 per cultivar de ademhaling van de bollen bij 9°C bepaald en daarna bij 0,5 °C. De resultaten zijn samengevat in tabel 2, waarin per cultivar ook de gemiddelde waarden *na* de bewaring zijn vermeld. De ademhaling bij 9 °C net na oogst en verwerking is fors hoger dan bij 0,5 °C en aan het eind van de bewaring is de ademhaling bijna met de helft verder afgenomen.

Tabel 2: Gemiddelde ademhaling (ml CO₂/kg/uur) voor en na bewaring .

	december 2014		april 2015
	9 °C	0,5 °C	0,5 °C
Extravaganza	14,6	3,1	1,7
Original Love	9,9	2,7	1,3
White Heaven	-	2,2	1,4
gemiddeld	9,9	2,7	1,5

De resultaten van het bepalen van de ademhaling na de bewaring bij de verschillende CO₂-niveaus zijn samengevat in tabel 3. Statistische analyse gaf aan dat er bij 0,5 °C tussen cultivars noch tussen de verschillende CO₂-behandelingen een betrouwbaar verschil in ademhaling is. Dit wordt in de tabel aangegeven met een p-waarde voor het effect van de CO₂-niveaus, de cultivars en de interactie tussen deze twee factoren: CO₂ x cultivar. Deze interactie geeft aan of een effect van CO₂ -niveaus bij iedere cultivar verschillend is. Naar mate een p-waarde kleiner dan 0,05 is, is het effect van de factor statistisch betrouwbaarder. Waarden groter dan 0,05 (op een schaal van 0 tot 1) geven aan dat een factor geen effect heeft op de beschouwde parameter.

Tabel 3: Ademhaling (ml CO₂/kg/uur) aan het eind van de bewaarperiode bij 0,5 °C.

CO ₂ (ppm)	473	2838	6355	14490	gemiddeld
Extravaganza	1,3	1,1	1,8	2,6	1,7
Original Love	1,1	1,2	1,2	1,7	1,3
White Heaven	1,2	1,7	1,4	1,3	1,4
gemiddeld	1,2	1,4	1,4	1,9	1,5

Effecten door CO₂: p = 0,223, cultivars: p = 0,352 en CO₂ x cultivar p = 0,479

Bij eerdere bepalingen bij andere leliecultivars (Bewaring van lelieplantgoed, 2009), maar bij dezelfde temperatuur, was de ademhaling van dezelfde orde.

3.2 Oogst

Na de oogst en verwerking zijn per behandeling de bollen gesorteerd naar bolmaat, geteld, gewogen en beoordeeld op kwaliteit. Vervolgens is berekend hoeveel er per behandeling geoogst is t.o.v. hoeveel er geplant is, zowel in gewicht als in aantallen. Ook is het bolgewicht berekend en is het aantal dubbelneuzen geteld. De resultaten zijn samengevat in de tabellen 4 t/m 7.

Tabel 4: Gewichtspercentage geoogst (geoogst *minus* geplant) *gedeeld* door geplant.

CO ₂ (ppm)	473	2838	6355	14490	gemiddeld
Extravaganza	111%	116%	109%	98%	108%
Original Love	171%	159%	173%	198%	175%
White Heaven	173%	199%	191%	233%	199%
gemiddeld	151%	158%	158%	176%	161%

Effecten door CO₂: p = 0,165, cultivars: p = 0,000 en CO₂ x cultivar p = 0,174

Tabel 4 laat zien dat toenemende CO₂ concentraties op het gewichtspercentage geen enkel nadelig effect hebben, wel is er een betrouwbaar verschil tussen cultivars: Extravaganza heeft een lager geoogst gewichtspercentage dan de andere twee cultivars.

Het percentage geoogst in aantallen is samengevat in tabel 5. Hierop heeft een hoge CO₂ concentratie geen nadelig effect, maar is er wel een verschil tussen de cultivars: White Heaven heeft in aantallen het laagste percentage geoogste bollen. Ook op de aantallen per bolmaat (ziftmaat) heeft een hoge CO₂-concentratie geen nadelig effect, zie Bijlage 1.

Tabel 5: Aantal geoogst *gedeeld* door aantal geplant (in %).

CO ₂ (ppm)	473	2838	6355	14490	gemiddeld
Extravaganza	97%	95%	96%	92%	95%
Original Love	90%	88%	88%	93%	90%
White Heaven	68%	74%	73%	79%	73%
gemiddeld	85%	86%	86%	88%	86%

Effecten door CO₂: p = 0,666, cultivars: p = 0,000 en CO₂ x cultivar p = 0,319

Het gemiddelde bolgewicht per behandeling wordt evenmin door hoge CO₂ concentraties beïnvloed, maar er is weer wel een duidelijk verschil tussen cultivars, tabel 6.

Tabel 6: Gemiddeld bolgewicht (g/bol) na de oogst.

CO ₂ (ppm)	473	2838	6355	14490	gemiddeld
Extravaganza	41	41	41	43	41
Original Love	32	31	34	33	32
White Heaven	35	36	36	36	36
gemiddeld	36	36	37	37	36

Effecten door CO₂: p = 0,717, cultivars: p = 0,000 en CO₂ x cultivar p = 0,971

Tot slot is gekeken naar het aantal dubbelneuzen en ook daarop heeft een hoge CO₂ concentratie geen effect, maar is er wel een verschil tussen cultivars, tabel 7.

Tabel 7: Aandeel dubbelneuzen.

CO ₂ (ppm)	473	2838	6355	14490	gemiddeld
Extravaganza	0,3%	1,1%	0,6%	1,9%	1,0%
Original Love	0,8%	0,3%	0,0%	0,8%	0,5%
White Heaven	0,0%	1,6%	2,0%	1,8%	1,4%
gemiddeld	0,4%	1,0%	0,9%	1,5%	0,9%

Effecten door CO₂: p = 0,241, cultivars: p = 0,011 en CO₂ x cultivar p = 0,486

3.3 Consequenties

Plantgoed van de cultivars Extravaganza, Original Love en White Heaven dat tijdens de bewaring van half december tot eind april continue is bloot gesteld aan CO₂ concentraties tot bijna 15.000 ppm ondervond daarvan geen nadelige effecten. De eventuele CO₂-schadedrempel bevindt zich dus boven dat niveau. Lelieplantgoed wordt bewaard met een gemiddelde ventilatie van rond de 1 m³/uur per m³ bollen en een gemiddelde circulatie tussen de 50 en 300 m³/uur per m³ bollen. De ademhaling bij een bewaartemperatuur van 0,5 °C is rond de 1,5 ml CO₂/kg/uur aan het eind van de bewaarperiode, en bijna het dubbele aan het begin. Bij hogere bewaartemperaturen is de ademhaling hoger. Berekeningen met het BewaarModel laten zien dat onder deze omstandigheden het CO₂-gehalte in een goed geïsoleerde bewaarcel oploopt tot maximaal 1309 ppm. Ver onder de mogelijke schadedrempel van > 15.000 ppm. Ook wanneer de ademhaling fors hoger zou zijn, bv. 5 ml CO₂/kg/uur, blijft het CO₂-gehalte van de cellucht met 3430 ppm ruim onder de 15.000 ppm. Deze waarden worden 6-7 uur na het opstarten bereikt, zie figuur 1.

Het CO₂-gehalte van de lucht tussen de bollen in de kist verschilt bij een permanente circulatie van 50 m³/uur (gerealiseerd door gelijkstroom- of frequentiegeregelde ventilatoren) niet veel van het CO₂-gehalte van de cellucht: bij een ademhaling van 1,5 ml CO₂/kg/uur is dat gemiddeld over de kisten 1327 ppm (slechts 18 ppm hoger) en bij een ademhaling van 5 ml CO₂/kg/uur is dat gemiddeld 3490 ppm (60 ppm hoger).

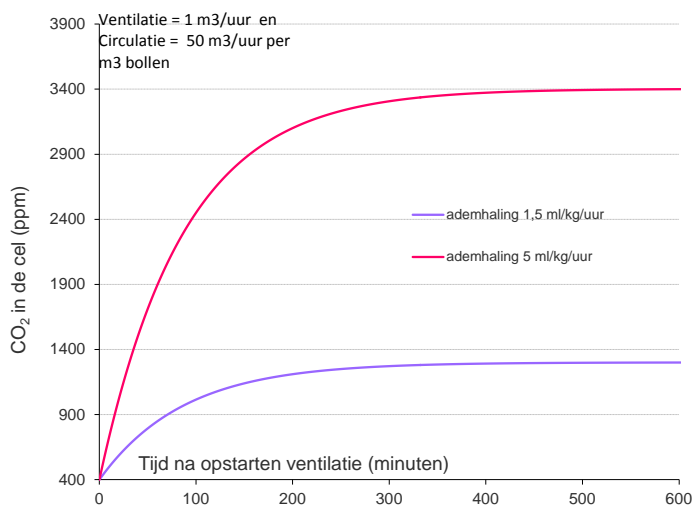
Niet elke kist in de kistenstapeling krijgt evenveel lucht. Een spreiding in circulatie van 40% rond het gemiddelde is gangbaar, waardoor in de minst beluchte kist het CO₂-gehalte dan 3530 ppm zou zijn (en bij een spreiding van 60% dan 3580 ppm). Dit zijn waarden zeer ver verwijderd van de schadedrempel van >15.000 ppm.

Wordt de circulatiehoeveelheid echter

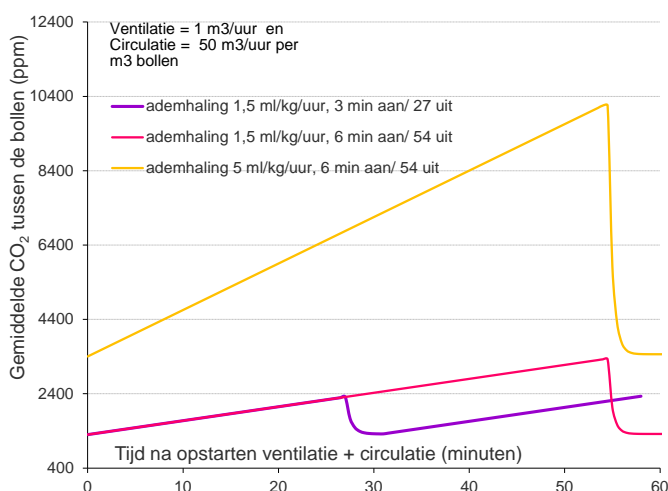
gerealiseerd door een aan/uit regeling dan kan tijdens de periode dat de ventilator uit staat het CO₂-gehalte tussen de bollen in de kist flink oplopen, figuur 2. Bij een aan/uit ritme van 3 minuten aan en 27 minuten uit loopt bij een ademhaling van 1,5 ml CO₂/kg/uur het CO₂-gehalte tijdens de 27 minuten dat de ventilator uit staat op tot 2400 ppm. Bij een aan/uit ritme van 6 om 54 minuten loopt het CO₂-gehalte dan tot 3330 ppm op. Is de ademhaling 5 ml CO₂/kg/uur dan loopt het CO₂-gehalte op tot 10.000 ppm. Dit is echter een

ongebruikelijk aan/uit ritme, meestal wordt binnen 30 minuten aan/uit geregeld.

Een CO₂-concentratie van > 15.000 ppm in de cel kan bij een ademhaling van 1,5 ml CO₂/kg/uur alleen ontstaan als er in plaats van met 1 m³ (= 1000 liter)/uur met 65 liter/uur per m³ bollen wordt geventileerd (of met 210 liter/uur bij een ademhaling van 5 ml CO₂/kg/uur). Tussen de bollen in de kist kan een CO₂-concentratie van > 15.000 ppm bij een ademhaling van 1,5 ml CO₂/kg/uur alleen ontstaan als de ventilator 6 uur uitstaat (en er geen diffusie naar buiten de kist plaats vindt).



Figuur 1: Toename CO₂ concentratie in de bewaarcel.



Figuur 2: Toename CO₂ concentratie in de kist

Tegelijk met CO₂ komt bij de ademhaling H₂O en warmte vrij. Daarnaast verliezen de bollen tijdens de bewaring gewicht door uitdroging. Uit eerder onderzoek is bekend dat dit maximaal 10% is, dus maximaal 60 liter per m³ bollen (dat is gemiddeld 16.6 ml/uur gedurende 5 maanden). Bij een ademhaling van 1,5 ml CO₂/kg/uur komt per m³ bollen echter slechts 0,7 ml H₂O vrij, en bij een ademhaling van 5 ml CO₂/kg/uur 2,4 ml. Het is dus niet door de ademhaling dat ontvochtigd moet worden om de RV onder 95% te houden. De warmte die vrijkomt bij een ademhaling van 1,5 ml CO₂/kg/uur is laag in vergelijking met de warmte die door verdamping van 16,6 ml water aan de bollen onttrokken wordt.

Het temperatuursverschil (ΔT) tussen de meest en de minst beluchte kist is de resultante van warmteproductie door de ademhaling en koude productie door verdamping van water. Zouden de bollen alleen maar verdampen en geen warmte produceren bij de ademhaling, dan zouden de bollen in de kist waar de minste lucht doorheen gaat het sterkst af koelen, omdat er minder koude wordt afgevoerd (minder warmte wordt aangevoerd).

Zouden de bollen niets verdampen, maar alleen ademen, dan gebeurt het omgekeerde: de warmte die bij de ademhaling vrijkomt wordt door circulatielucht afgevoerd. Hoe minder lucht er door de bollen gaat hoe minder warmte er wordt afgevoerd. De temperatuur van de bollen loopt dan op. Het temperatuursverschil met de circulatielucht wordt dan groter, waardoor de circulatielucht weer meer warmte kan afvoeren (warmteopname is evenredig met het temperatuursverschil). Na enige tijd is het temperatuursverschil zo groot dat er door de circulatielucht precies evenveel warmte wordt opgenomen en afgevoerd als er door de bollen geproduceerd wordt. Deze evenwichtssituatie wordt meestal binnen enkele dagen bereikt bij veel circuleren (> 200 m³/uur) en later bij weinig circuleren (bv. 50 m³/uur).

Met het BewaarModel zijn een aantal scenario's door gerekend om na te gaan wat er tussen de bollen in de kist gebeurt wanneer de ademhaling toeneemt. Hierbij is er vanuit gegaan dat ontvochtigd wordt waardoor de RV van de cellucht niet boven de 90% komt. De resultaten zijn samengevat in tabel 8. Bij een ademhaling van 1,5 ml CO₂/kg/uur en een verdamping (vochtverlies) van 16,6 ml/uur per m³ bollen en een gemiddelde circulatie van 50 m³/uur per m³ bollen en een spreiding hierin van 40% (de minst beluchte kist krijgt 30 m³/uur en de meest beluchte kist 70 m³/uur per m³ bollen) komt de RV tussen de bollen in de kist die het minst belucht wordt boven de 100%: d.w.z. dat er vocht condenseert. Deze hoge RV wordt niet door de ademhaling veroorzaakt, maar door het vochtverlies bij uitdroging. Om de RV tussen de bollen in de minst beluchte kist op of onder de 95% te houden zal dan met 115 m³/uur gecirculeerd moeten worden. Is de spreiding zelfs 60%, dan moet met 175 m³/uur gecirculeerd worden.

Bij deze lage ademhaling wordt door de verdamping meer warmte onttrokken dan er door de ademhaling wordt geproduceerd. Het temperatuursverschil tussen de minst en de meest beluchte kist is dan negatief (de minst beluchte kist is kouder dan de meest beluchte kist). Het temperatuurverschil is klein en wordt pas na \pm 8 dagen bereikt.

Loopt om een of andere reden de ademhaling op dan neemt de CO₂-concentratie in de cellucht toe. Tussen de bollen wordt het door de verhoogde ademhaling dan iets vochtiger *en* ook warmer. Om de RV weer op of onder de 95% te houden moet iets meer gecirculeerd te worden. Het maximale temperatuursverschil tussen de minst en de meest beluchte kist blijft bij een ademhaling onder de 4 ml CO₂/kg/uur negatief maar het verschil wordt steeds kleiner, omdat er meer warmte geproduceerd wordt. Bij een hogere ademhaling wordt het verschil positief en bij een ademhaling van 7 ml CO₂/kg/uur moet extra gecirculeerd worden om het temperatuursverschil niet groter dan 0,25 °C te laten worden.

Tabel 8: Ademhaling, resulterend CO₂-gehalte in de cel, en de benodigde circulatie om de RV van de minst beluchte kist < 95% te houden en het maximale temperatuursverschil tussen de minst en de meest beluchte kist onder de 0,25 °C, bij verschillend vochtverlies.

ademhaling CO ₂ /kg/uur	CO ₂ cel ppm	vochtverlies								
		16,6 ml/uur			8,3 ml/uur			4,1 ml/uur		
		Circulatie m ³ /uur	RV %	ΔT °C	Circulatie m ³ /uur	RV %	ΔT °C	Circulatie m ³ /uur	RV %	ΔT °C
1,5	1300	115	95	-0,15	60	95	-0,02	33	95	0,20
2	1612	115	95	-0,11	60	95	0,06	45	94	0,25
3	2218	120	95	-0,02	65	95	0,20	82	92	0,25
4	2824	125	95	0,06	90	94	0,25	120	92	0,25
5	3430	130	95	0,13	130	93	0,25	160	91	0,25
7	4642	140	94	0,25	205	92	0,25	240	91	0,25

Bij een lager vochtverlies (8,3 of bv. 4,1 ml/uur, zie tabel 8) kan, als de ademhaling laag is, met minder circulatie worden volstaan om de RV van de minst beluchte kist onder de 95% te houden. Maar als de ademhaling daarbij hoog is moet de circulatie juist hoger zijn om het maximale temperatuursverschil onder de 0,25 °C te houden.

Een hogere ventilatie, dus meer dan 1 m³/uur per m³ bollen, verlaagt de CO₂-concentratie in de cel, maar heeft geen effect op ademhaling, dus ook niet op warmteproductie van de bollen.

4 Conclusies en aanbevelingen

De resultaten van dit onderzoek laten zien dat:

- De ademhaling net voor het begin van de bewaarperiode bij 9 °C gemiddeld 9,9 ml CO₂/kg/uur is, en 2,7 ml CO₂/kg/uur bij 0,5 °C. Na de bewaarperiode is de gemiddelde ademhaling afgenomen tot 1,5 ml CO₂/kg/uur.
- Er geen verschil in ademhaling is tussen bollen die bewaard zijn bij de verschillende CO₂-concentraties.
- CO₂-concentraties tot 15.000 ppm tijdens de bewaring van lelieplantgoed hebben geen effect op de kwaliteit: veldopbrengsten van het plantgoed worden op geen enkele wijze nadelig beïnvloed door maandenlange bewaring onder deze hoge CO₂-concentraties.
- De eventuele CO₂-schadedrempel bevindt zich dus boven de 15.000 ppm.

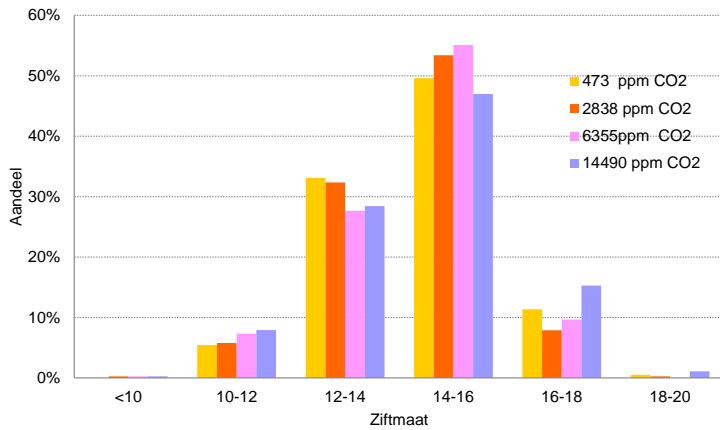
Doorrekening met het BewaarModel op basis van deze bevindingen laat zien dat:

- Bij een ademhaling van 1,5 ml CO₂/kg/uur en een gemiddelde celventilatie van 1 m³/uur per m³ bollen de CO₂-concentratie in de cellucht niet verder oploopt dan 1309 ppm.
- Bij een permanente circulatie van 50 m³/uur per m³ bollen loopt tussen de bollen de CO₂-concentratie in de palletkisten dan gemiddeld op naar 1327 ppm.
- Bij eenzelfde circulatiehoeveelheid gerealiseerd met een aan/uit ritme van b.v. 3 om 27 minuten loopt de CO₂-concentratie tussen de bollen op tot 2400 ppm.
- Bij een ademhaling van 5 ml CO₂/kg/uur loopt het CO₂-gehalte van de cellucht op tot maximaal 3430 ppm.
- Dit zijn allemaal waarden ver verwijderd van de schadedrempel van ergens > 15.000 ppm.
- Bij een ademhaling van 1,5 ml CO₂/kg/uur kan een CO₂-concentratie > 15.000 ppm in de cellucht alleen ontstaan als in plaats van gemiddeld met 1 m³ (=1000 liter)/uur met 60 liter/uur per m³ bollen geventileerd wordt.
- Tussen de bollen kan bij deze ademhaling (en celventilatie van 1 m³/uur) een CO₂-concentratie > 15.000 ppm alleen ontstaan als de circulatieventilator minstens 6 uur uit staat (en er geen diffusie naar buiten de kist plaats vindt).
- Een maximaal gewichtsverlies van ongeveer 10% tijdens de bewaring betekent een gemiddeld vochtverlies van ongeveer 16,6 ml/uur, terwijl bij een ademhaling van 1,5 ml CO₂/kg/uur slechts 0,7 ml water vrijkomt: het is dan niet door de ademhaling dat er ontvochtigd moet worden maar door verdamping van vocht uit de bol.
- Bij deze lage ademhaling wordt door de verdamping meer warmte onttrokken dan er door de ademhaling wordt geproduceerd, de minst beluchte kist is dan kouder dan de meest beluchte kist.
- Als de RV van de cellucht door ontvochtiging op 90% wordt gehouden en die tussen de bollen in de minst beluchte kist onder de 95%, dan is een circulatie nodig van 115 m³/uur (bij een spreiding hierin van 40%).
- Loopt de ademhaling iets op, dan moet er iets meer gecirculeerd worden om de RV tussen de bollen onder de 95% te houden, en wordt er meer warmte geproduceerd.
- Loopt de ademhaling nog verder op tot 4 of meer ml CO₂/kg/uur dan wordt er meer warmte door de ademhaling geproduceerd dan er door verdamping onttrokken wordt, de minst beluchte kist is dan warmer dan de meest beluchte kist.

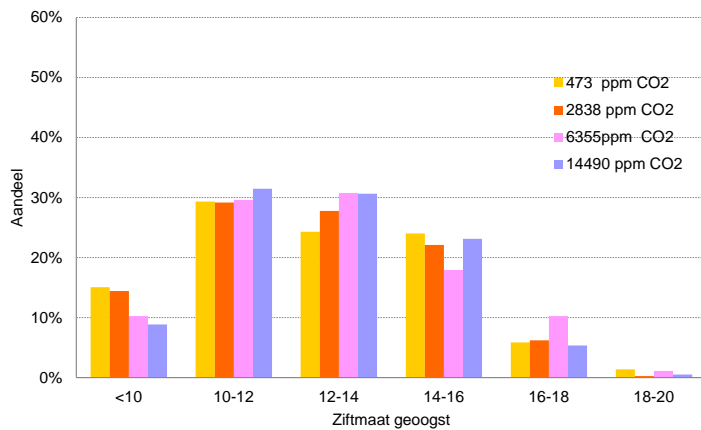
- Bij een lager vochtverlies kan met veel minder circulatie toe om de RV tussen de bollen onder de 95% te houden, maar als de ademhaling hoger wordt moet weer meer gecirculeerd worden om het temperatuursverschil tussen de minst en de meest beluchte kist onder de 0,25 °C te houden.

Het is gezien deze resultaten zinloos om de celventilatie te sturen op basis van een CO₂-setpoint tussen de 1000 en 6000 ppm. Dit kost energie en lost geen enkel probleem op. Belangrijker is het om de lucht zo gelijkmatig mogelijk over de kisten te verdelen, zodat de circulatie door frequentiegeregelde- of gelijkstroomventilatoren zo laag mogelijk ingesteld kan worden. De circulatie zou dan gestuurd moeten worden op basis van de verdamping van de bollen en het maximale temperatuursverschil tussen de kisten. Hier zou een efficiënt meetsysteem voor ontwikkeld moeten worden. Grenswaarden hierbij zijn dan bijvoorbeeld een RV tussen de bollen van maximaal 95% en een maximaal temperatuursverschil van 0,25 °C. Precieze waarden zullen afhangen van cultivars.

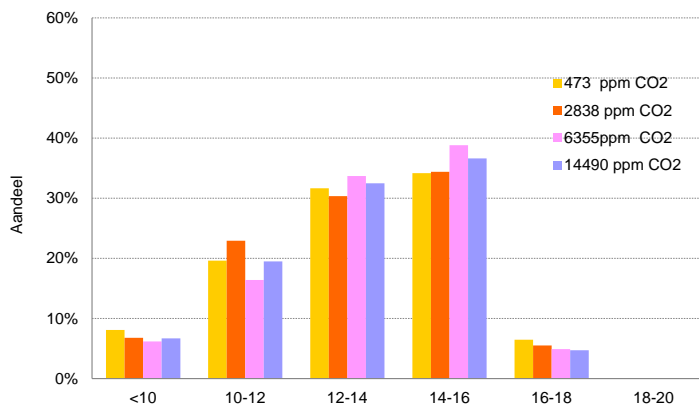
Bijlage 1: Verdeling geogste bollen over ziftmaten



Figuur 3: Geogste ziftmaten van Extravaganza.



Figuur 4 : Geogste ziftmaten van Original Love.



Figuur 5: Geogste ziftmaten van White Heaven.

