

Uitdrogingsnelheid en het effect van kleine temperatuursverschillen tijdens de bewaring

Aanvullingen op het BewaarModel bloembollen

Jeroen Wildschut en Marga Dijkema

© 2015 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: 37 361 779 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.....	8
3 RESULTATEN	9
3.1 Uitdrogingssnelheid	9
3.2 Temperatuursverschillen tijdens de bewaring	12
3.3 Consequenties voor het energieverbruik tijdens de bewaring.....	13
4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	19
BIJLAGE 1: GELOGDE TEMPERATUREN KLIMAATKASTEN	21

Samenvatting

Om te laten zien wat in een bewaarcel gebeurt, is door PPO Bloembollen in 2013 een rekenmodel ontwikkeld. Hiermee kan op basis van *omstandigheden* (het percentage zure bollen, de ademhaling, de uitdrogingsnelheid, en de temperatuur en RV van de buitenlucht) en van *instellingen* (de ventilatie- en de circulatiehoeveelheid, de spreiding hierin en de gewenste bewaartemperatuur) het klimaat in de bewaarcel op verschillende niveaus worden berekend: gemiddeld in de cellucht, gemiddeld tussen de bollen en gemiddeld in de meest en in de minst beluchte kuubskist. Dit *bewaarklimaat* wordt gekarakteriseerd door het ethyleengehalte, het CO₂-gehalte, de RV en de temperatuur. Het model rekent ook de bijbehorende energiekosten uit. Met dit BewaarModel kan de teler nagaan hoe onder uiteenlopende omstandigheden het optimale bewaarklimaat tegen de laagste energiekosten te realiseren is.

Doelstelling van dit project is om voor een aantal belangrijke bolgewassen (lelie, tulp, hyacint) gedetailleerdere kennis te genereren met betrekking tot de uitdroging en tot het maximaal toelaatbare temperatuursverschil tussen de bollen in de minst en die in de meest beluchte kuubskist.

Ter bepaling van de uitdrogingsnelheid zijn op 4 praktijkbedrijven en in klimaatkasten bij PPO in Lisse 8 verschillende tulpecultivars ruim 3 maanden bewaard en om de 2-3 weken gewogen. Ook van 9 cultivars van hyacint zijn op 3 bedrijven monsters genomen en in klimaatkasten bewaard. Het gewichtsverlies bij de bewaring van tulpenbollen (*na* de nadroogfase) bleek constant en kan oplopen tot 9,5 liter/week per m³ bollen. Bij hyacintenbollen was het gewichtsverlies tijdens de bewaring ook constant, en kan oplopen tot 5,3 liter/week.

Ter bepaling van het maximaal toelaatbare temperatuursverschil zijn 4 tulpecultivars en 2 leliecultivars vanaf week 1 in januari respectievelijk 40 dagen en 82 dagen in klimaatkasten bewaard bij ingestelde temperaturen van 0,5 °C, 1,5 °C, 2,5 °C en 3,5 °C. Vervolgens zijn de tulpenbollen beworteld, gebroeid en geoogst waarna plantgewicht, plantlengte en gemiddelde oogstdatum zijn bepaald. De leliebollen zijn beoordeeld op aantal uitgelopen spruiten.

De temperatuurbehandelingen van de tulpenbollen in de klimaatkasten leidden bij de oogst niet tot verschillen in plantgewicht, plant lengte en oogstdatum.

Voor de leliecultivar Nova Zembla kon geen betrouwbare toe- of afname van het percentage uitgelopen spruiten per graad temperatuursverschil in de range van 0,6 tot 3,5 °C worden afgeleid. Bij Original Love komt uit deze proef dat het percentage uitlopers per graad temperatuursverschil in die range tussen 0,4% en 3,5% ligt (gemiddeld 2%). Bij een temperatuursverschil van 0,1 °C tussen de minst en de meest beluchte kist is het verschil in percentage uitlopers dan slechts 0,2%.

Uit het doorrekenen van de consequenties van bovenstaande bevindingen met het BewaarModel volgt dat bij een hogere verdamping iets meer geventileerd moet worden om een te hoge RV tussen de bollen te voorkomen. Loopt daarnaast de buitentemperatuur op, dan is het laten oplopen van de celtemperatuur een energetisch duurdere oplossing dan het laten oplopen van de RV, maar beter voor de bolkwaliteit. Wanneer de verdamping hoger is loopt het maximale temperatuursverschil tussen de minst en de meest beluchte kist echter minder op. Er kan daardoor in voorkomende gevallen zonder verlies van productkwaliteit meer worden teruggetoerd en zo meer energie worden bespaard.

Bij de heetstook van hyacint is het verbeteren van de luchtverdeling over de kisten de beste optie.

Door bij zowel de warme als bij de koude bewaring een hoger maximaal temperatuursverschil tussen de minst en de meest beluchte kist toe te staan kan met minder toeren worden gecirculeerd en kan meer energie worden bespaard.

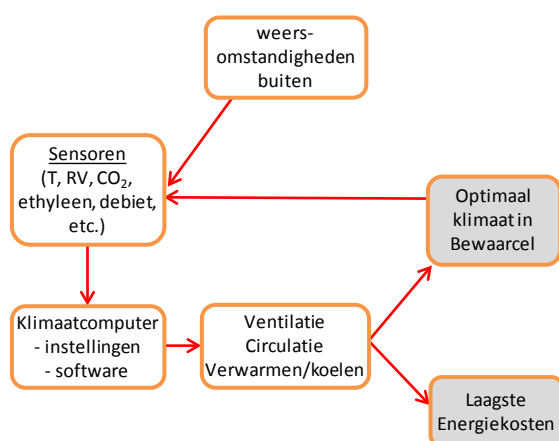
Gezien het bovenstaande is het aanbevolen om bij het doorrekenen van bewaarscenario's met het BewaarModel van de hogere verdamping uit te gaan. Hierdoor worden realistischer resultaten berekend. De bewaarproeven naar de effecten van de kleine temperatuursverschillen bij de bewaring zouden herhaald moeten worden. Als ook bij herhaling geen of nauwelijks effecten kleine temperatuursverschillen worden gevonden kan met grotere zekerheid en vertrouwen in behoud van productkwaliteit de circulatie teruggetoerd worden en zo meer op energie(kosten) worden bespaard.

1 Inleiding

Ventilatie en circulatie bij het bewaren van bloembollen hebben als functie om ethyleen (alleen bij tulpenbollen), CO₂, water(damp) en soms ook warmte af te voeren, zodat het bewaarklimaat optimaal is en hiermee de kwaliteit van de bollen maximaal. Voldoende circulatie is daarnaast van belang om eventuele verschillen in bewaarcondities tussen de kisten voor de systeemwand te minimaliseren.

Om te laten zien wat er nu precies in een bewaarcel gebeurt, is door PPO Bloembollen in 2013 een rekenmodel ontwikkeld waarmee op basis van omstandigheden en van instellingen het bewaarklimaat wordt berekend. Dit bewaarklimaat wordt gekarakteriseerd door het ethyleengehalte, het CO₂-gehalte, de RV en de temperatuur. Deze worden door het model berekend op verschillende niveaus: gemiddeld in de cellucht, gemiddeld tussen de bollen en gemiddeld in de meest en in de minst beluchte kuubkist.

De bewaaromstandigheden betreffen het percentage zure bollen, de ademhaling, de uitdrogingsnelheid, en de temperatuur en RV van de buitenlucht. De instellingen betreffen de ventilatie- en de circulatiehoeveelheid, de spreiding hierin en de bewaartemperatuur. Het model rekent ook de bijbehorende energiekosten uit.



Door eerst de omstandigheden te definiëren en vervolgens de instellingen te kiezen, kan de gebruiker zien in welk bewaarklimaat dit resulteert. Door dit resultaat met de schadedrempels te vergelijken kan worden besloten iets aan de instellingen te veranderen om een beter resultaat te krijgen. Op deze wijze kan een reeks scenario's worden doorgerekend waarbij gezocht kan worden naar het voor de productkwaliteit meest gunstige bewaarklimaat. Omdat het model ook de energiekosten uitrekent kan gezocht worden naar de goedkoopste instellingen om het voor de productkwaliteit meest gunstige bewaarklimaat te realiseren.

In het model dienen een aantal parameters ingevuld te worden die voor sommige gewassen of in sommige bewaarfasen feitelijk onbekend zijn:

- 1) De uitdrogingsnelheid van bloembollen verandert gedurende het bewaar seizoen. Niet na het sneldrogen, of wanneer de bollen tot rust zijn, of als de bollen bij een lagere temperatuur bewaard worden, is de uitdrogingsnelheid anders.
- 2) Het maximale toelaatbare temperatuurverschil tussen de meest en de minst beluchte kist is in het model bij de warme bewaring op 0,5 °C gesteld, dit op basis van "intuïtie" (van telers en gewasspecialisten PPO). Bij de koele bewaring wordt van een *nog* kleiner maximaal toelaatbaar temperatuurverschil uitgegaan (0,1 °C). Nader onderzoek kan uitwijzen wat het werkelijke verschil mag zijn, afhankelijk van gewas, bewaarfase en bewaartemperatuur.

Doelstelling van dit project is daarom om voor een aantal belangrijke bolgewassen (lelie, tulp, hyacint) in relevante bewaarfasen gedetailleerdere kennis met betrekking tot uitdroging en maximaal toelaatbaar temperatuurverschil tussen de bollen in de minst en die in de meest beluchte kuubkist te genereren. Het resultaat is dat in het bewaar model realistischer waarden kunnen worden ingevuld, zodat een beter beeld wordt verkregen van het optimale bewaarklimaat en de energiekosten om dit klimaat te realiseren. Naar verwachting wordt dan steeds meer alleen op de voor productkwaliteit relevante momenten meer (of minder) geventileerd, gecirculeerd, verwarmd en/of gekoeld. Overbodige energiekosten worden hiermee voorkomen en productkwaliteit wordt verbeterd. Op sectorniveau zal dit op termijn tientallen procenten energiebesparing kunnen betekenen.

2 Werkwijze

Op 4 bedrijven zijn enkele dagen tot maximaal 2 weken na het roeien monsters genomen (3 tot 4 gaaszakken van \pm 30 bollen per cultivar) van in totaal van 8 verschillende tulpencultivars. Een deel van de monsters is gewogen op het bedrijf en daarna in de bovenste kuubskist in de bewaarcel geplaatst en aan het eind van de (warme) bewaarperiode opnieuw gewogen. Een ander deel is naar PPO in Lisse gebracht en daar in klimaatkasten bij een relatief hoge ventilatie bewaard en om de 2 – 3 weken gewogen.

Ook van in totaal 9 verschillende cultivars van Hyacint zijn op 3 bedrijven monsters genomen, naar PPO in Lisse gebracht en daar in klimaatkasten bij een relatief hoge ventilatie bewaard en om de 2 – 3 weken gewogen. De bollen werden bewaard volgens het heetstookregime. De resultaten zijn vergeleken met data van eerder onderzoek, waarbij de monsters op bollenbedrijven werden bewaard.

Van 4 belangrijke tulpencultivars en 2 leliecultivars zijn monsters vanaf week 1 in januari in verschillende klimaatkasten bewaard die waren ingesteld op respectievelijk 0,5 °C, 1,5 °C, 2,5 °C en 3,5 °C. De tulpen werden hierin bewaard tot en met week 8, de leliebollen tot en met week 14. Gedurende deze periodes is de bewaartemperatuur in de klimaatkasten elke 5 minuten gelogd, zie Bijlage 1.

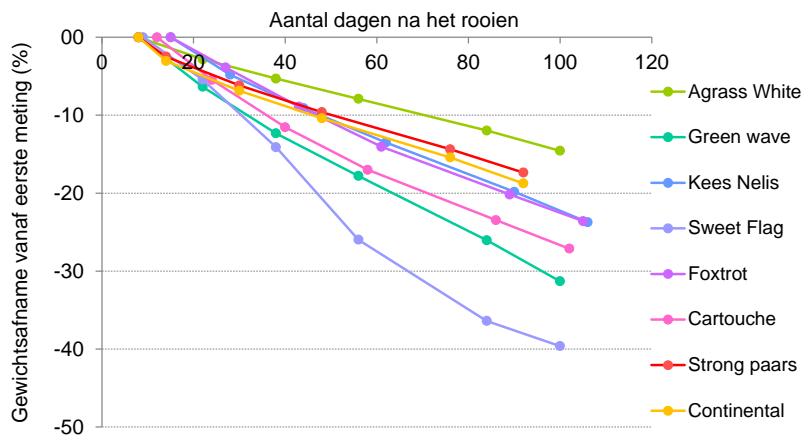
De tulpen werden vervolgens 2 weken in de bewortelingscel gezet en daarna in de kas gebroeid. Bij de oogst zijn de gemiddelde oogstdatum, plantlengte en het plantgewicht bepaald. De leliebollen werden na de bewaarperiode beoordeeld op uitlopers.

De consequenties van de bevindingen voor het bewaarklimaat en het energieverbruik zijn vervolgens in een aantal scenarioreeksen met het Bewaarmodel doorgerekend.

3 Resultaten

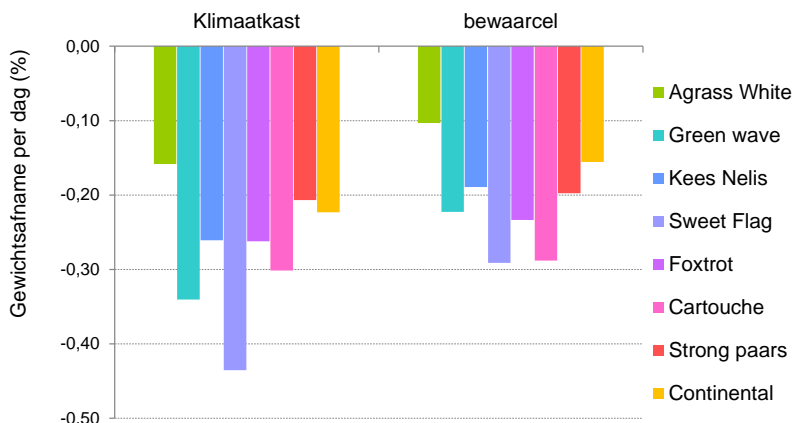
3.1 Uitdrogingsnelheid

Direct na het rooien worden tulpenbollen rond de 24 uur (minimaal 12 en maximaal 48 uur) voor de droogwand met gemiddeld ongeveer 2000 m³ opgewarmde buitenlucht/uur per m³ bollen gedroogd. Tijdens dit zg. **sneldrogen** wordt, afhankelijk van of bollen gespoeld zijn of niet, tot wel 75 liter aanhangend water per m³ bollen afgevoerd (verdampt). Vervolgens gaan de bollen de bewaarcel in waar het **nadrogen** begint. Deze fase duurt 1 à 2 weken en is een overgangsfase naar de fase waarin de bollen tot “rust” zijn gekomen en waarin de afvoer van water sterk verminderd is, maar wel zoals blijkt (zie figuur 1) constant: het **uitdrogen**.



Figuur 1: Uitdroging tulpenbollen in de klimaatkast

De bollenmonsters zijn allen genomen ná het sneldrogen en tijdens of aan het eind van het nadrogen. De bollen zijn vervolgens in klimaatkasten bij 20 °C en maximale ventilatie en vochtdeficit tot ruim 100 dagen bewaard en in die periode 5 – 6 maal gewogen. De gewichtsafname is constant, zie de rechte lijnen in figuur 1, met uitzondering van de lijn voor Sweet Flag. Dit monster bevatte veel zure bollen. Vergeleken met de monsters die op het bedrijf in de bewaarcel zijn bewaard is de gemiddelde gewichtsafname in procenten per dag in de klimaatkasten duidelijk hoger, figuur 2. Dit geldt voor alle bewaarde cultivars.



Figuur 2: Uitdroging tulpenbollen in bewaarcellen en in klimaatkasten

Een m3 tulpenbollen weegt gemiddeld na snel- en nadrogen \pm 540 kg. Tijdens de bewaring treedt na het nadrogen een gewichtsverlies op van 0,10% tot 0,34% per dag, gemiddeld 0.20% tot 0.25% (de 0,44% bij het monster van Sweet Flag niet meegerekend), tabel 1. Omgerekend naar liters water zou dit neerkomen op 3,9 tot 12,9 liter per week per m3 bollen. Dat is gemiddeld 9.5 liter bij maximale verdamping in de klimaatkast, en 7,5 liter in de bewaarcel. Een deel van de gewichtsafname wordt echter ook veroorzaakt door het verademen van droge stof. Wanneer bollen tot rust zijn komt bij 20 °C ongeveer 10 ml CO₂/uur per kg bollen vrij. Uit de netto ademhalingsformule $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6 H_2O$ kan worden berekend dat dan 13,5 mg suiker/uur per kg bollen verademd is. Per week per m3 bollen is dat 1,36 kg, zodat gemiddeld 14% tot 18% van het gewichtsverlies op rekening van het verademen van de droge stof komt.

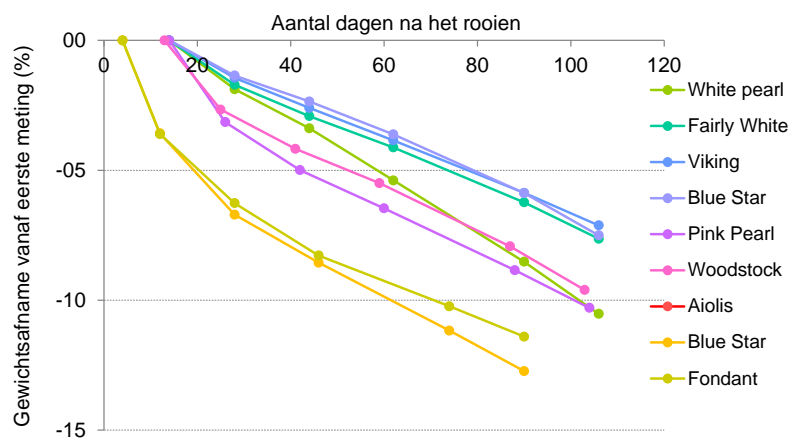
Tabel 1: Gewichtsverlies tulp in % per dag en in kg per m3 per week

	Klimaatkast		Bewaarcel	
	% per dag		kg per m3 per week	
Agrass White	0,16%	0,10%	6,0	3,9
Green wave	0,34%	0,22%	12,9	8,4
Kees Nelis	0,26%	0,19%	9,9	7,1
Sweet Flag*	0,44%	0,29%	16,5	11,0
Foxtrot	0,26%	0,23%	9,9	8,8
Cartouche	0,30%	0,29%	11,4	10,9
Strong paars	0,21%	0,20%	7,8	7,5
Continental	0,22%	0,16%	8,4	5,9
gemiddeld*	0,25%	0,20%	9,5	7,5

*veel zure bollen, daarom bij het gemiddelde niet meegerekend

De bollenmonsters van 9 hyacintencultivars van 3 bedrijven zijn 14 dagen na het rooien genomen, op Blue star en Fondant na, deze werden 4 dagen na het rooien winddroog uit de droogwand gehaald. De bollen zijn in de klimaatkasten eerst bewaard op 25 °C, en daarna volgens het heetstookschema (4 weken 30 °C, 2 weken 38 °C, 2 dagen 44 °C en weer op 25 °C).

De monsters zijn tijdens de bewaarperiode 6 maal gewogen. De cultivars White Pearl, Fairly White, Viking en Blue Star laten een vrijwel rechte lijn zien, figuur 3, hetgeen betekent dat de gewichtsafname constant is. Blue Star en Fondant drogen nog na waardoor het gewichtsverlies in het begin van de bewaring duidelijk forser is dan vanaf dag 20 – 25 na het rooien, wanneer de bollen tot rust zijn gekomen en de gewichtsafname constant is.

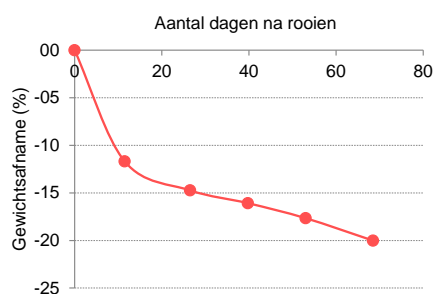


Figuur 3: Uitdroging hyacintenbollen in de klimaatkast

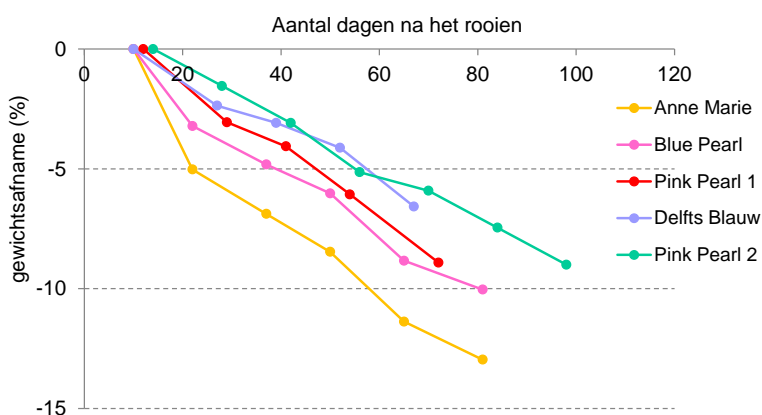
Eerder onderzoek waarbij de bewaring op bedrijven plaats vond en de monsters in die periode 6 tot 8 keer gewogen zijn, waarvan de eerste keer direct na het rooien, liet zien dat vooral de eerste 10 tot 14 dagen het gewichtsverlies fors is (tot ± 13%), figuur 4. Na die 10 tot 14 dagen is de gewichtsafname constant.

Om de gewichtsafname in de klimaatskast te kunnen vergelijken met de gewichtsafname op bedrijven is in dit geval daarom alleen gekeken naar de periode ná het nadrogen.

De gewichtsafname van enkele cultivars bewaard op bedrijven in de bewaarcel is weergegeven in figuur 5. Vergelijken met de lijnen in figuur 3 is de afname in dezelfde orde van grootte: na 80 tot 100 dagen na het rooien rond de 10%.



Figuur 4: Gemiddeld gewichtsverlies hyacintenbollen direct vanaf de oogst



Figuur 5: gewichtsafname hyacintenbollen bij bewaring op bedrijf

In tabel 2 zijn de gewichtsverliezen omgerekend naar gemiddeld gewichtsverlies in procenten per dag en in kg per m3 per week in de periode vanaf dag 10 -14 na het rooien.

Tabel 2: Gewichtsverlies hyacint in % per dag en in kg per m3 per week

	Klimaatkast		Bewaarcel		Klimaatkast		Bewaarcel	
	% per dag		kg per m3 per week		kg per m3 per week		kg per m3 per week	
White pearl	0,11%		Anne Marie	0,18%	White pearl	4,3	Anne Marie	6,9
Fairly White	0,08%		Blue Pearl	0,14%	Fairly White	3,1	Blue Pearl	5,3
Viking	0,08%		Pink Pearl 1	0,15%	Viking	2,9	Pink Pearl 1	5,6
Blue Star	0,08%		Delfts Blauw	0,12%	Blue Star	3,1	Delfts Blauw	4,4
Pink Pearl	0,11%		Pink Pearl 2	0,11%	Pink Pearl	4,3	Pink Pearl 2	4,0
Woodstock	0,11%				Woodstock	4,0		
Aiolis	0,15%				Aiolis	5,6		
Blue Star	0,15%				Blue Star	5,6		
Fondant	0,13%				Fondant	5,0		
gemiddeld	0,11%			0,14%		4,2		5,3

Anders dan bij tulp is het gewichtsverlies bij bewaring in klimaatkasten bij maximale ventilatie en vochtdeficit bij hyacinten niet groter dan bij bewaring in bewaarcellen. En zowel bij bewaring in klimaatkasten als bij bewaring in bewaarcellen is het gewichtsverlies na het nadrogen bij tulp groter dan bij hyacint.

3.2 Temperatuursverschillen tijdens de bewaring

In tabel 3 is het bewaarschema van de tulpenbollen samengevat. Van 8 januari tot 17 februari (40 dagen) zijn de bollen onder verschillende temperaturen bewaard. De klimaatkasten waren ingesteld op 0,5 °C, op 1,5 °C, 2,5 °C en 3,5 °C. De temperatuur werd gedurende deze periode elke 5 minuten gelogd en de gemiddelden gaven aan dat de werkelijke temperatuur slechts 0,1 – 0,2 °C hoger lag, zie ook Bijlage 1.

Tabel 3: Overzicht temperatuurbehandelingen tulp

*Cultivars tulp: LVM = Leen vd Mark, rest = Dynasty, Debutante en Royal Virgin

		periode		T-ingesteld	T-gelogd**
		van	tot		
LVM*	bewaarcel	28-okt	11-nov	17 °C	-
	klimaatkast	11-nov	1-dec	5 °C	-
	bewaarcel	1-dec	8-jan	2 °C	-
rest*	bewaarcel	28-okt	1-dec	17 °C	-
	bewaarcel	1-dec	8-jan	2 °C	-
Alle*	klimaatkast 1	8-jan	17-feb	0,5 °C	0,67 °C
	klimaatkast 2	id.	id.	1,5 °C	1,59 °C
	klimaatkast 3	id.	id.	2,5 °C	2,66 °C
	klimaatkast 4	id.	id.	3,5 °C	3,63 °C
	bewortelingscel	17-feb	2-mrt	7 °C	-
	kas	2-mrt	21-mrt	16 °C	-

** Temperatuur is elke 5 minuten gelogd gedurende de gehele periode

Na de temperatuurbehandelingen in de klimaatkasten werden de bollen beworteld in een cel van 7 °C en daarna ingehaald in een kas van 16 °C. Bij de oogst werden plantgewicht, plant lengte en oogstdatum bepaald. Resultaten zijn samengevat in tabel 4. Analyse van de gegevens geeft aan dat de verschillen te klein zijn om enige (statistische) betekenis te hebben.

Tabel 4: Resultaten van bewaring bij kleine temperatuursverschillen.

parameter		Temperatuurbehandeling				Std Error
		0,5 °C	1,5 °C	2,5 °C	3,5 °C	
Plantlengte	cm	42,6	42,6	42,2	43,0	1,1
Plantgewicht	g	31,4	31,5	30,4	31,3	2,2
Oogstdatum	dgn	16,5	16,6	16,5	16,3	0,3

Het bewaarschema van de leliebollen (2 cultivars: Nova Zembla, een oriental, en Original Love, een LA-hybride) is samengevat in tabel 5.

Tabel 5: Overzicht temperatuurbehandelingen lelie

Cultivars lelie: Original Love en Nova Zembla

		periode		T-ingesteld	T-gelogd*
		van	tot		
bewaarcel		9-dec	8-jan	2 °C	-
klimaatkast 1		8-jan	31-mrt	0,5 °C	0,65 °C
klimaatkast 2		id.	id.	1,5 °C	1,46 °C
klimaatkast 3		id.	id.	2,5 °C	2,51 °C
klimaatkast 4		id.	id.	3,5 °C	3,61 °C

* Temperatuur is elke 5 minuten gelogd gedurende de gehele periode

Het lelieplantgoed werd langer bewaard dan de bloeibollen van tulp, nl. tot 31 maart (82 dagen). Op die dag werd door middel van tellingen voor de beide cultivars bepaald hoeveel spruiten uitgelopen waren en werd visueel de uitdroging van het monster gekwalificeerd. De resultaten zijn samengevat in tabel 6.

Tabel 6: Resultaten bewaring leliebollen in klimaatkasten

	Bewaarklimaat kasten				p-waarde
	0,65	1,46	2,51	3,61	
Temperatuur °C	0,65	1,46	2,51	3,61	
RV%	81%	86%	78%	76%	
Cultivars					
•Nova Zembla					
uitgelopen spruiten	43%	35%	61%	52%	0,371
uitdrooggetal*	3	4	4	6	
•Original Love					
uitgelopen spruiten	38%	37%	36%	32%	0,034
uitdrooggetal*	2	2	3	3	

* visuele beoordeling op schaal 0 (geen uitdroging) tot 10 (veel uitdroging).

Het aantal uitgelopen spruiten (op 100 bollen) na de bijna 3 maanden bewaring was voor Nova Zembla hoger dan bij Original Love. Het aantal uitgelopen spruiten is hoger bij de hogere temperaturen, maar er is geen sprake van een duidelijk lineair verband (te grote spreiding: p-waarde van de lineaire schatting is 0,371). Ook is er meer uitdroging bij hogere temperaturen.

Het aantal uitgelopen spruiten bij Original Love is fors lager dan bij Nova Zembla en er is ook minder uitdroging. Het verschil tussen de temperatuursbehandelingen in percentage uitlopers is klein, gemiddeld 2% per graad volgens de lineaire schatting (weinig spreiding, nl tussen 0,4% en 3,5% en de p-waarde is 0,034).

Voor de cultivar Nova Zembla kon uit deze proef dus geen betrouwbare toe- of afname van het percentage uitgelopen spruiten per graad temperatuursverschil in de range van 0,6 tot 3,5 °C worden afgeleid. Bij Original Love komt uit deze proef dat het percentage uitlopers per graad temperatuursverschil in die range tussen 0,4% en 3,5% ligt (gemiddeld 2%). Bij een temperatuursverschil van 0,1 °C tussen de minst en de meest beluchte kist is het verschil in percentage uitlopers dan slechts 0,2%.

3.3 Consequenties voor het energieverbruik tijdens de bewaring

Met het in de inleiding genoemde demonstratiemodel voor de bewaring van bloembollen (zie voor rapportage, handleiding en toepassing: <https://sites.wur.nl/sites/BewaarModel>) zijn een aantal scenario's nagerekend waarbij de consequenties van sterkere verdamping bij het na-drogen en bij de bewaring zijn nagegaan. Daartoe is bij elk scenario ook steeds nagegaan of de maximaal mogelijke verdamping per m3 bollen (de droogkracht van de ventilatie: Vochtdeficit van de cellucht (ml/m3) x de ventilatiehoeveelheid (m3/uur per m3 bollen)) groter is dan de als omstandigheid ingevoerde verdamping. Als startscenario is, zoals in het rapport "Voorwaardelijke Ventilatie- en Circulatiënormen, een demonstratiemodel", PPO 2013, uitgegaan van een grote bewaarcel, waarin in kisten van 1200 liter 5 rijen x 6 hoog x 10 diep 324 m3 tulpenbollen worden bewaard, waarvan 5% zuur is. Er wordt dan volgens de (inmiddels oude ?) normen geventileerd en gecirculeerd: respectievelijk 100 m3/uur en 500 m3/uur per m3 bollen, zie scenario 1 in tabel 7. In dit scenario is de verdamping ingesteld op 1,2 liter/week per m3 bollen.

Het 2^{de} scenario is dat waarbij slechts 1% van de bollen zuur is. Om een dan net zo gunstig bewaarklimaat als bij scenario 1 te realiseren kan de ventilatie verminderd worden tot 28 m3/uur en de circulatie zonder probleem tot 165 m3/uur per m3 bollen. Het energieverbruik en daarmee de kosten, uitgedrukt in euro per cel per dag daalt dan fors van afgerond €72,- naar €12,-.

Wanneer nu de verdamping veel hoger is, nl. de 9,5 liter/week per m3 bollen uit tabel 1 (de 14% gewichtsverlies door verademing daargelaten) wordt scenario 3 gerealiseerd: Het vochtgehalte tussen de bollen loopt op tot 78%. Om dat terug te brengen naar 75% zou de buitenlucht eerst ontvochtigd moeten worden wat tot fors hogere kosten zou leiden. Iets meer ventileren, nl. 36 m3/uur ipv. 28, voorkomt dat: scenario 4. Wordt er nog meer verdampt (de eerste dagen van het na-drogen), bijvoorbeeld 15 liter/week dan loopt de RV op naar 81% tussen de bollen, scenario 5. Fors meer ventileren, scenario 6: 63 ipv. 36 m3/uur voorkomt ontvochtigen, maar de kosten zijn inmiddels €29,-.

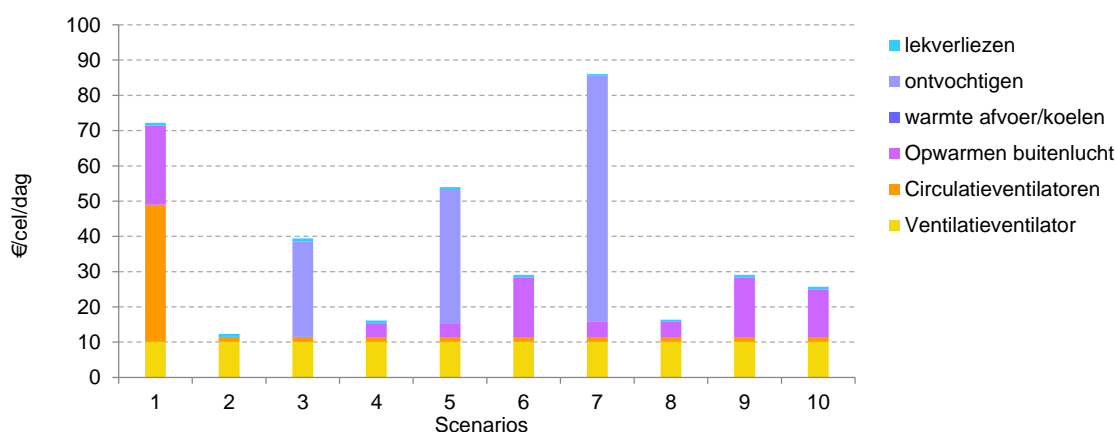
Tabel 7: Scenario's waarbij bij een laag percentage zuur (1%) de verdamping oploopt tot 9,5 liter/week/m3 (bewaren) en tot 15 liter/week/m3 (nadrogen)

Eenheid	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% zure bollen in de cel	%	5%	1%*	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
buitentemperatuur	°C	15	15	15	15	15	15	17	17	17
buiten RV	%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%
uitdroging	%/dag	0,03%	0,03%	0,23%	0,23%	0,36%	0,36%	0,36%	0,36%	0,36%
	l/wk/m3	1,2	1,2	9,5	9,5	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
droogkracht ventilatie	l/wk/m3	106	28	20	28	23	52	52	37	60
ventilatie	m ³ /uur	100	28	28	36	36	63	63	63	56
circulatie	m ³ /uur	500	165	165	165	165	165	165	165	165
celtemperatuur	°C	20	20	20	20	20	20	20	22	22
RV% gewenst	%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	vrij	75%	75%
RV tussen bollen	%	64%	66%	78%	75%	81%	75%	83%	83%	74%
RV minst beluchte kist	%	64%	66%	79%	76%	84%	77%	85%	85%	76%
RV cellucht	%	64%	66%	76%	73%	78%	72%	80%	80%	71%
ΔT meest en minst beluchte kist	°C	0,16	0,50	-0,06	-0,06	-0,44	-0,44	-0,44	-0,44	-0,44
Ventilatieventilator	€/dag	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
Circulatieventilatoren	€/dag	38,9	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Opwarmen buitenlucht	€/dag	22,5	0,0	0,0	3,9	3,9	16,8	4,4	4,4	16,8
warmte afvoer/koelen	€/dag	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ontvochtigen	€/dag	0,0	0,0	27,1	0,0	37,8	0,0	69,7	0,0	0,0
lekverliezen	€/dag	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,5	0,5	0,8
totaal	€/dag	72,2	12,3	39,4	16,2	54,0	29,1	86,1	16,4	29,1

* in rood wat aan omstandigheid of instelling t.o.v. voorgaand scenario verandert

Loopt nu de buitentemperatuur op naar 17 °C, scenario 7, dan wordt de RV tussen de bollen weer hoger, nl. 83%. Op volle capaciteit ventileren (100 m3/uur) en circuleren (500 m3/uur) brengt de RV niet onder de 75%. Hiervoor zou geventileerd moeten worden met 210 m3/uur en gecirculeerd met 450 m3/uur. De goedkoopste optie is om de RV tijdelijk "vrij" te laten, scenario 8. De temperatuur laten oplopen, scenario 9, is iets duurder, maar beter voor de bollen. De ventilatie kan dan nog iets terug, scenario 10.

De kosten van het energieverbruik zijn in tabel 7 vermeld en gevisualiseerd in figuur 6. De hogere verdamping leidt dus tot hogere bewaarkosten.



Figuur 6: Energiekosten scenarioreeks

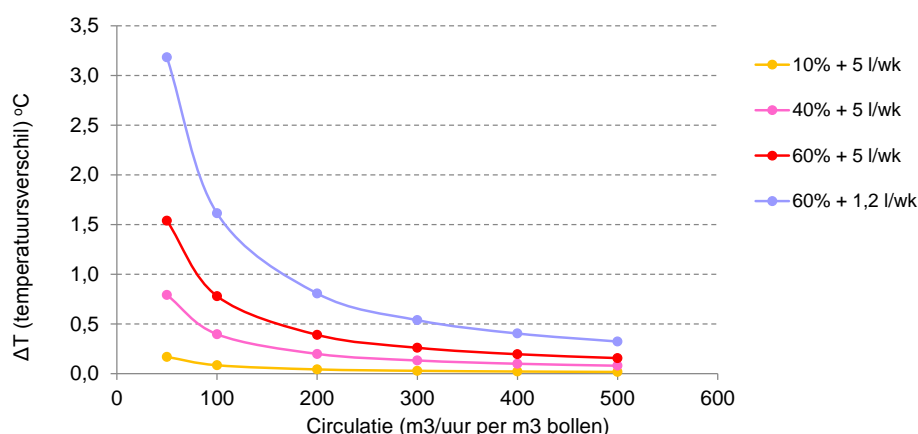
De scenario's waarin de RV tussen de bollen onder de 75% blijft worden automatisch via de klimaatcomputer gerealiseerd wanneer RV-voelers tussen de bollen zijn geplaatst en de klimaatcomputer hierop is ingesteld.

Een vergelijking tussen scenario 2 en scenario 3 in tabel 7 laat ook zien dat, in dit geval, door de hogere verdamping het temperatuursverschil tussen de minst en de meest beluchte kist afneemt. Achtergrond hierbij is het volgende:

Bij de ademhaling komt warmte vrij en deze 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. De temperatuur van de bollen in de kist waar de meeste lucht doorheen gaat is in de evenwichtssituatie daarom dan lager dan die in de kist waar de minste lucht doorheen gaat.

Het verdampen van water uit de bollen kost energie. Zouden de bollen alleen maar verdampen en geen warmte produceren bij de ademhaling, dan zou juist het omgekeerde gebeuren: de bollen in de kist waar de minste lucht doorheen gaat koelen het sterkst af, omdat er minder koude wordt afgevoerd (minder warmte wordt aangevoerd).

Het temperatuursverschil (ΔT) tussen de meest en de minst beluchte kist is dus de resultante van warmteproductie door de ademhaling en koude productie door verdamping van water. Met het BewaarModel is voor de bewaring bij 20 °C deze ΔT doorgererekend voor verschillende circulatiedebieten en bij een verschillende spreiding hierin: Bij een spreiding van 10% (dan gaat er factor 1,2 keer zoveel lucht door de meest beluchte kist als door de minst beluchte kist), bij een spreiding van 40% (factor 2,3) en bij een spreiding van 60% (factor 4 keer zoveel), zie figuur 7.

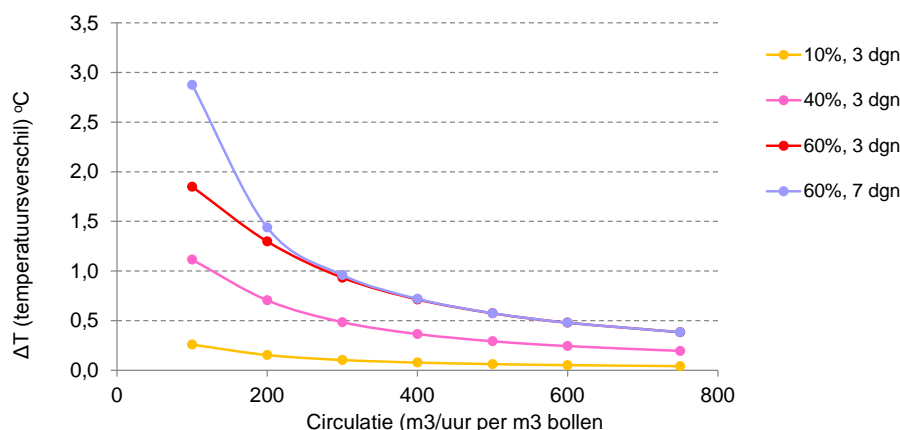


Figuur 7: ΔT minst en meest beluchte kist afhankelijk van circulatie, spreiding daarin rond het gemiddelde (%) en de verdamping.

De figuur laat zien dat ΔT bij een verdamping van 5 liter/week en een spreiding van 10% zelfs bij een circulatie van slechts 50 m³/uur onder de 0,25 °C blijft. Bij een spreiding van 40% blijft ΔT bij een circulatie van 100 m³/uur onder de 0,5 °C. Bij een spreiding van 60% blijft ΔT dan onder de 1 °C, maar als er weinig verdamping is (1,2 liter/week) komt ΔT boven de 1,5 °C.

Bij de heetstook van hyacint (3 dagen 44 °C) is een zo klein mogelijk temperatuurverschil tussen de minst en de meest beluchte kist van veel meer belang. Bij een verdamping van 4 liter/week is dit met het BewaarModel doorgererekend bij een spreiding van 10%, 40% en 60%, figuur 8. Bij het startpunt van de berekening hebben zowel de bollen als de circulatielucht een temperatuur van 44 °C. Bij een spreiding van

10% en van 40% ontstaat binnen 3 dagen een maximum ΔT van resp. 0,3 en 1,5 °C bij een circulatie van 200 m³/uur. Bij een spreiding van 60% is ΔT dan 1,3 °C en pas na 7 dagen wordt het maximum bereikt. De beste optie voor bij de heetstook is dus om de spreiding tot het minimum te beperken, dus te zorgen voor een zo gelijk mogelijke luchtverdeling, en dan met ongeveer 400 m³/uur te circuleren.



Figuur 8: ΔT minst en meest beluchte kist tijdens de heetstook (44 °C) afhankelijk van circulatie en spreiding daarin (%), bij een verdamping van 4 l/wk.

Met de bewaarproeven in de klimaatkasten kon voor tulp niet aangetoond worden dat een ΔT van meer dan 0,5 °C bij de koude bewaring van broeibollen een negatief effect heeft op de kwaliteit van de tulpen of op het oogsttijdstip. Bij de warme bewaring valt dit ook niet te verwachten.

Met een hogere verdamping (9,5 liter/week) is een scenarioreeks doorgerekend waarbij de ademhaling toeneemt en waarbij niet 0,5 °C, maar 1,0 °C als maximale ΔT wordt toegelaten. Startscenario hierbij is scenario 4 uit tabel 7. In dit startscenario is ΔT minimaal: 0,06 °C. De resultaten zijn samengevat in tabel 8. Wanneer de ademhaling naar 20 ml/kg/uur toeneemt wordt meer warmte geproduceerd en wordt het temperatuurverschil tussen de minst en de meest beluchte kist groter (0,51 °C). Dit is geen probleem, maar er ontstaat in de cel een warmteoverschot dat bij actief koelen geld gaat kosten. “

Tabel 8: Scenarioreeks waarbij bij een hoge verdamping tijdens het bewaren de ademhaling oploopt

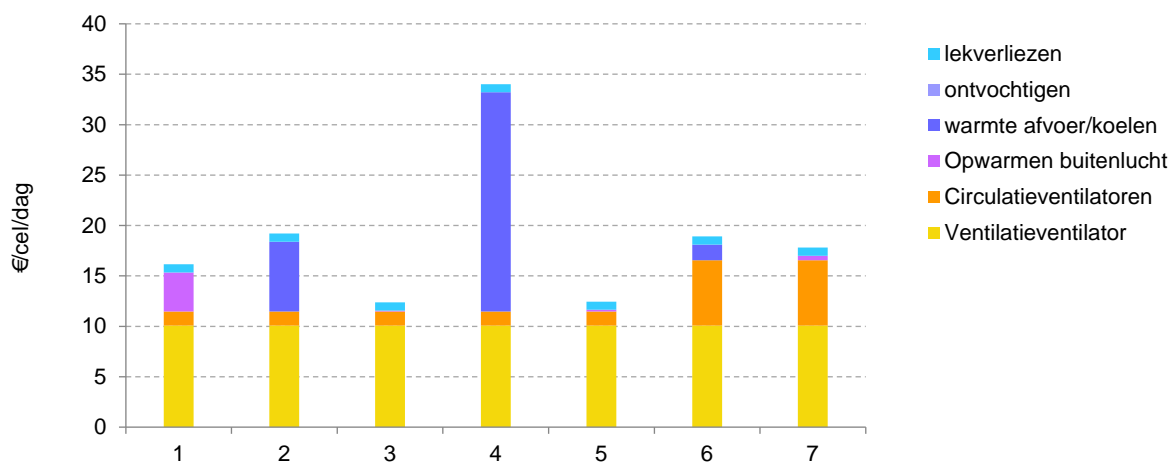
	Eenheid	1	2	3	4	5	6	7
% zure bollen in de cel	%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
ademhaling	ml CO ₂ /uur/kg	10	20 *	20	40	40	40	40
uitdroging %	%/dag	0,23%	0,23%	0,23%	0,23%	0,23%	0,23%	0,23%
droogkracht ventilatie	liter/week/m ³	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
	liter/week/m ³	28	28	43	41	88	88	93
ventilatie	m ³ /uur	36	36	50	50	94	94	98
circulatie	m ³ /uur	165	165	165	165	165	275	275
celtemperatuur	°C	20	20	20	20	20	20	20
RV% gewenst	%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%
RV tussen bollen	%	75%	76%	73%	74%	70%	69%	69%
Rv minst beluchte kist	%	76%	78%	75%	76%	72%	70%	70%
RV cellucht	%	73%	74%	71%	72%	68%	68%	68%
ΔT meest en minst beluchte kist	°C	-0,06	0,51	0,51	1,67	1,67	1,00	1,00
Ventilatieventilator	€/dag	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
Circulatieventilatoren	€/dag	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	6,5	6,5
Opwarmen buitenlucht	€/dag	3,9	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,4
warmte afvoer/koelen	€/dag	0,0	6,9	0,0	21,7	0,0	1,6	0,0
ontvochtigen	€/dag	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
lekverliezen	€/dag	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
totaal	€/dag	16,2	19,2	12,4	34,0	12,5	18,9	17,8

* in rood wat aan omstandigheid of instelling t.o.v. voorgaand scenario verandert

De ventilatie verhogen naar 50 m³/uur voorkomt dit (scenario 3). Gaat de ademhaling nog verder omhoog naar 40 ml/kg (scenario 4) dan neemt ΔT toe 1,61 °C en ontstaat er weer een warmteoverschot . Ventilieren met 94 m³/uur voorkomt dit (scenario 5), maar verandert niet de hoge ΔT . Door de circulatie op te voeren naar 275 m³/uur neemt ΔT af naar 1 °C, maar door de extra warmte van de circulatieventilatoren ontstaat weer een klein warmte overschot, scenario 6). Iets meer ventileren, 98 m³/uur, voorkomt dit, scenario 7.

De uiteindelijke kosten komen dan op €17,8. Wanneer vastgehouden moest worden aan een maximale ΔT van 0,5 °C dan waren de kosten vele malen hoger geweest (nl. € 137,-).

De energiekosten bij deze scenarioreeks worden ook weergegeven in figuur 9.



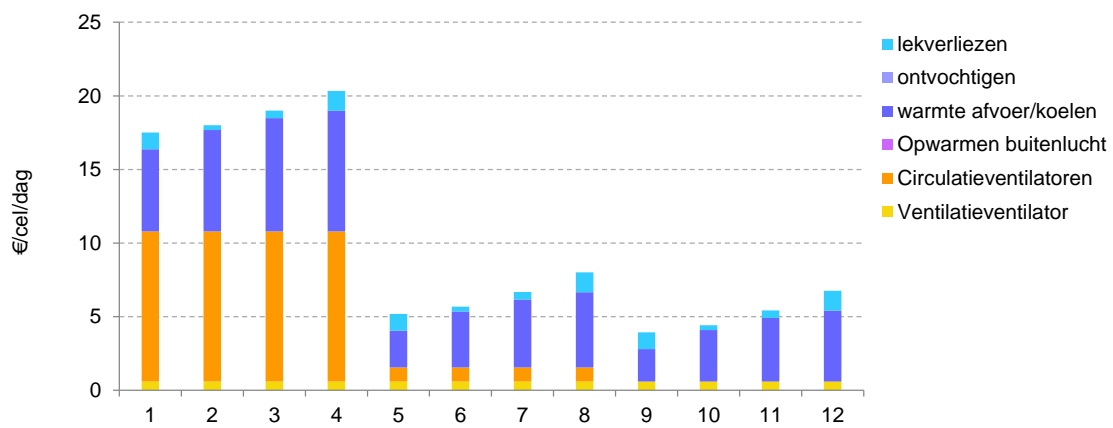
Figuur 9 : Energiekosten scenarioreeks

Ook voor de koude bewaring van leliebollen is een scenarioreeks doorgerekend waarbij als maximum ΔT niet 0,1 °C is aangehouden, maar 0,28 °C, tabel 9.

Tabel 9: Scenarioreeks 2°C bewaring leliebollen, bij oplopende buiten temperatuur, verminderde spreiding en een hogere maximale ΔT

	Eenheid	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
buitentemperatuur	°C	-5	0	5	10	-5	0	5	10	-5	0	5	10
ventilatie	m ³ /uur	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
circulatie	m ³ /uur	320	320	320	320	145	145	145	145	28	28	28	28
spreading circulatie	%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	10%	10%	10%	10%
CO ₂ tussen de bollen	ppm	2492	2492	2492	2492	2499	2499	2499	2499	2560	2560	2560	2560
RV tussen bollen	%	82%	100%	100%	100%	82%	100%	100%	100%	83%	100%	100%	100%
ΔT meest en minst beluchte kist	°C	0,10	0,11	0,11	0,11	0,23	0,25	0,25	0,25	0,25	0,28	0,28	0,28
Ventilatieventilator	€/dag	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Circulatieventilatoren	€/dag	10,2	10,2	10,2	10,2	0,9	0,9	0,9	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
Opwarmen buitenlucht	€/dag	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
warmte afvoer/koelen	€/dag	5,6	6,9	7,7	8,2	2,5	3,8	4,6	5,1	2,2	3,5	4,3	4,8
ontvochtigen	€/dag	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
lekverliezen	€/dag	1,1	0,3	0,5	1,3	1,1	0,3	0,5	1,3	1,1	0,3	0,5	1,3
totaal	€/dag	17,5	18,0	19,0	20,3	5,2	5,7	6,7	8,0	3,9	4,4	5,4	6,8

In de oorspronkelijke reeks varieerden de bewaarkosten tussen de € 17,- en € 20,- per cel per dag, bij een variatie in de buitentemperatuur van -5 °C tot + 10 °C. Door een maximum ΔT toe te laten van rond de 0,25 °C wordt het energieverbruik verlaagd naar € 5,- tot € 8,-. Bij een verbeterde luchtverdeling kan het energieverbruik naar €4,- tot €7,- per cel per dag. De energiekosten worden ook in figuur 10 weergegeven.



Figuur 10: Energiekosten scenarioreeks

4 Conclusies en aanbevelingen

Uit de bewaarproeven in klimaatskasten en op de bedrijven kan geconcludeerd worden dat:

- Het gewichtsverlies bij de bewaring van tulpenbollen (*na* de nadroogfase) constant is en kan oplopen tot 9,5 liter/week per m³ bollen.
- Hierbij is 14% hiervan gewichtsverlies door verademing van droge stof, de rest is door uitdroging.
- Bij hyacintenbollen is het gewichtsverlies tijdens de bewaring ook constant, en kan oplopen tot 5,3 liter/week en dat is hiermee minder dan bij tulpenbollen.
- De temperatuurbehandelingen van de tulpenbollen in de klimaatskasten leidden bij de oogst niet tot verschillen in plantgewicht, plant lengte en oogstdatum.
- Voor de leliecultivar Nova Zembla kon uit de bewaarproef met kleine temperatuursverschillen geen betrouwbare toe- of afname van het percentage uitgelopen spruiten per graad temperatuursverschil in de range van 0,6 tot 3,5 °C worden afgeleid.
- Bij Original Love komt uit deze proef dat het percentage uitlopers per graad temperatuursverschil in die range tussen 0,4% en 3,5% ligt (gemiddeld 2%). Bij een temperatuursverschil van 0,1 °C tussen de minst en de meest beluchte kist is het verschil in percentage uitlopers dan slechts 0,2%.

Uit het doorrekenen van de consequenties van bovenstaande bevindingen met het BewaarModel volgt:

- Bij een hogere verdamping moet iets meer geventileerd worden om een te hoge RV tussen de bollen te voorkomen.
- Loopt daarnaast de buitentemperatuur op, dan is het laten oplopen van de celtemperatuur een energetisch duurdere oplossing dan het laten oplopen van de RV, maar beter voor de bolkwaliteit.
- Wanneer de verdamping hoger is loopt het maximale temperatuursverschil tussen de minst en de meest beluchte kist minder op. Er kan daardoor in voorkomende gevallen meer worden teruggetoerd.
- Bij de heetstook van hyacint is het verbeteren van de luchtverdeling over de kisten de beste optie.
- Door bij zowel de warme als bij de koude bewaring een hoger maximaal temperatuursverschil tussen de minst en de meest beluchte kist toe te staan kan met minder toeren worden gecirculeerd en kan meer energie worden bespaard.

Gezien het bovenstaande is het aanbevolen om:

- bij het doorrekenen van bewaarscenario's met het BewaarModel van de hogere verdamping uit te gaan. Hierdoor worden realistischer resultaten berekend.
- De bewaarproeven naar de effecten van kleine temperatuursverschillen bij de bewaring nog eens te herhalen. Als ook bij herhaling geen of nauwelijks effecten kleine temperatuursverschillen worden gevonden kan met grotere zekerheid en vertrouwen in behoud van productkwaliteit de circulatie teruggetoerd worden en zo meer op energie worden bespaard.

Bijlage 1: Gelogde Temperaturen klimaatkasten

