

State-of-the-Art bewaarsysteem tulpenbollen

Resultaten 2008

J. Wildschut, H. Gude (PPO)

M. Kok, T. van der Gulik en B. Bisschops (DLV Plant)

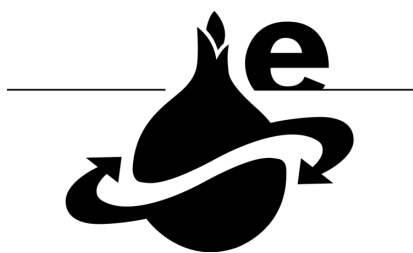
Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.
Bloembollen, Boomkwekerij & Fruit
Mei 2009

PPO nr. 32 360 690 00

© 2009 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 Meerjarenaafsprake energie Bloembollen (KAVB, PT, LNV, SenterNovem en telers).



Projectnummer: 32 360 690 00

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.....	9
3 RESULTATEN ENERGIEVERBRUIK.....	11
3.1 Energiebesparingen	11
3.2 Achtergronden.....	13
4 AANVULLEND ONDERZOEK	17
4.1 Afbroei bewaarde bollen.....	17
4.2 Alternatief ontwerp palletkist.....	17
4.3 Verbetering debietverdeling over lagen.....	19
4.4 Circulatie sturen op debiet.....	20
4.5 Metingen tussen de bollen	21
5 COMMUNICATIE.....	25
6 CONCLUSIES & AANBEVELINGEN	27
BIJLAGE 1: ENERGIEVERBRUIK PER M ³ BOLLEN VOLGENS 5 VERSCHILLENDE SCENARIO'S.....	31

Samenvatting

In het 2^{de} jaar van het onderzoeks- en demonstratieproject “State-of-the-Art bewaren van tulpenbollen” is het project uitgebreid tot 8 bloembollenbedrijven. In het project worden verschillende energiebesparings-technieken gecombineerd toegepast: een moderne systeemwand met o.a. afgeronde uitblaasopeningen, aangepaste palletkisten, frequentieregelaars op de ventilatoren, ethyleengestuurde ventilatie en geautomatiseerde regelingen door de klimaatcomputer. De hiermee tijdens het bewaar seizoen gerealiseerde en maximaal mogelijke energiebesparingen zijn geanalyseerd, en om in de toekomst nog meer te kunnen besparen is aanvullend onderzoek gedaan naar mogelijke verbeteringen.

Van deze 8 bedrijven hebben er twee de ventilatie niet of nauwelijks op ethyleen gestuurd, en één bedrijf heeft de frequentieregelaar niet gebruikt. Deze drie bedrijven buiten beschouwing gelaten hebben de overige bedrijven op gas gemiddeld 62% bespaard (80% was mogelijk geweest) en op elektra gemiddeld 49% bespaard (81% was mogelijk geweest). In totaal is zo gemiddeld 54 % op energie bespaard (80% was mogelijk geweest).

De belangrijkste achtergronden bij de verschillen tussen de bedrijven in gasverbruik zijn: het percentage zure bollen, de ingestelde ethyleengrens, de maximale ventilatiecapaciteit, de minimale “klepstand”, de startdatum en duur van de bewaarperiode, en de ingestelde bewaar temperatuur. De belangrijkste verschillen bij het elektraverbruik zijn: het opgestelde vermogen van de ventilatoren, het type systeemwand (een éénlaagssysteemwand geeft een hogere luchttopbrengst per watt dan een tweelaagswand en een wand met afgeronde uitblaasopeningen geeft meer lucht dan zonder afgeronde uitblaasopening), het type kisten, het type ventilator, de gemiddelde Hz-instelling en de minimaal mogelijke Hz-instelling.

Bij de afbroei van bollen die op de deelnemende bedrijven zijn bewaard, en van bollen die volgens de standaardnorm zijn bewaard, zijn verschillen in kwaliteit niet aantoonbaar. Gevonden verschillen in bv. het aantal kasdagen zijn gerelateerd aan de bewaar temperatuur.

Onderzoek aan een alternatieve palletkist gaf aan dat bij hetzelfde kWh-verbruik de alternatieve kist 1,5 tot 2 keer sneller droogt dan de normale kist. De luchtstroomverdeling tussen de bollen in de alternatieve kisten is echter nog niet optimaal en met CFD-modellering zal worden nagegaan of verbetering mogelijk is.

Onderzoek naar de verbetering van de luchtverdeling over de kistenlagen bij een éénlaagssysteem gaf aan dat door de bovenste kistenlaag met platen af te dekken 13% meer lucht door de middelste lagen wordt gestuurd. Door ook een schans onderin de wand te plaatsen wordt 17% meer lucht door de middelste lagen gestuurd. Hierdoor kan met 17% worden teruggetoerd waardoor 40 % energie wordt bespaard. Met CFD-modellering zou de dimensie van de schans verder geoptimaliseerd kunnen worden.

Onderzoek naar het effect van terugtoeren op de temperatuur, de RV en het ethyleengehalte tussen de bollen gaf aan dat het terugtoeren van 38 naar 29 Hz, resp. van 37,5 naar 27,5 Hz geen effect heeft op de temperatuurs- en RV-verschillen tussen de kisten. Mogelijk dat bij grotere stappen dit effect wel optreedt. Het aanslaan van het heaterblok had wel een traceerbaar effect op temperatuurs- en RV-verschillen tussen kisten. Terug- en optoeren van de circulatieventilator binnen de geteste grenzen heeft nauwelijks effect op het ethyleengehalte tussen de bollen indien het percentage zure bollen in de kist laag is. Is het percentage zure bollen in de betreffende kist extreem veel hoger dan het celgemiddelde, dan neemt het ethyleengehalte van de lucht tussen de bollen bij terugtoeren wel fors toe.

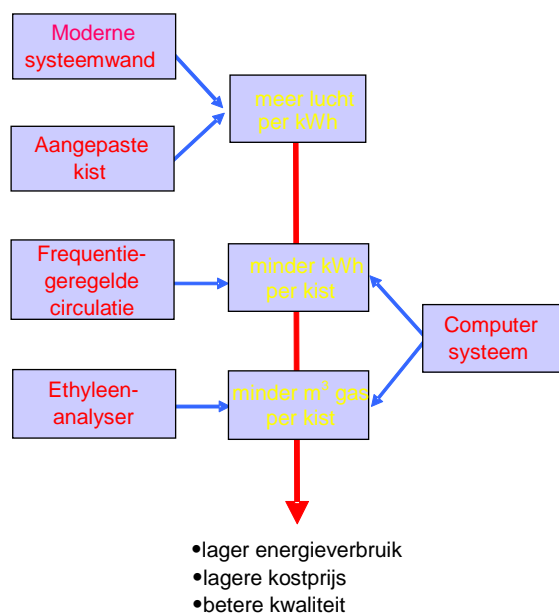
1 Inleiding

Het meerjarenproject “State-of-the-Art bewaren van tulpenbollen” is door PPO-Bloembollen in 2007 opgestart in samenwerking met 4 bloembollenbedrijven, DLV-Plant, Sercom Regeltechniek B.V., Omnivent, Omnihout, Hatech, EMS en de installateursbedrijven Polytechniek, Installatiebureau Eval en Kaandorp-Wijnker. In 2008 is het project uitgebreid tot 8 bloembollenbedrijven: Karel Bolbloemen B.V., Fa. W. Meskers, Ebbers-Creil V.O.F., Gebroeders Van Ruiten B.V, Poel Bloembollen B.V., Van der Avoird Lemmer B.V., Germaco B.V. en Fa. N.J.J. de Wit en Zn.

Doel van het project is tweeledig: 1) demonstreren wat er met de huidige stand der techniek aan energiebesparing in de bewaring bij tulp mogelijk is. En 2) aanvullend onderzoek & ontwikkeling om in de toekomst nog meer te kunnen besparen.

Het principe van State-of-the-Art bewaren van tulpenbollen is samengevat in bijstaand schema. Energiebesparingstechnieken worden hierin gecombineerd toegepast:

Een **moderne droogwand** met afgeronde uitblaasopeningen verlaagt de weerstand zodat met minder energie meer lucht door de bollen kan worden geblazen. Structuren in de wand zoals een schuine plaat verminderen de interne weerstand en verbeteren de luchtverdeling over lagen, waardoor het totale debiet verlaagd kan worden om de minst beluchte kist voldoende te beluchten.



Een **aangepaste kist** (met afgeschuinde balken en minder brede bodemplaten) heeft een betere interne luchtverdeling en een lagere weerstand. Deze kisten zijn op de deelnemende bollenbedrijven echter niet in gebruik. Om toch te kunnen bijdragen aan onderzoek & ontwikkeling van verbeterde palletkisten zijn op het bedrijf Fa. N.J.J. de Wit en Zn metingen uitgevoerd aan een door dat bedrijf, ism. Omnihout ontwikkelde aangepaste palletkist.

Terugtoeren van de circulatieventilatoren met een **frequentieregelaar** kan in een aantal omstandigheden:

- bij een grotere bolmaat in de kist, of bij minder volle kisten
- bij een betere luchtverdeling over de kisten
- bij een lagere circulatienorm (bv. <250 m³/uur, ipv. 500)
- als er minder kisten voor de wand staan, of
- bij een ventilator met overcapaciteit

Het kWh- verbruik neemt dan af met de 3de macht van het toerental.

Met de **ethyleenanalyser** wordt het ethyleengehalte van de cellucht continu gemeten. Op basis hiervan wordt via de klimaatcomputer de ventilatie gestuurd. Bij de sturing wordt bij bewaartemperaturen tussen de 20 en 25 °C een schadedrempel van 100 ppb aangehouden. Stijgt het ethyleengehalte tot boven de ethyleengrens van 100 ppb dan stuurt de **klimaatcomputer** de klep verder open totdat het ethyleengehalte weer onder de 100 ppb komt. Ethyleengrens, minimum klepstand, etc. zijn door de teler zelf in te stellen.

De klimaatcomputer registreert daarnaast de voor de berekeningen van het energieverbruik relevante gegevens en kan in principe ook de frequentieregelaars op de circulatieventilatoren aansturen. Dit aansturen zou op basis van het ethyleensignaal kunnen gebeuren (een frequentie-instelling geheel of gedeeltelijk evenredig aan de klepstand), of op basis van een door de teler ingesteld gemiddeld debiet per kist (waarbij dan ook telkens het aantal kisten voor de wand geregistreerd/ingevoerd zou moeten worden). De software voor deze laatste toepassingen van de klimaatcomputer is in 2008 niet op tijd gerealiseerd waardoor ethyleengestuurde en debietgestuurde circulatie niet getest konden worden. Op één bedrijf was het wel mogelijk om de frequentie-instelling van de circulatieventilator via de computer te registreren.

2 Werkwijze

Voor zover in 2007 nog niet uitgevoerd, zijn op de deelnemende bollenbedrijven klepstandkarakteristieken bepaald (verband debiet en klepstand), is het debiet bij verschillende frequentie-instellingen gemeten en is het verband tussen frequentie-instelling en energieverbruik bepaald. Vervolgens zijn korte rapportages hiervan de betreffende bedrijven toegestuurd.

Van één partij bollen (Leen van de Mark), zijn monsters plantgoed en leverbaar (4 zakjes per bedrijf met 200 resp. 100 bollen) op de deelnemende bedrijven in de State-of-the-Art cellen bewaard. Daarnaast zijn de monsters op 2 andere bedrijven bewaard volgens de standaard methode. Direct na de bewaring is de gewichtsafname van de bollen bepaald en zijn ze bij PPO in Lisse opgeplant resp. na de koele bewaring gebroeid.

Om in de toekomst nog meer energie te kunnen besparen is gedurende het bewaarseizoen op de bedrijven aanvullend onderzoek verricht:

- Om het effect van terugtoeren op het ethyleengehalte van de lucht tussen de bollen na te gaan is bij verschillende frequentie-instellingen op 4 bedrijven in 2 tot 4 kisten gedurende enkele weken elke 15 minuten het ethyleengehalte tussen de bollen gemeten.
- Om het effect van terugtoeren op temperatuur- en RV-verschillen tussen kisten in een rij na te gaan is bij verschillende frequentie-instellingen op 2 bedrijven in 8 verschillende kisten gedurende enkele weken elke 15 minuten de temperatuur en RV gemeten.
- Op één bedrijf is het effect op de luchtverdeling over de lagen van het met platen afdekken van de bovenste laag, en van het plaatsen van een schans onderin de wand bepaald. Bij een verbeterde luchtverdeling kan verder teruggetoerd worden.
- Op één bedrijf is bij 2 verschillende bolsoorten het effect van aanpassingen van de palletkist op de droogsnelheid gemeten.
- Op één bedrijf zijn aanvullende metingen verricht mbt. het verband tussen de druk in de wand, het totale debiet en het energieverbruik. Hieruit zou een geautomatiseerde regeling afgeleid kunnen worden.

Aan het einde van het bewaarseizoen zijn de klimaatcomputers uitgelezen. Resultaten van de metingen en analyses zijn individueel, en tijdens een bijeenkomst met de deelnemers doorgesproken.

Het gerealiseerde energieverbruik per cel is bepaald volgens de methode beschreven in het rapport "State-of-the-Art bewaarsysteem tulpenbollen, 2007". Kort samengevat komt deze methode hierop neer: Op basis van het gemeten verschil (ΔT) tussen de temperatuur in de cel (T^{cel}) en de temperatuur van de buitenlucht (T^{buiten}) wordt de bruto warmtebehoefte berekend: Warmtebehoefte cel = $(\Delta T) \times (V \times K) \times Sw$, waarin Sw = de soortelijke warmte van lucht, V = de maximale ventilatie (m^3/uur) en K = klepstand. Uit deze bruto warmtebehoefte wordt de netto warmtebehoefte berekend door de warmteproductie van de ventilatoren en de warmteproductie van de bewaarde (ademende) bloembollen er van af te trekken. De warmteproductie van de ventilatoren wordt berekend uit het opgenomen vermogen van de ventilator bij 50 Hz en het gemeten verband tussen energieverbruik en frequentie-instelling (zie figuur 5). De warmteproductie van de bewaarde bollen wordt berekend uit de CO_2 -productie indien een betrouwbare CO_2 -meter op de klimaatcomputer is aangesloten: per liter geproduceerd CO_2 komt 21 kJ aan warmte vrij. Wanneer CO_2 niet gemeten is wordt gerekend met een gemiddelde CO_2 -productie van 5 liter/uur per m^3 bollen.

Het totale energieverbruik in de cel is dan het gasverbruik dat nodig is voor de netto warmtebehoefte (gerekend met een rendement van 90%), plus het elektraverbruik van de circulatieventilatoren. Het elektraverbruik van de ventilatieventilator(en) is niet meegerekend omdat deze ongeacht de klepstand op volvermogen draaien en daarom omgerekend per m^3 bollen voor alle bedrijven ongeveer gelijk is. Bedrijf 3 regelt de ventilatiehoeveelheid echter niet met een klep, maar door de frequentie van de ventilatieventilator aan te passen. In dat geval neemt het elektraverbruik hiervoor dus sterk af bij verminderde ventilatie. In de volgende ronde zal het rekenmodel hierop aangepast worden.

Met de beschreven methode is het gerealiseerde energieverbruik per cel berekend op basis van de

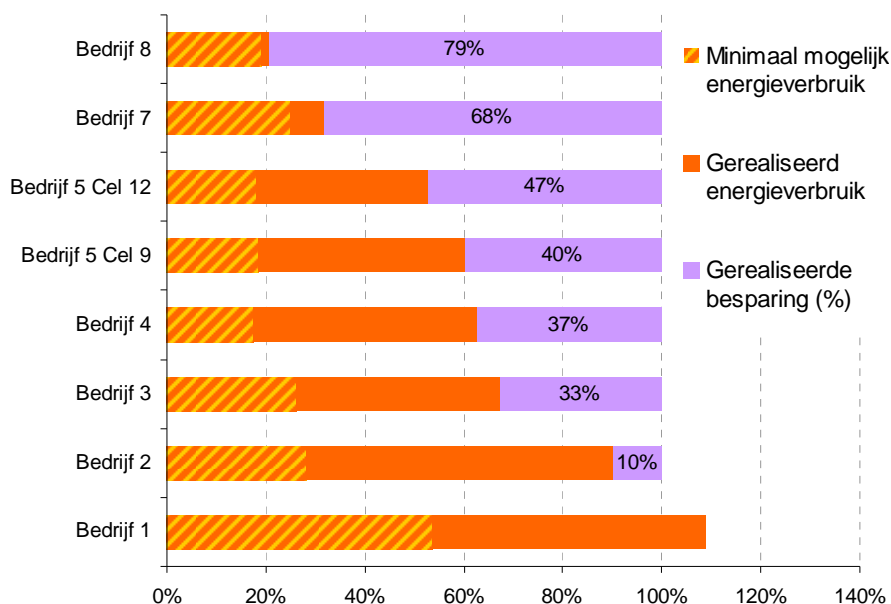
gegevens uit de klimaatcomputer die elke 15 minuten worden geregistreerd. Op basis hiervan kan voor de betreffende cel ook het energieverbruik bij andere bewaarregimes/scenario's worden berekend:

- Bewaren volgens de norm1: ventileren met 100 m³ lucht/ m³ bollen/uur tot 1 september, vervolgens met 60 m³ lucht/m³ bollen/uur. Circuleren met 50 Hz tot 1 september, vervolgens met 18 minuten aan/ 12 minuten uit.
- Bewaren volgens de norm2: ventileren met 100 % klepstand tot 1 september, vervolgens met 60 % klepstand. (Dit komt in de praktijk het meest voor en betekent meestal een hoger energieverbruik dan bij norm 1 omdat de maximale ventilatie bij 100% klepstand meestal meer is dan 100 m³ lucht/ m³ bollen/uur.) Circuleren met 50 Hz tot 1 september, vervolgens met 18 minuten aan/ 12 minuten uit.
- Minimaal mogelijk energieverbruik: bewaren met een op 100 ppb ingestelde ethyleengrens en een minimum klepstand van 15%, frequentieregeld circuleren evenredig aan de klepstand, maar met een minimum frequentie van 15 - 20 Hz.
- Tussenliggende scenario's zijn ook mogelijk, zoals frequentieregeld circuleren voor 50% evenredig met de klepstand (zie Bijlage 1)

3 Resultaten Energieverbruik

3.1 Energiebesparingen

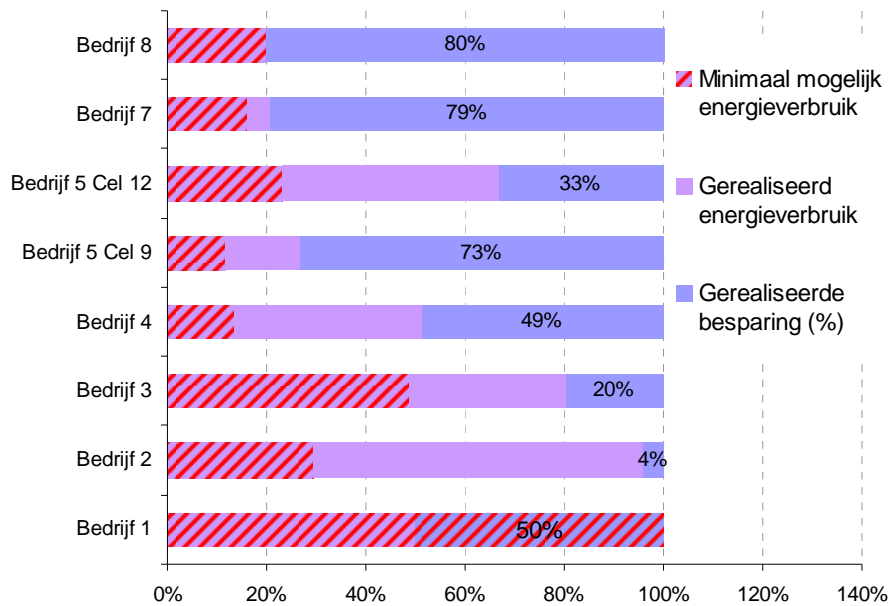
Per bedrijf (m.u.v. het bedrijf waar uitsluitend metingen aan een alternatieve kuubskist zijn verricht) is het gerealiseerde energieverbruik, en het minimaal mogelijke energieverbruik, vergeleken met het energieverbruik indien op het bedrijf in de betreffende cel volgens norm1 zou zijn bewaard. Het energieverbruik bij bewaring volgens de norm verschilt per bedrijf, omdat elk bedrijf andere celtemperaturen hanteert, de temperatuur van de buitenlucht anders is, de beschouwde bewaarperiode anders is (startdatum en duur), en omdat o.a. ventilatoren, droogwanden en kistformaat verschillen. Per bedrijf is de relatieve energiebesparing (in procenten) berekend t.o.v. op dat bedrijf bewaren volgens de norm1. Voor de absolute besparingen zie § 3.2 Achtergronden en Bijlage 1. In figuur 1 zijn de besparingen op het totale energieverbruik (gas en elektra) samengevat.



Figuur 1: Totale energieverbruik t.o.v. de norm (%)

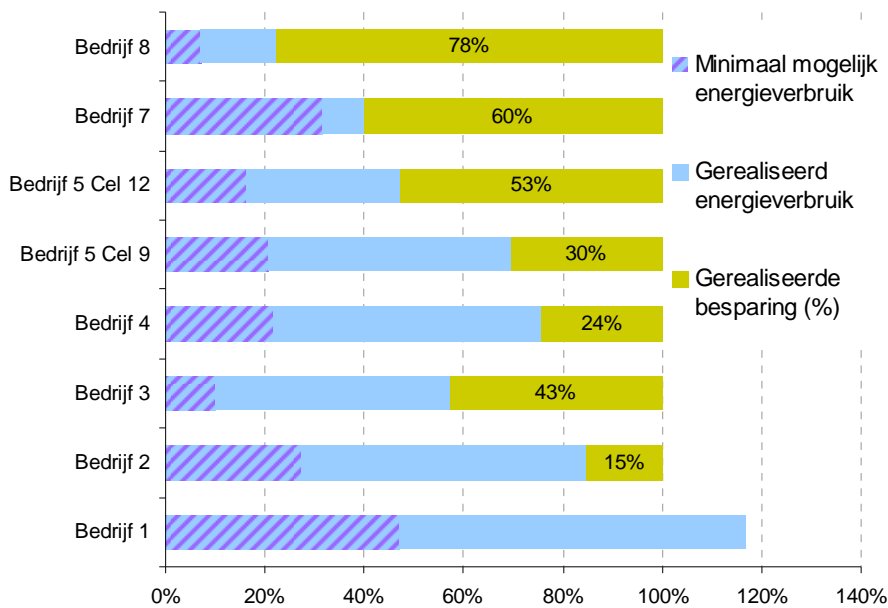
Bedrijf 8 heeft een energieverbruik gerealiseerd van 21% t.o.v. de norm en daarmee dus 79% minder energie verbruikt dan als er volgens de norm1 zou zijn bewaard. Dit is vrijwel gelijk aan het minimaal mogelijke. Bedrijf 1 daarentegen heeft geen energie bespaard, maar 10% meer energie verbruikt dan wanneer het volgens norm1 bewaard had. Bij veel bedrijven, op bedrijf 7 en 8 na, is er nog ruimte om veel meer energie te besparen dan nu is gerealiseerd.

In figuur 2 is de energiebesparing op gas samengevat. Bedrijven 8, 7 en 5 Cel 9 hebben 70 - 80% op gas bespaard door de ventilatie volledig, resp. bijna volledig, op ethyleen te sturen. Voor de overige bedrijven, m.u.v. bedrijf 1, was er nog ruimte om meer op gas te besparen. Bedrijf 1 heeft 50% bespaard op gas maar gezien de relatief hoge ethyleenconcentraties had eigenlijk juist meer geventileerd moeten worden, zie verder bij § 3.2 Achtergronden.



Figuur 2: Gasverbruik t.o.v. de norm (%)

De besparingen op elektra zijn samengevat in figuur 3. Ook hier geldt dat op de meeste bedrijven de gerealiseerde besparingen fors zijn en dat op sommige bedrijven nog veel meer bespaard had kunnen worden.



Figuur 3: Elektraverbruik t.o.v. de norm (%)

Samenvattend:
 Met uitzondering van bedrijven 1 t/m 3 (zie § 3.2) is:

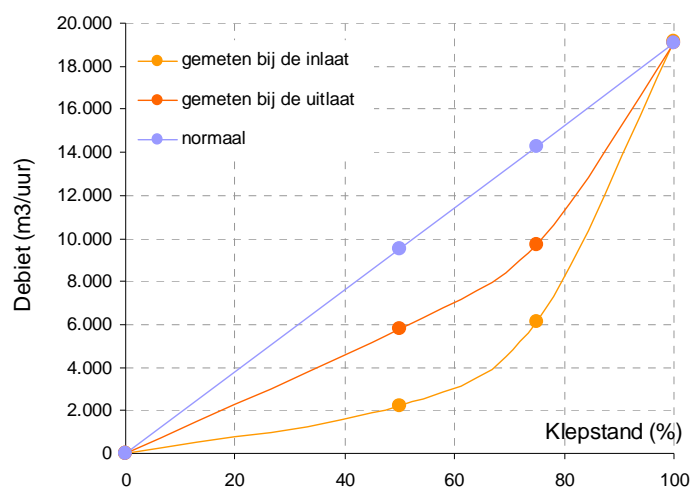
- op gas gemiddeld 62% bespaard, 80% was mogelijk geweest.
- op elektra gemiddeld 49% bespaard, 81% was mogelijk geweest.
- in totaal gemiddeld 54% op energie bespaard, 80% was mogelijk geweest.

Indien vergeleken met norm2 (100% klepstand tot 1 september, daarna 60%), is de gerealiseerde besparing nog veel groter.

3.2 Achtergronden

De redenen waarom bedrijven 1 t/m 3 bij de gemiddelde energiebesparing van de deelnemende bedrijven niet zijn meegerekend zijn de volgende: Bedrijf 1 heeft niet State-of-the-Art (StArt) gecirculeerd. Dit bedrijf circuleerde nl. permanent op 60 Hz waardoor er voor de circulatie zelfs meer elektra werd verbruikt dan volgens de standaardnorm. Bedrijven 2 en 3 hebben de ventilatie niet, resp. nauwelijks op ethyleen gestuurd.

Een andere achtergrond bij het energieverbruik in de StArt-cel bij bedrijf 1 is dat de klepstandkarakteristiek niet lineair (zie figuur 4) bleek te zijn, zodat wanneer het ethyleensignaal een vermindering van de klepstand van bv. 100% naar 75% toestond, de luchthoeveelheid feitelijk verminderd werd naar 50%.



Figuur 4: klepstandkarakteristiek op bedrijf 1.

Het ethyleengehalte loopt dan snel (binnen enkele minuten) weer sterk op, waarop met enige vertraging de klep weer verder opengaat. Het gemiddelde ethyleengehalte komt dan hoger uit dan bij een lineaire klepstandkarakteristiek. Met een in deze bewaarcel berekende gemiddelde hoeveelheid van 4,0% zure bollen kan de ventilatie door de ethyleensturing nauwelijks verminderd worden. Door het te snel knijpen van de klepstand is hierdoor het aantal dagen dat de bollen aan een ethyleengehalte > 100 ppb worden blootgesteld opgelopen tot boven de 35 (tabel 1).

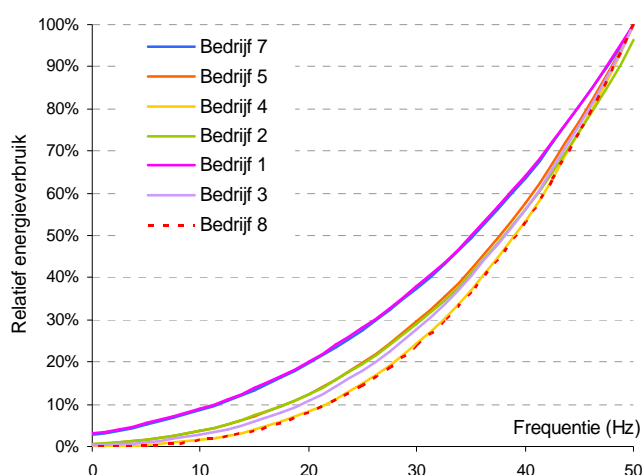
Tabel 1: Bedrijfsgegevens Ventilatie.

	Bedrijf 1	Bedrijf 2	Bedrijf 3	Bedrijf 4	Bedrijf 5 (cel 9)	Bedrijf 5 (cel 12)	Bedrijf 7	Bedrijf 8
max m3 bollen/cel	192	324	134	143	216	216	338	230
m3/uur	19000	40000	13500	12000	25000	25000	37000	35000
max m3 lucht/m3 bollen	99	123	100	84	116	116	109	152
gemiddeld m3 lucht/m3 bollen	73	77	63	48	44	56	28	21
Tcel	19,4	24,5	21,9	22,3	20,1	21,9	21,5	21,1
Tbuiten	17,0	16,4	16,2	15,7	16,6	18,5	16,6	14,9
ΔT	2,4	8,1	5,7	6,7	3,4	3,4	4,9	6,2
Bewaarperiode								
start	30-jun-08	1-jun-08	18-jun-08	21-jul-08	12-jun-08	12-jun-08	21-jul-08	4-jul-08
einde	16-okt-08	30-okt-08	30-okt-08	11-nov-08	30-okt-08	29-aug-08	5-okt-08	1-nov-08
periode	108	151	133	112	140	78	76	120
dagen met data	98	105	89	109	136	74	76	114
Gemiddeld ethyleen (ppb)	96	24	16	17	27	46	57	27
Gemiddelde klepstand (%)	74	62	62	57	38	48	26	14
minimum klepstand	0%	0%	30%*	0%	0%	0%	0%	0%
berekend % zuur	4,0	1,1	0,5	0,3	0,7	1,5	1,0	0,3
Ethyleenblootstelling (dagen)								
> 100 ppb	35,3	7,6	0,6	0,7	0,6	3,1	4,4	2,1
> 200 ppb	3,5	1,7	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,5

* bedrijf 3 regelt het debiet van de ventilatieventilator niet met een klep maar met een frequentieregeling. 15 Hz is daarbij het minimum, 0% wordt gerealiseerd door de ventilator uit te zetten.

Het berekende gemiddelde percentage zure bollen op de andere bedrijven lag tussen de 0.3 en 1.5%. Dit percentage wordt berekend uit de totale ethyleenproductie per uur in de cel, de uurproductie per zure bol (gemiddeld over cultivars is dat 0.00625 ml/uur) en de totale hoeveelheid bewaarde bollen. Het werkelijke percentage zure bollen kan flink afwijken omdat er tussen cultivars grote verschillen in ethyleenproductie per zure bol zijn.

Bedrijven 7 en 8 circuleerden permanent op 25 Hz, de andere bedrijven circuleerden gemiddeld op 35,6 tot 44,0 Hz. Het verband tussen Hz ↔ toerental ↔ (Energieverbruik)³ is voor alle bedrijven bepaald en samengevat in figuur 5. Halvering van de het toerental door de frequentie van 50 naar 25 Hz in te stellen heeft een groot effect op het elektraverbruik.



Figuur 5: Verband frequentie (Hz) en afname energieverbruik.

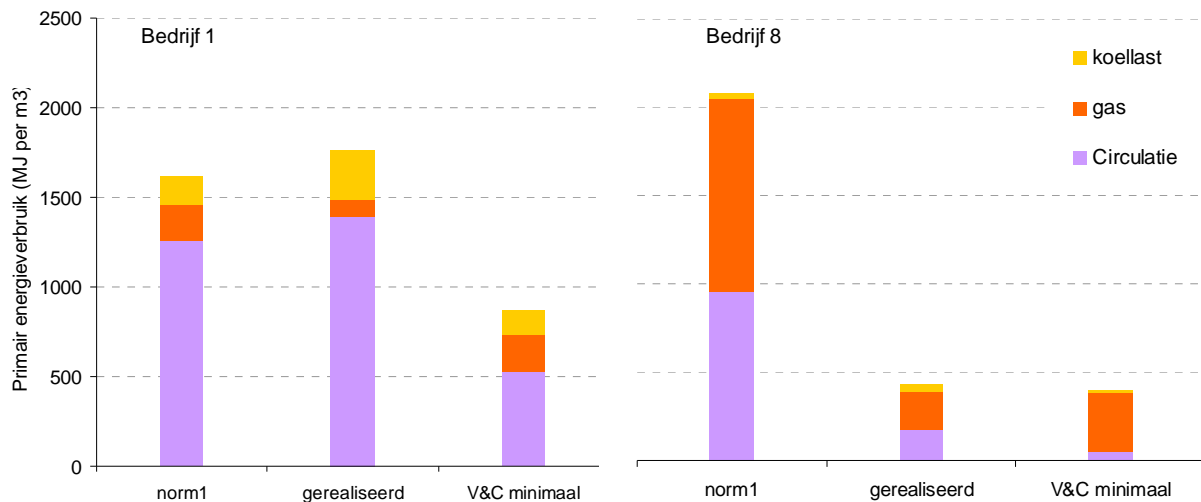
De achtergronden bij de verschillen in energieverbruik voor ventilatie en circulatie zijn samengevat in tabel 1 en tabel 2.

Tabel 2: Bedrijfsgegevens Circulatie.

	Bedrijf 1	Bedrijf 2	Bedrijf 3	Bedrijf 4	Bedrijf 5 (cel 9)	Bedrijf 5 (cel 12)	Bedrijf 7	Bedrijf 8
lagen bewaarsysteem	2	1	1	2	2	2	1	1
ronde uitblaas	ja	ja	nee	nee	ja	ja	nee	ja
m3 bollen/kist	1,20	1,20	1,20	0,85	1,20	1,20	1,20	1,20
aantal ventilatoren	2	5	4	3	4	4	6	4
kW/ventilator*	7,00	3,00	2,53	2,64	2,68	2,68	2,67	2,85
kW tot per cel	14,00	15,00	10,12	7,92	10,72	10,72	16,02	11,40
Watt/m3 bollen	73	46	75	55	50	50	47	49
m3 lucht/m3 bollen bij 50 Hz	605	508	628	367	505	505	582	663
m3 lucht/watt (bij 50 Hz)	8,3	11,0	8,3	6,6	10,2	10,2	12,3	13,4
m3 lucht/watt (bij 25 Hz)	33,2	43,9	33,4	26,5	40,7	40,7	49,2	53,6
minimum frequentie instelling (Hz)				25	10		20	15
gem. Hz	59,0	44,0	36,3	40,7	38,4	35,9	25,0	25,1
m3 lucht/m3 bollen gemiddeld	714	447	456	299	388	363	291	333

* vaak 20 % meer dan vermeld op de motor

Om andere achtergronden bij de verschillen in energieverbruik te verduidelijken is in figuur 6 bedrijf 1 met bedrijf 8 vergeleken. Het totale energieverbruik volgens de norm1 is bij bedrijf 1 lager dan bij bedrijf 8, maar het elektraverbruik voor de circulatie is fors hoger: Achtergrond hierbij is dat het gasverbruik volgens norm1 bij bedrijf 1 lager ligt omdat tijdens de beschouwde bewaarperiode het gemiddelde temperatuurverschil met de buitenlucht (ΔT) bij bedrijf 1 maar 2,4 °C is, bij bedrijf 8 is dat 6,2 °C. Daarnaast zijn, om geluidsoverlast te voorkomen, op bedrijf 1 centrifugaalventilatoren geïnstalleerd. Deze verbruiken fors meer energie dan axiaal ventilatoren (73 watt per m³ bollen geïnstalleerd versus 49 watt bij bedrijf 8). Hierdoor is de warmteproductie van de ventilatoren hoger waardoor de gasbehoefte vermindert.



Figuur 6: Vergelijking van twee extremen.

Het gerealiseerde energieverbruik is op bedrijf 1 hoger dan de norm1, omdat permanent op 60 Hz is gecirculeerd. Dit leidt tot een hoger elektraverbruik, maar door de hierbij vrijkomende warmte tot een lager gasverbruik. Door deze extra warmteproductie in de bewaarcel, en de lagere bewaartemperatuur voor de broeibollen is ook de koellast hoger. Bedrijf 8 heeft een veel lager energieverbruik per m³ bollen kunnen realiseren, doordat het berekende percentage zure bollen flink lager is dan op bedrijf 1 (0,3 versus 4,0%), en omdat met de axiaalventilatoren permanent op 25 Hz is gecirculeerd. Het minimaal mogelijke energieverbruik is op dat bedrijf vrijwel gelijk aan het gerealiseerde energieverbruik. Op bedrijf 1 had het energieverbruik voor de circulatie fors lager gekund, maar het gasverbruik had feitelijk niet verminderd kunnen worden: het relatief hoge percentage zure bollen vereist een ventilatiedebiet dicht in de buurt van norm1.

Op dezelfde wijze kunnen, m.b.v. tabel 1 en 2, de andere bedrijven vergeleken worden, zie bijlage 1 voor het energieverbruik per m³ bollen per bedrijf bij verschillende scenario's. Startdatum en duur van de bewaarperiode kunnen voor de bedrijven sterk verschillen, reden waarom in deze bijlage het energieverbruik ook is omgerekend naar energieverbruik per 120 dagen.

Uit tabel 2 valt ook af te leiden dat een éénlaagssysteemwand een hogere luchtopbrengst per watt geeft dan een tweelaags (gemiddeld 11,9 versus 7,5 m³ lucht/watt), en dat een afgeronde uitblaasopening een hogere luchtopbrengst geeft dan niet afgeronde uitblaasopeningen (gemiddeld 10,9 versus 8,5 m³ lucht/watt). Hier speelt nog doorheen dat bedrijf 4 (2-laags, zonder afgeronde uitblaasopening) een kleine maat kisten heeft (dus meer weerstand).

Samenvattend:

Achtergronden bij de verschillen tussen de bedrijven in het gerealiseerde energieverbruik en in het energieverbruik volgens de norm zijn:

- De mate van klepsturing op ethyleen
- Het gemiddelde verschil tussen de celtemperatuur en de temperatuur van de buitenlucht
- Het berekend percentage zure bollen
- De maximale ventilatie per m³ bollen per uur
- Start- en einddatum van de bewaarperiode
- Type systeemwand (éénlaags- of tweelaags)
- Afgeronde uitblaasopening
- Kistmaat
- Type ventilatoren (geïnstalleerd vermogen per m³ bollen)
- Gemiddelde frequentie-instelling circulatieventilatoren
- Minimum frequentie-instelling circulatieventilatoren

4 Aanvullend onderzoek

4.1 Afbroei bewaarde bollen

De broeibollen afkomstig van één partij Leen van de Mark zijn in viervoud (4 zakjes van 100 bollen) bewaard op de 7 StArt-bedrijven en op 2 bedrijven (Bedrijf 9 en 10) zonder ethyleenanalyse en frequentieregelaars. Na het bewaren is de gewichtafname bepaald, zijn de bollen bij PPO gekoeld bewaard en vervolgens afgebroeid. Verschillen in uitdroging en in percentage zure bollen na bewaren zijn klein en niet significant ($p > 0.05$). Ook de bij de broei gevonden verschillen in lengte, plantgewicht (en gewicht per cm), zijn klein en niet significant, tabel 4.

Tabel 4: Resultaten afbroei StArt-bewaarde bollen versus *Nief* StArt bewaarde bollen.

eenheid	Uitdroging	Zure bollen	Kasdagen	Plant- gewicht	Plant- lengte	Stelen per bol	Bloem in blad	T Cel	Gemiddeld ethyleen	Aantal dagen blootstelling	
	%	%	dgn	g	cm	n	cm		ppb	> 100 ppb	> 200 ppb
Bedrijf 1	17%	15%	18,7	33,3	39,5	2,2	-2,4	19,4	96	35,3	3,54
Bedrijf 2	17%	12%	20,0	31,5	38,1	2,7	-3,9	24,5	24	7,6	1,72
Bedrijf 3	17%	12%	19,8	32,0	37,7	2,3	-4,2	21,9	16	0,6	0,13
Bedrijf 4	17%	9%	21,0	32,0	38,6	2,9	-4,5	22,3	17	0,7	0,10
Bedrijf 5 Cel 9	16%	10%	19,3	33,0	38,1	2,5	-3,9	20,1	27	0,6	0,03
Bedrijf 7	16%	12%	19,5	31,7	38,0	2,5	-4,0	21,5	57	4,4	0,00
Bedrijf 8	18%	11%	20,0	31,0	38,4	2,1	-4,2	21,1	27	2,1	0,49
Bedrijf 9*	16%	12%	19,5	31,7	38,9	2,1	-4,0	-	-	-	-
Bedrijf 10*	18%	13%	21,0	31,7	37,9	2,8	-4,9	-	-	-	-
p	0,5524	0,3286	0,0134	0,4675	0,2818	0,0000	0,0001	-	-	-	-
LSD			0,6			0,13	0,35	-	-	-	-

* ter vergelijking: *Nief* StArt-bedrijven

Het gemiddeld aantal kasdagen verschilde echter wel: De bollen bewaard op de bedrijven 1, 5, 7 en 9 hadden een iets kortere kasperiode dan de bollen bewaard op bedrijven 4 en 10. Voor de StArt-bedrijven is de achtergrond hierbij de gemiddelde bewaartemperatuur: Bedrijven 1, 5 en 7 bewaarden gemiddeld op resp. 19,4, 21,1 en 21,5 °C, bedrijf 4 op 22,3 °C: koeler bewaard leidt tot een iets snellere afbroei. Ook het aantal stelen per bol (bijspuiten, een mogelijk effect van blootstelling aan ethyleen) verschilde per bedrijf. Een verband met het over de bewaarperiode gemiddelde ethyleengehalte in de cel, danwel het aantal dagen dat de blootstelling aan ethyleen hoger dan 100 ppb was, is echter afwezig (zie tabel 4). Een ander significant verschil tussen de afgebroeide bollen was “bloem in blad”. Ook hier speelt ethyleen geen rol en zijn de verschillen toe te schrijven aan verschillen in bewaartemperatuur.

Samenvattend:

Bij de afbroei van StArt-bewaarde bollen en volgens de standaardnorm bewaarde bollen zijn ethyleen gerelateerde verschillen in kwaliteit niet aantoonbaar:

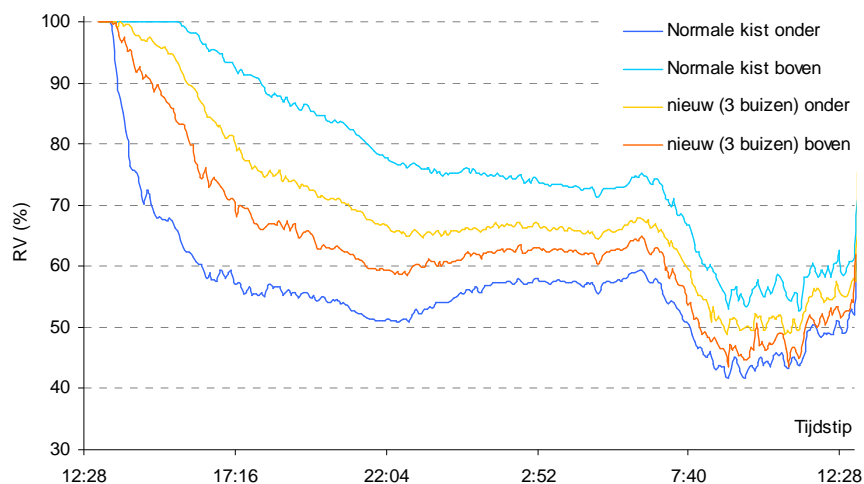
- StArt-bewaarde broeibollen hebben dezelfde kwaliteit als standaard bewaard broeibollen.
- Gevonden verschillen in bv. het aantal kasdagen zijn gerelateerd aan de bewaartemperatuur.

4.2 Alternatief ontwerp palletkist

Op bedrijf 6 zijn metingen uitgevoerd aan een door dat bedrijf, ism. Omnihout, ontwikkelde aangepaste palletkist. Deze kist voor een 2-laagssysteem heeft halverwege de hoogte buizen dwars op richting van het palletkanaal, die van het zelfde geperforeerde plaatmateriaal zijn als waar de kistbodem van is gemaakt. De

kist wordt echter geplaatst voor een 1-laagsdroogwand, zodat de lucht van bovenaf en van onderaf de bollen instroomt en via de buizen zijwaarts de kist uitstroomt.

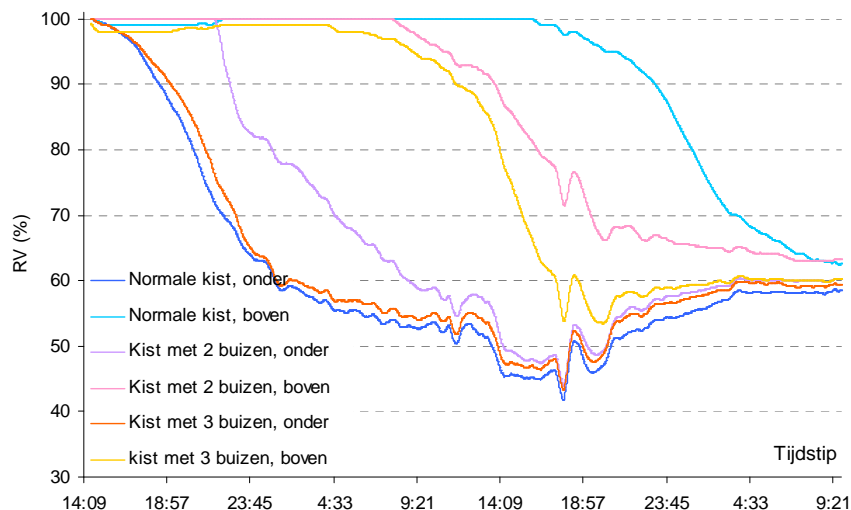
Op twee plaatsen tussen de bollen (ongeveer 20 cm van de kistbodem en 20 cm vanaf de bovenkant van de bollen) is de RV tijdens het droogproces van hyacintenbollen (figuur 7) en van gespoelde tulpenbollen (figuur 8) gelogd.



Figuur 7: Droogproces hyacintenbollen

Het moment waarop de RV tot 70% is afgenomen ligt bij de kist met 3 buizen op ongeveer 9 uur, bij de normale kist op ongeveer 19 uur na de start van het droogproces. Onderin de normale kist zijn de bollen het eerst droog, bovenin het laatst.

Omdat 3 buizen o.a. het leegstorten van de kisten hinderen is er ook een kist met 2 buizen getest. Ook bij deze kist is het droogproces van de gespoelde tulpenbollen gevolgd (figuur 8).



Figuur 8: Droogproces gespoelde tulpenbollen

Onderin de kist zijn de bollen in de normale kist en in de kist met 3 buizen het eerst en vrijwel gelijktijdig op een RV van 70%. Bovenin de kist zijn de bollen in de normale kist na ongeveer 37 uur op een RV van 70%, in de kist met 3 buizen na ongeveer 25 uur en in de kist met 2 buizen na ongeveer 29 uur.

Achtergronden hierbij zijn samengevat in tabel 5. De luchthoeveelheid per kist is gemeten bij de uitgangen.

Aannemende dat bij de kist met buizen de helft van de lucht van bovenaf de kist instroomt en de andere helft van onderaf, is de luchthoeveelheid per ingang geschat door de luchthoeveelheid per kist door 2 te delen.

	drogen tulp		drogen hyacint	
	per kist	per ingang	per kist	per ingang
Normaal	708	708	710	710
2 buizen	1223	611		
3 buizen	1651	825	1537	769

Bij de kisten met buizen worden de bollen bovenin de kisten echter later droog dan onderin. Mogelijk is de luchthoeveelheid die van boven door de bollen gaat kleiner, of is de te doorblazen hoeveelheid bollen groter omdat de buizen a-symmetrisch t.o.v. het middelpunt geplaatst zijn. Het is ook mogelijk dat RV-sensoren a-symmetrisch t.o.v. de buizen geplaatst zijn.

De luchthoeveelheid per kist is bij de kisten met buizen 1,7 tot 2,3 keer groter dan bij de normale kist en het drogen lijkt 1,5 tot 2 keer zo snel te gaan. Bij het uitstorten van de bollen bleek o.a. wel dat de bollen tussen de buizen nog iets vochtig waren.

Met CFD-modellering wordt nu geprobeerd het ontwerp te optimaliseren, door bij verschillende bolmaten de invloed op de luchtverdeling en luchttopbrengst te onderzoeken van het effect van 2 versus 3 buizen, van de buisdiameter, de positie van de buizen (midden of a-symmetrisch) en de positie van de gaatjes in de buizen.

Samenvattend:

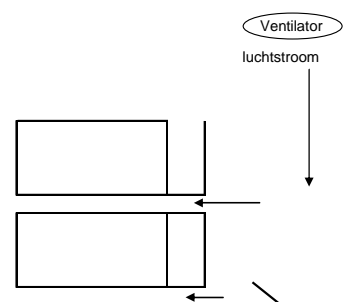
- Bij hetzelfde kWh-verbruik droogt de alternatieve kist sneller dan de normale kist.
- Met 3 buizen drogen de bollen sneller dan met 2, maar de kist met 3 buizen is bij het vullen en uitstorten minder praktisch.
- De luchtstroomverdeling tussen de bollen in de alternatieve kisten is nog niet optimaal.

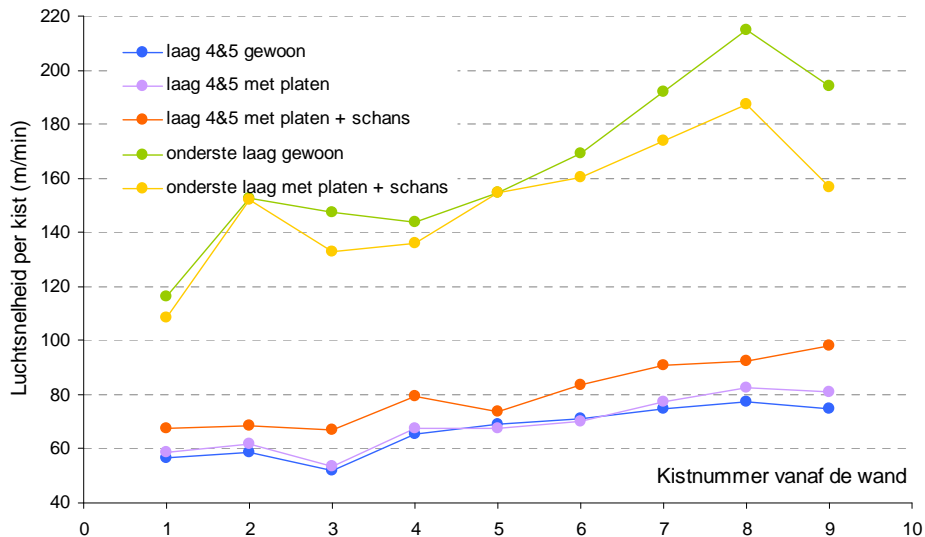
4.3 Verbetering debietverdeling over lagen

Uit het project “Verder ontwikkelen Droog & Bewaarsysteem” (CFD-modellen) kwamen een aantal aanbevelingen om de luchtverdeling in een 1-laagssysteem te verbeteren. Op bedrijf 2 zijn twee hiervan getest: het afdekken van de bovenste kistenlaag met platen, en het afremmen/sturen van de luchtstroom door het onderste pallet kanaal. Dit laatste is gerealiseerd door het plaatsen van een schans onderin de systeemwand, zie plaatje:

In een eerste meting resulteerde het afdekken van de bovenste laag met platen in een 13% hogere luchttopbrengst voor de middelste lagen. Als de gemiddelde luchtstroom in die lagen zonder afdekplaten voldoende is, dan kan om die zelfde luchtstroom te realiseren wanneer de bovenste laag met platen is afgedekt, de frequentie van 50 naar 45 Hz worden teruggetoerd. Het energieverbruik daalt dan met ongeveer 29%. In een tweede meting is ook de schans geïnstalleerd, resultaten zijn samengevat in figuur 9. Zonder platen en zonder schans is de luchtstroom per kist in de onderste laag ruim het dubbele van de luchtstroom in laag 4 en 5. Met platen is de luchtstroom in die lagen iets hoger dan zonder platen, maar met een schans erbij is de luchtstroom gemiddeld 17% hoger. Het toerental zou dan met 17% teruggetoerd kunnen worden, wat een energiebesparing oplevert van ongeveer 40%.

In figuur 9 is ook goed te zien hoe de luchtstroom per kist toeneemt met de afstand tot de wand. De hoek, grootte en afstand van de schans tot de uitblaasopening zijn puur intuïtief bepaald. Met aanpassingen in de bestaande CFD-modellen kan de optimale dimensie worden berekend. Vermoedelijk wordt de luchtverdeling dan nog verder verbeterd en kan er nog meer energie bespaard worden.





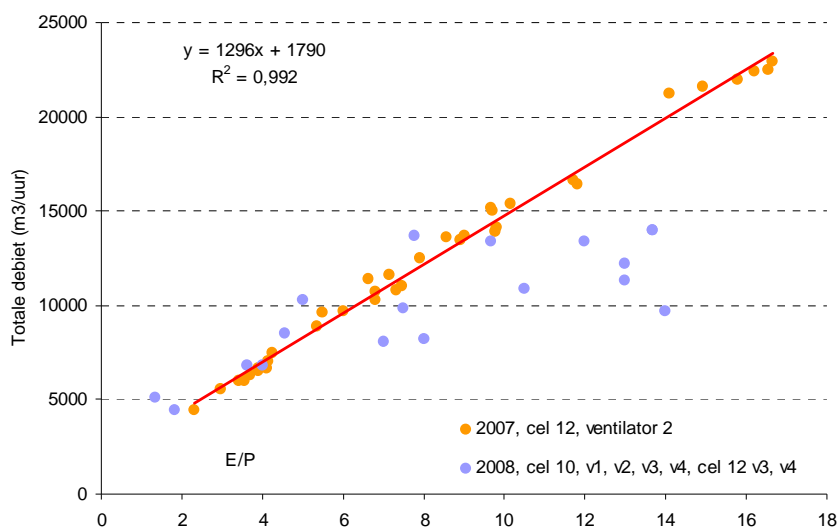
Figuur 9: Effect afdekken met platen + schans op luchtsnelheid.

Samenvattend:

- Door de bovenste kistenlaag met platen af te dekken wordt in een éénlaags bewaarsysteem 13% meer lucht door de middelste lagen gestuurd.
- Door ook een schans te plaatsen wordt 17% meer lucht door de middelste lagen gestuurd
- Hierdoor kan met 17% worden teruggetoerd waardoor 40 % energie wordt bespaard
- Met CFD-modellering zou de dimensie van de schans verder geoptimaliseerd kunnen worden

4.4 Circulatie sturen op debiet

Een van de doelstellingen van StArt 2008 was om ethyleengestuurde en debietgestuurde circulatie te testen. De software voor deze toepassingen van de klimaatcomputer is in 2008 niet op tijd geïmplementeerd waardoor dit niet getest kon worden. In StArt 2007 is op bedrijf 5 drukgestuurde circulatie getest en deze sturing bleek het debiet per kist niet constant te houden. Toepassing van de formule "Debiet ↔ Energieverbruik (E)/Druk (P)" op de data van 2007 geeft aan dat het totale debiet *wel* evenredig is met E/P, ook bij een verschillend aantal kisten voor de wand (dus bij verschillende tegendrukken), zie figuur 10.

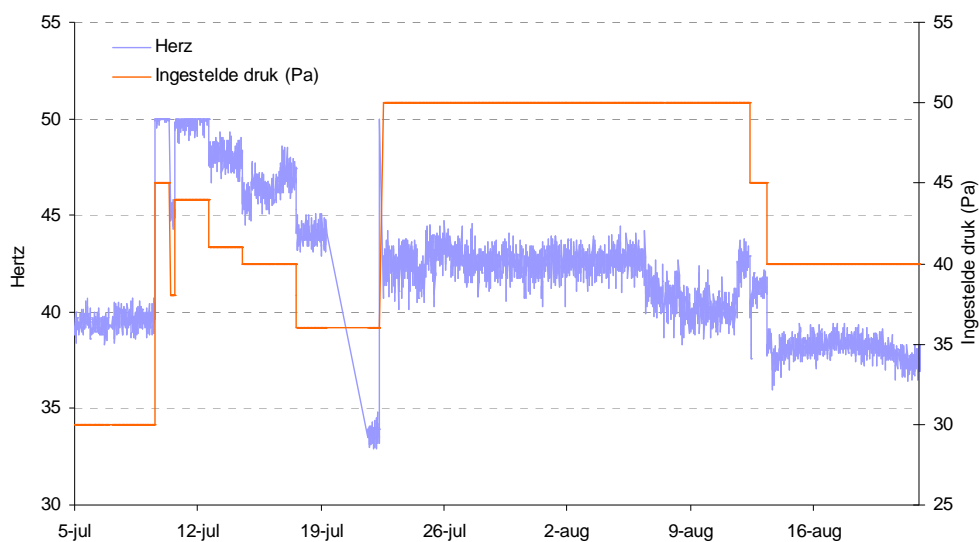


Figuur 10: Verband (E/P) versus Totale debiet

Om hier een regeling uit af te leiden zou wel steeds het aantal kisten dat voor de wand staat in de computer moeten worden ingevoerd.

Debiet-, druk- en energieverbruiksmetingen in andere cellen, maar bij gelijksoortige ventilatoren gaven in 2008 (figuur 10) echter meestal een ander verband te zien. Achtergrond hierbij is dat de drukmeters per systeemwand inmiddels op een andere positie in de wand geplaatst waren en dat ze niet gefixeerd zijn. De druk wordt gemeten via een los naar beneden hangende slang die als gevolg van turbulentie door de ventilator kan gaan bungelen.

De via de drukregeling ingestelde frequentie kon op bedrijf 5 wel via de computer geregistreerd worden, figuur 11. Dit figuur laat ook de ingestelde druk zien waar de frequentie zich op aanpast. In de periode van



Figuur 11: Ingestelde druk en resulterende frequentie-instelling.

10 tot 22 juli is de druk blijkbaar kleiner dan in de periode van 22 juli tot 10 augustus, de verplaatsing van de het drukmeetpunt vond vermoedelijk rond 22 juli plaats. Gedurende de gehele periode fluctueert de ingestelde frequentie continu met 2 – 4 Hz. Mogelijk heeft dit te maken met de los hangende slang waar de druk mee gemeten wordt.

Samenvattend:

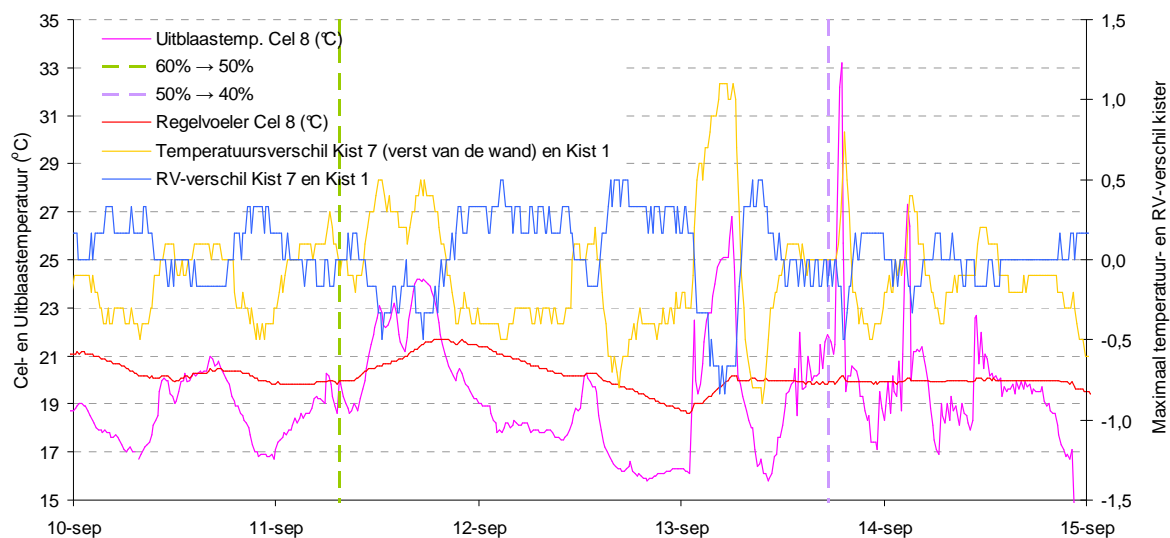
- Sturing van de circulatie op basis van het ethyleensignaal is door gebrek aan software niet gerealiseerd.
- Sturing op basis van debietmeting via de druksensor bleek ook nog niet mogelijk.
- Op bedrijf 5 is wel per 15 minuten de frequentie-instelling van de circulatie-ventilatoren geregistreerd waardoor het energieverbruik heel precies berekend kon worden.

4.5 Metingen tussen de bollen

Op een aantal bedrijven zijn gedurende enkele weken in verschillende kisten tussen de bollen de temperatuur en de RV en/of het ethyleengehalte tussen de bollen gemeten. Hiermee kon worden vastgesteld of er bij terug- of optoeren tussen de kisten verschillen ontstaan in temperatuur, RV of ethyleengehalte.

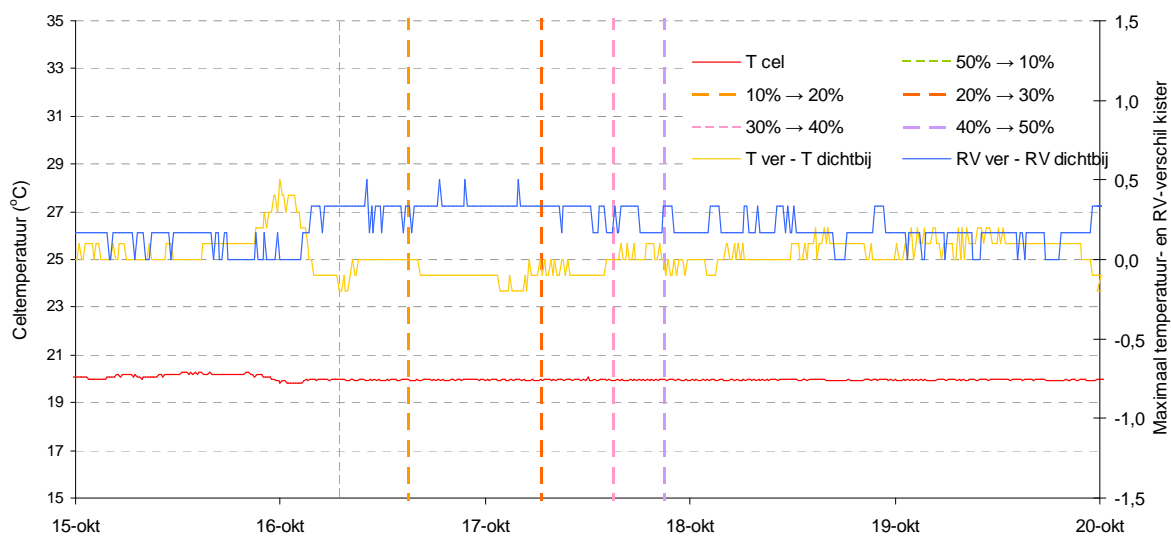
Op bedrijf 3 zijn in de 7 bovenste kisten voor de wand de temperatuur en de RV gelogd. In die periode is een aantal maal terug- en opgetoerd. Figuur 12 laat dit zien van 10 tot 15 september. De celtemperatuur

fluctueert tussen de 19 en 22 °C . Dit is een direct gevolg van het aanslaan van het heaterblok (uitblaastemperatuur). Zodra de uitblaastemperatuur omhoog gaat neemt het verschil tussen de temperatuur in de kist het verst van de wand (die de meeste lucht krijgt) en de kist die tegen de wand aan staat (die de minste lucht krijgt) toe. Dit temperatuursverschil kan tijdelijk oplopen tot ongeveer 1 °C. Het RV-verschil (gedeeld door 3) volgt precies het tegenovergestelde patroon (gaat de temperatuur tussen de bollen iets omhoog, dan gaat daardoor de RV iets omlaag). Het moment van terugtoeren (aangegeven door de verticale stippellijnen) lijkt niets met de temperatuursverschillen tussen de kisten te maken te hebben.



Figuur 12: Effect van terug- en optoeren op temperatuur- en RV-verschillen tussen kisten (Bedrijf 3).

Op bedrijf 4 zijn deze metingen herhaald en voor 15 oktober tot 20 oktober samengevat in figuur 13. De celtemperatuur is vrijwel constant op 20 °C . De uitblaastemperatuur van het heaterblok werd niet geregistreerd. Op 16 oktober is teruggetoerd van 37.5 Hz (50%) naar 27.5 Hz (10%), daarna is op de momenten aangegeven door de verticale stippellijnen weer opgetoerd naar 20%, 30%, 40% en 50%. Het temperatuurverschil tussen de kisten blijft in dat traject tussen de -0.2 en + 0.2 °C en lijkt door optoeren niet te worden beïnvloed.

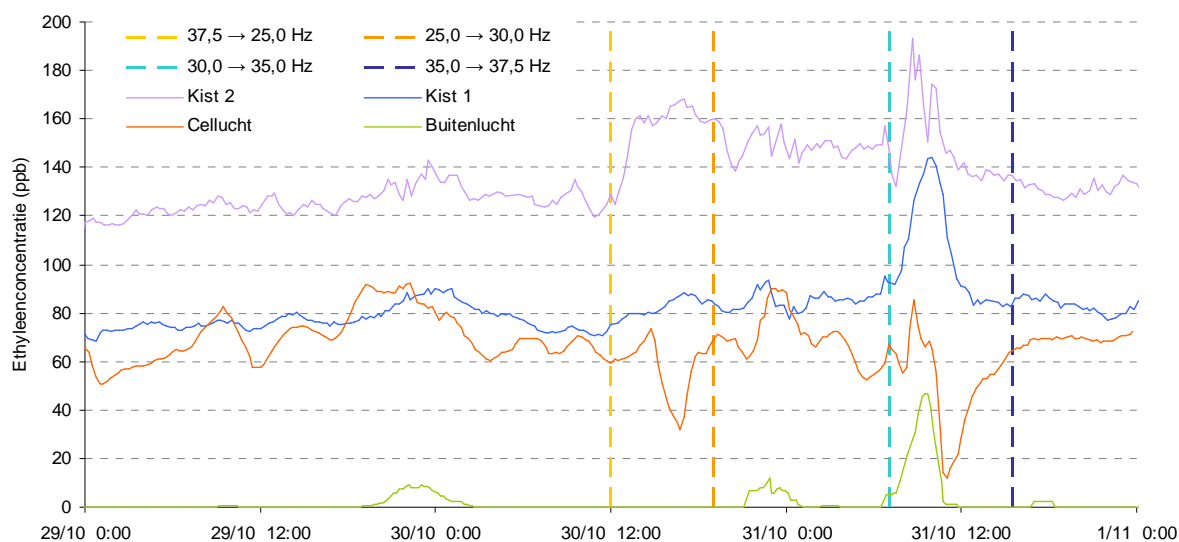


Figuur 13: Effect van terug- en optoeren op temperatuur en RV verschillen tussen kisten (Bedrijf 4).

Op de bedrijven 4, 5, 7 en 8 zijn tussen de bollen in 1 tot 4 kisten de ethyleengehaltes gedurende 3 – 4 weken gemeten om het effect van terugtoeren hierop vast te stellen.

Op bedrijf 4 is ook het ethyleengehalte in een cel waar irisbollen werden bewaard gemeten. Deze bollen produceren geen ethyleen, maar zijn er wel mogelijk gevoelig voor. Het gemeten gehalte is dus feitelijk het ethyleengehalte van de buitenlucht.

In figuur 14 is voor een aantal dagen het resultaat van de metingen samengevat. In kist 1 bleek het ethyleengehalte vrijwel gelijk aan het ethyleengehalte van de cellucht. Na terugtoeren loopt het nauwelijks op t.o.v. de cellucht. In kist 2 ligt het ethyleengehalte flink hoger (60%) dan in de cellucht: ondermeer hieruit valt te berekenen dat het percentage zure bollen is in deze kist fors hoger is dan het celgemiddelde: 10% in de kist, 0,3% in de cel. Dit kan ook betekenen dat het om een cultivar gaat waarvan de zure bollen veel meer ethyleen produceren dan de 0,15 ml per zure bol per dag waarvan in de berekening wordt uitgegaan. Bij terugtoeren van 37,5 naar 25 Hz stijgt in deze kist het ethyleengehalte met 40% naar 160 ppb, terwijl dat op het ethyleengehalte van de cel geen effect heeft. Optoeren doet het ethyleengehalte weer dalen. Het effect van de buitenlucht is in deze figuur goed te zien: kortstondige toename van het ethyleengehalte in de buitenlucht vertaalt zich direct in een toename in de cel en de kisten.



Figuur 14: Ethyleenconcentraties.

Op bedrijf 7 is in 3 kisten het ethyleengehalte gemeten. Hier gaf de ethyleenmeter van de cel een consequent hoger ethyleengehalte dan de 3 meters tussen de bollen. Theoretisch is dat niet mogelijk en de oorzaak is uiteindelijk door EMS achterhaald: de ethyleenmeter had een defect in een pakking waardoor a.h.w. valse lucht werd geanalyseerd. Dit is nu verholpen.

Op bedrijf 5 en 8 gaven de meters volgens verwachting iets hogere ethyleengehaltes in de kisten aan dan in de cellucht. Bij extreem lage ethyleengehaltes van de cellucht (10 – 20 ppb) wordt vml. niet zuiver meer gemeten.

Samenvattend:

- Op beide bedrijven bleek het terugtoeren van 38 naar 29 Hz, resp. van 37,5 naar 27,5 Hz geen effect te hebben op de temperatuurs- en RV-verschillen tussen de kisten. Mogelijk dat bij grotere stappen dit effect wel optreedt.
- Op bedrijf 3 had het aanslaan van het heaterblok wel een traceerbaar effect op temperatuurs- en RV-verschillen tussen kisten.
- Terug- en optoeren van de circulatieventilator binnen de geteste grenzen heeft nauwelijks effect op het ethyleengehalte tussen de bollen indien het percentage zure bollen in de kist laag is.
- Is het percentage zure bollen in de betreffende kist extreem veel hoger, dan neemt het ethyleengehalte van de lucht tussen de bollen bij terugtoeren wel fors toe.

5 Communicatie

De resultaten van het StArt project zijn op verschillende bijeenkomsten, lezingen en open dagen naar buiten gebracht dmv. powerpoint presentaties, posters, handouts en een brochure. Een overzicht is samengevat in tabel 6.

Tabel 6: Overzicht lezingen, bijeenkomsten, opendagen.

Gelegenheid	Spreker(s)	Datum	Plaats	Publiek	Aantal aanwezigen
Lezing	H. Gude	20-3-2008	Smilde	telers	20
Lezing	H. Gude	23-6-2008	Venhuizen	telers	40
Lezing	H. Gude	24-6-2008	Creil	telers	20
Lezing	H. Gude	13-11-2008	Wieringenwerf	Agr. Jongeren	100
Lezing	H. Gude	25-11-2008	Lisse	telers	30
Lezing	H. Gude	3-12-2008	Zwaagdijk	telers	200
Lezing	M. Kok	14-1-2009	Venhuizen	Studieclub	29
Open dag Agrinova (posters)	J Wildschut	23-1-2009	Zwaagdijk	gemengd	veel
Open dag PPO Lisse (posters)	J Wildschut	13-2-2009	Lisse	telers/broeiers	375
Bijeenkomst (posters)	J Wildschut	11-3-2009	Bovenkarspel	deelnemers StArt	10
Open dag (posters)	J Wildschut	13-3-2009	Burgervlotbrug	telers e.a.	175
Lezing	M. Kok	18-3-2009	Hillegom	bedrijfsbezoek firma	11
Lezing	H. Gude	1-4-2009	Lisse	telers e.a.	30

6 Conclusies & Aanbevelingen

Met betrekking tot het energieverbruik kan het volgende geconcludeerd worden:

Bedrijven 1 t/m 3 hebben niet volledig “StArt” bewaard. Bedrijf 1 heeft wel de ventilatie volledig op ethyleen gestuurd, maar de circulatie is permanent op 60 Hz gesteld. Bedrijf 2 en bedrijf 3 hebben de ventilatie niet, resp. slechts een korte periode door de ethyleenanalyser laten sturen, maar hebben wel de circulatie terugtoerd. Met uitzondering daarom van bedrijven 1 t/m 3 (zie 3.2) is door bedrijven 4 t/m 8:

- op gas gemiddeld 62% bespaard, 80% was mogelijk geweest.
- op elektra gemiddeld 49% bespaard, 81% was mogelijk geweest.
- in totaal gemiddeld 54 % op energie bespaard, 80% was mogelijk geweest.
- Indien vergeleken met norm2 (100% klepstand tot 1 september, daarna 60%), is de gerealiseerde besparing nog veel groter.

Belangrijkste achtergronden bij de verschillen in het totale energieverbruik per m³ bollen zijn:

- Bij het gasverbruik: het percentage zure bollen, de ingestelde ethyleengrens, de maximale ventilatiecapaciteit, de minimale “klepstand”, de startdatum en duur van de bewaarperiode, en de ingestelde bewaartemperatuur.
- Bij het elektraverbruik: het opgestelde vermogen van de ventilatoren, het type systeemwand (een éénlaagssysteemwand geeft een hogere luchtopbrengst per watt dan een tweelaagswand en een wand met afgeronde uitblaasopeningen geeft meer lucht dan zonder afgeronde uitblaasopening), het type kisten, het type ventilator, de gemiddelde Hz-instelling en de minimaal mogelijke Hz-instelling.

Bij de afbroei van StArt-bewaarde bollen en bollen die volgens de standaardnorm zijn bewaard, zijn ethyleen gerelateerde verschillen in kwaliteit niet aantoonbaar:

- StArt-bewaarde broeibollen hebben dezelfde kwaliteit als standaard bewaard broeibollen.
- Gevonden verschillen in bv. het aantal kasdagen zijn gerelateerd aan de bewaartemperatuur.

Uit observaties en aan metingen aan het droogproces kan geconcludeerd worden:

- Bij hetzelfde kWh-verbruik droogt de alternatieve kist 1,5 tot 2 keer sneller dan de normale kist.
- Met 3 buizen drogen de bollen sneller dan met 2, maar de kist met 3 buizen is bij het vullen en uitstorten minder praktisch.
- De luchtstroomverdeling tussen de bollen in de kist is nog niet optimaal.
- Bij het drogen van gespoelde tulpenbollen was het debiet per kist bij normale kisten 708 m³/uur, bij kisten met 2 buizen 1223 m³/uur en bij kisten met 3 buizen 1651 m³/uur.

De luchtverdeling over de lagen in een éénlaagssysteem kan worden verbeterd door de bovenste lagen af te dekken en/of door het plaatsen van een schans onderin de systeemwand. In de gemeten systeemwand kan dan, om de minst beluchte kisten net zoveel lucht te geven als vóór de verbeteringen, met 17% worden terugtoerd. Dit kan een energiebesparing van ongeveer 40% opleveren.

Op basis van de constante verhouding tussen het totale debiet van een systeemwand (D) en het quotiënt van het energieverbruik (E) en de druk in de wand (P) ($D \leftrightarrow E/P$) kan een regeling op debiet per kist worden afgeleid. Voorwaarde is wel dat steeds het aantal kisten dat voor de wand staat in de computer moet worden ingevoerd.

Het terugtoeren van 38 naar 29 Hz, en van 37,5 naar 27,5 Hz heeft geen effect op de temperatuurs- en RV-verschillen tussen de kisten. Het aanslaan van het heaterblok had wel een traceerbaar effect op temperatuurs- en RV-verschillen tussen kisten. Mogelijk er dat bij grotere stappen wel effect van terugtoeren optreed.

Terug- en optoeren van de circulatieventilator binnen de geteste grenzen heeft nauwelijks effect op het

ethyleengehalte tussen de bollen indien het percentage zure bollen in de kist laag is. Is het percentage zure bollen in de betreffende kist extreem veel hoger, dan neemt het ethyleengehalte van de lucht tussen de bollen bij terugtoeren wel fors toe.

Aanbevelingen voor StArt 2009:

Het StArt project wordt in 2009 voortgezet met dezelfde demonstratie- en onderzoeksdoelstellingen als in 2008. De deelnemende bedrijven (telers, toeleveringsbedrijven en installateurs) kunnen uit de resultaten van 2008 hun voordeel nemen door bv. (daar waar dat zinvol is) de juiste klepstandkarakteristiek in de klimaatregeling te integreren, eventueel afgeronde uitblaasopeningen te realiseren, etc.

Belangrijkste onderzoeksdoelstellingen liggen op het gebied van computergestuurde circulatie. Hiervoor zijn verschillende alternatieve opties:

- Evenredig aan klepstand (ethyleengestuurd):
De software voor deze regeling met de klimaatcomputer is nu ontwikkeld en toepasbaar. Uitgangspunt is dat eventueel geproduceerde ethyleen door circulatie uit de kist wordt afgevoerd en dat verschillen tussen kisten mbt. ethyleenproductie niet extreem groot zijn. Om een veiligheidsmarge in te bouwen kan een minimum circulatieniveau worden ingesteld, zodat vanaf dit set-point de circulatie evenredig met de klepstand wordt gestuurd. Deze regeling is in theorie onafhankelijk van het aantal kisten voor de wand.
- Op basis van $D=E/P$:
In deze regeling wordt als set-point het gewenste gemiddelde debiet per kist ingesteld, waarna bij verandering van het aantal kisten en/of de kistinhoud (gepelde bollen, andere bolmaat) de circulatie automatisch wordt aangepast, zodat er nooit teveel wordt gecirculeerd.
- Op basis van debiet meter:
Deze regeling is in principe hetzelfde als de vorige, met dat verschil dat het totale circulatiedebiet niet via de druksensor plus de stroommeter wordt bepaald, maar direct door een luchtsnelheidsmeter direct boven de ventilator.

De twee laatste regelingen vereisen wel dat het aantal kisten voor de wand als gegeven in ingevoerd moet worden. Een stap verder is een systeem van automatische detectie van het aantal kisten voor de wand.

Om de effecten van deze regelingen goed te kunnen monitoren moeten in zoveel mogelijk kisten (draadloze) sensoren (T, RV, CO₂) geplaatst worden om te kunnen volgen wat het effect is van terug toeren. In strategisch uitgekozen kisten zou ook het ethyleengehalte gemeten moeten worden.

Daarnaast kan op een aantal bedrijven het effect op de luchtverdeling over de kistenlagen van de nieuwe met CFD-modellen ontworpen schans getest worden. Hoe gelijkmatiger de luchtverdeling, hoe meer er teruggetoerd kan worden. De luchtverdeling in het 2-laagssysteem, en de mogelijkheden deze te verbeteren, zou daarom ook in kaart gebracht moeten worden.

Het testen van een verbeterd ontwerp van de alternatieve palletkist wordt in een apart project getest. Bij deze testen worden (draadloze) debietsensoren ingezet om de luchtverdeling over de kisten, en in de kist, in kaart te brengen.

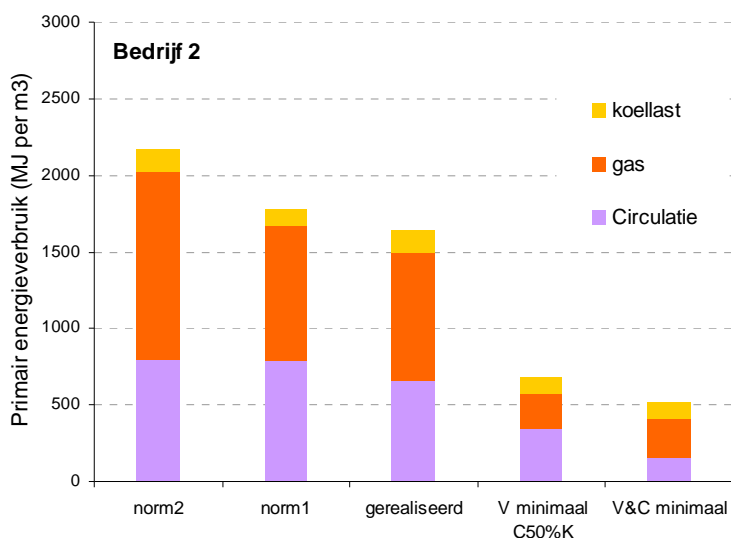
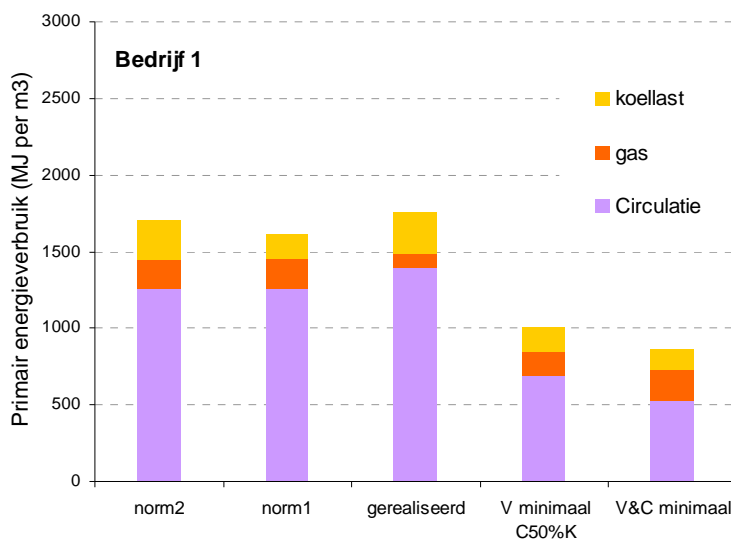
Tegen de lekkage van de kisten zijn er wellicht nog ideeën te ontwikkelen om de palletopeningen beter tegen elkaar te krijgen.

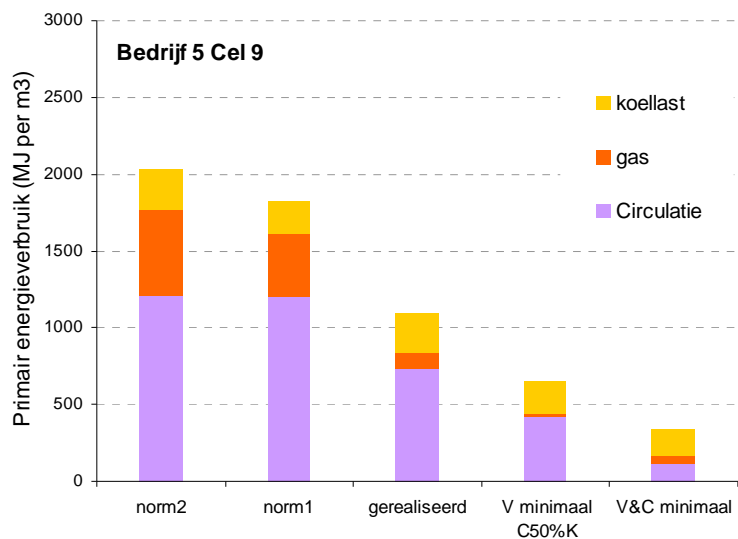
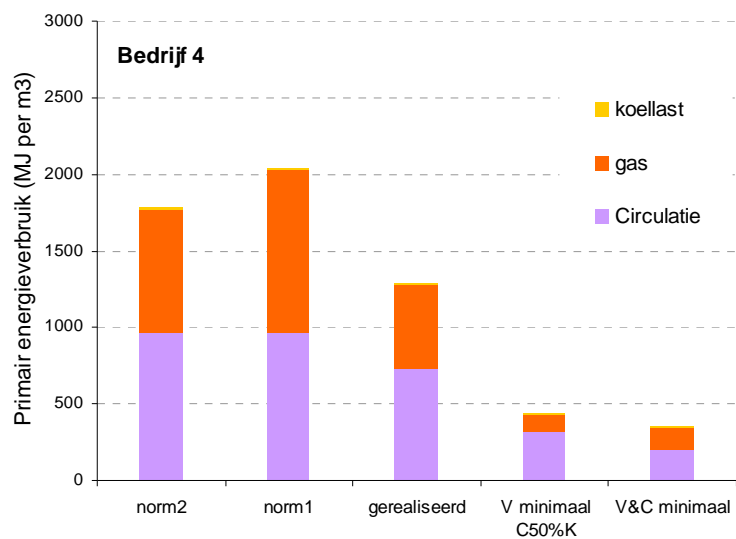
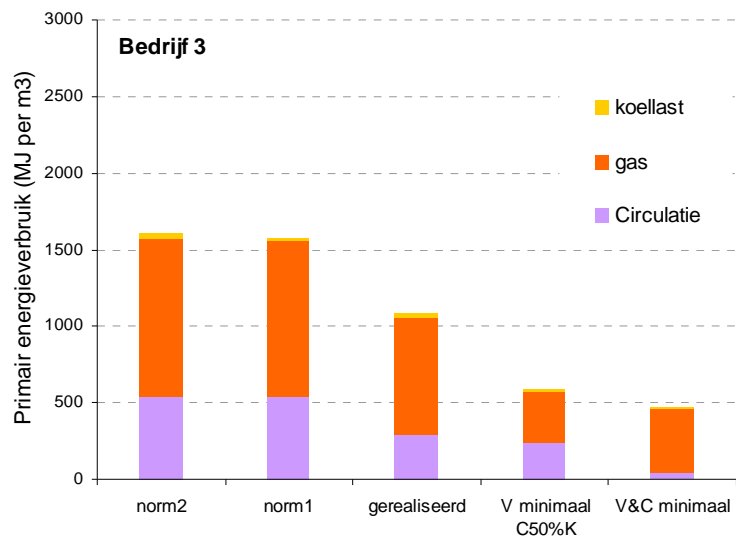
Het op de bedrijven bewaren van bollenmonsters en het opplanten en afbroeien bij PPO wordt herhaald. Mogelijk kan op sommige bedrijven voor en na het bewaren de gehele palletkist met plantgoed worden gewogen om zo de mate van uitdroging te bepalen.

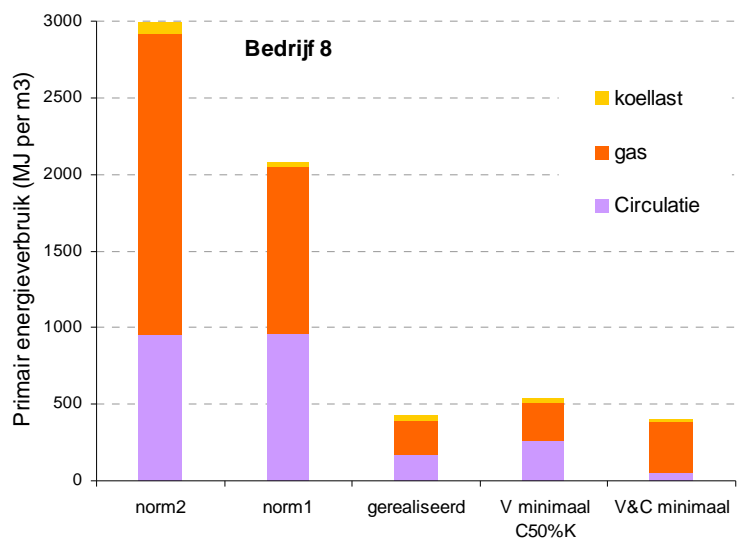
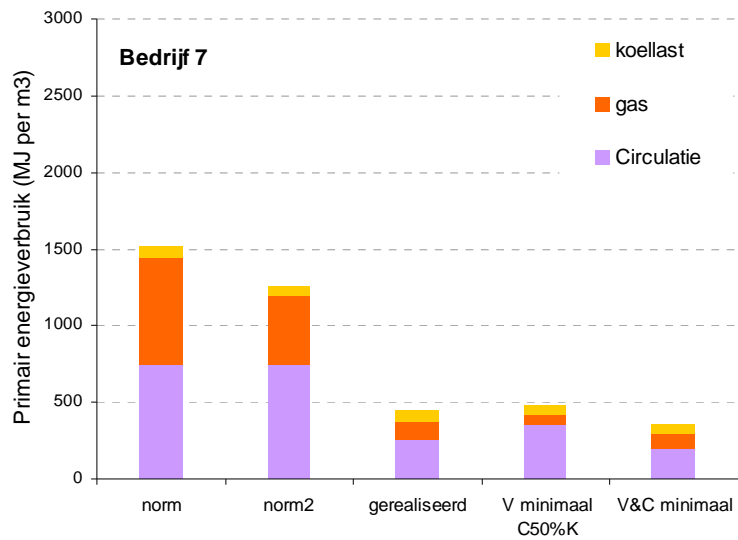
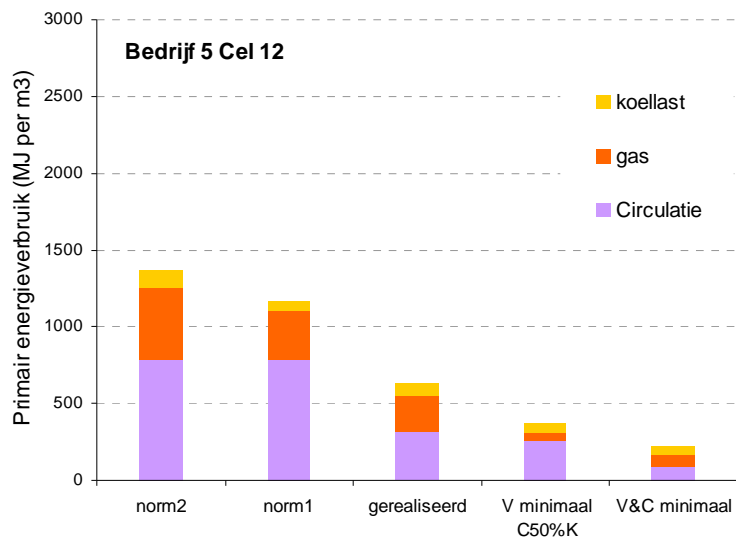
Om meer inzicht in de blootstelling aan ethyleen is het aan ter bevelen om met de mobiele meter te proberen om tijdens de oogst, in een net gevulde palletkist op het veld, al met ethyleenmeten te beginnen.

Bijlage 1: Energieverbruik per m³ bollen volgens 5 verschillende scenario's

Norm2:	Ventileren met 100% klepstand tot 1 september, daarna met 60%. Circuleren met 50 Hz tot 1 september, daarna op 50% lucht met aan/uit.
Norm1:	Ventileren met 100 m ³ lucht/m ³ bollen/uur tot 1 september, daarna met 60 m ³ lucht.
Gerealiseerd:	Het berekende energieverbruik, zie Hoofdstuk 3.
V&C Minimaal:	Bewaren met een op 100 ppb ingestelde ethyleengrens en een minimum klepstand van 15% (m.u.v. bedrijf 3, daar is gerekend met een minimum klepstand van 30%), frequentieregeld circuleren evenredig aan de klepstand, maar met een minimum frequentie van 15 - 20 Hz.
V Minimaal, C 50% K:	Bewaren met een op 100 ppb ingestelde ethyleengrens en een minimum klepstand van 15%, frequentieregeld circuleren voor 50% evenredig aan de klepstand, maar met een minimum frequentie van 15 - 20 Hz.







Tabel: Energieverbruik volgens de norm, gerealiseerd en minimaal mogelijk.

Bedrijf	Volgens norm1			Gerealiseerd				Minimaal mogelijk			
	cel	per kist	per m3/120 dgn	cel	per kist	per m3/120 dgn	bespaard	cel	per kist	per m3/120 dgn	bespaard
Gas (m3)											
Bedrijf 1	1042	5,4	6,7	523	2,7	3,3	50%	1086	5,7	6,9	-4%
Bedrijf 2	8083	24,9	28,5	7747	23,9	27,3	4%	2363	7,3	8,3	71%
Bedrijf 3	3105	23,1	31,3	2498	18,6	25,2	20%	1514	11,3	15,2	51%
Bedrijf 4	4335	30,4	33,4	2222	15,6	17,1	49%	582	4,1	4,5	87%
Bedrijf 5 Cel 9	2524	11,7	10,3	675	3,1	2,8	73%	289	1,3	1,2	89%
Bedrijf 5 Cel 12	1982	9,2	15,0	1325	6,1	10,0	33%	458	2,1	3,5	77%
Bedrijf 7	4906	14,5	22,8	1015	3,0	4,7	79%	785	2,3	3,6	84%
Bedrijf 8	7194	31,2	32,9	1409	6,1	6,4	80%	2156	9,4	9,9	70%
gemiddeld	4146	18,8	22,6	2177	9,9	12,1	49%	1154	5,4	6,6	65%
Bedrijf 4 t/m 8	4188	19,4	22,9	1329	6,8	8,2	63%	854	3,8	4,5	81%
Elektra (kWh)											
Bedrijf 1	30422	158,4	194,4	35575	185,3	227,3	-17%	14315	74,6	91,5	53%
Bedrijf 2	34178	105,5	120,6	28954	89,4	102,2	15%	9352	28,9	33,0	73%
Bedrijf 3	16498	122,8	166,2	9471	70,5	95,4	43%	1625	12,1	16,4	90%
Bedrijf 4	15502	108,6	119,5	11718	82,1	90,4	24%	3354	23,5	25,9	78%
Bedrijf 5 Cel 9	33898	156,9	138,7	23608	109,3	96,6	30%	6960	32,2	28,5	79%
Bedrijf 5 Cel 12	20414	94,5	154,3	9630	44,6	72,8	53%	3318	15,4	25,1	84%
Bedrijf 7	25914	76,6	120,5	10332	30,5	48,1	60%	8188	24,2	38,1	68%
Bedrijf 8	25105	109,0	114,9	5567	24,2	25,5	78%	1794	7,8	8,2	93%
gemiddeld	25242	116,5	141,1	16857	79,5	94,8	36%	6113	27,3	33,3	77%
Bedrijf 4 t/m 8	24167	109,1	129,6	12171	58,1	66,7	49%	4723	20,6	25,1	81%
Totaal energieverbruik (MJ)											
Bedrijf 1	310439	1616,9	1983,6	338576	1763,4	2163,4	-9%	167013	869,9	1067,2	46%
Bedrijf 2	591885	1826,8	2089,0	533040	1645,2	1881,3	10%	167277	516,3	590,4	72%
Bedrijf 3	257686	1917,3	2595,8	173089	1287,9	1743,6	33%	67856	504,9	683,5	74%
Bedrijf 4	291961	2044,5	2251,5	183596	1285,7	1415,8	37%	50642	354,6	390,5	83%
Bedrijf 5 Cel 9	393851	1823,4	1611,3	236227	1093,6	966,5	40%	72811	337,1	297,9	82%
Bedrijf 5 Cel 12	253451	1173,4	1915,7	133268	617,0	1007,3	47%	45970	212,8	347,5	82%
Bedrijf 7	405769	1199,1	1887,1	128676	380,2	598,4	68%	101284	299,3	471,0	75%
Bedrijf 8	478971	2078,9	2191,3	99652	432,5	455,9	79%	91970	399,2	420,8	81%
gemiddeld	373002	1710,0	2065,7	228265	1063,2	1279,0	38%	95603	436,8	533,6	74%
Bedrijf 4 t/m 8	364800	1663,9	1971,4	156283	761,8	888,8	54%	72535	320,6	385,5	80%

