

State-of-the-Art bewaarsysteem tulpenbollen

Resultaten 2010

J. Wildschut, K. van der Putten, M. van Dam (WUR\PP0)
A. Sapounas (WUR Glas)
M. Kok, Th. van der Gulik, G. van Diepen (DLV Plant)

© 2011 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 Meerjarenafspraken energie Bloembollen (KAVB, PT, LNV, Agentschap NL en telers).



Projectnummer: 32 360 690 00

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR

Bloembollen, Boomkwekerij & Fruit

Adres : Prof. Van Slogterenweg 2
: Postbus 85, 2160 AB Lisse
Tel. : 0252 - 462121
Fax : 0252 - 462100
E-mail : info.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

SAMENVATTING.....	5
1 INLEIDING	7
2 WERKWIJZE.....	7
3 ENERGIEVERBRUIK	9
3.1 Besparingen.....	9
3.2 Achtergronden.....	12
4 AANVULLEND ONDERZOEK	16
4.1 Gerooide bollen van in 2009 bewaard plantgoed.....	16
4.2 Broei van in 2010 bewaarde broeibollen.....	17
4.3 Ethyleenmetingen	19
4.4 CFD-modellering	20
4.5 Eén-laagssystemen	26
4.6 Twee-laagssystemen.....	28
4.7 RV- en temperatuurmetingen tussen de bollen.....	33
5 CONCLUSIES & AANBEVELINGEN	35
6 COMMUNICATIE.....	37
BIJLAGE 1: STATE-OF-THE-ART BEWAREN VAN TULPENBOLLEN.....	39
BIJLAGE 2: ENERGIEVERBRUIK PER M ³ BOLLEN.....	41

Samenvatting

Het project State-of-the-Art bewaren van tulpenbollen is in 2007 opgestart om te demonstreren wat er met behoud of verbetering van productkwaliteit, met de huidige stand der techniek aan energiebesparing mogelijk is. En om met aanvullend onderzoek op de deelnemende bloembollenbedrijven in de toekomst nog meer te kunnen besparen.

Voor het 4^{de} jaar op rij is er door de nu 10 deelnemers fors bespaard op energie: gemiddeld 30% op gas en 44% op elektra. Op het bedrijf dat het meest op gas bespaarde was dat zelfs 72% en op het bedrijf dat het meest op elektra bespaarde was dat 80%.

Volgens de gegevens uit de klimaatcomputers hadden de gemiddelde besparingen nog veel groter kunnen zijn: 70% op gas en 79% op elektra.

Achtergronden bij de verschillen tussen de bedrijven in het gasverbruik per m³ bollen zijn o.a. de forse besparing op gas door een zonedak en de door de bedrijven verschillend ingestelde ethyleengrenzen: sommige bedrijven stellen op sommige momenten van de bewaarperiode ethyleengrenzen lager dan 80 ppb in waardoor overmatig geventileerd en dus ook overbodig gas wordt verbruikt. Op gas had meer bespaard kunnen worden door de ethyleengrens continue op de veilige grens van 100 ppb in te stellen.

Achtergronden bij het gerealiseerde elektraverbruik zijn o.a. verschillen in bewaarsysteem en bewaarwanden: éénlaags bewaarsystemen geven een hogere luchtopbrengst dan tweelaagssystemen, en met afgeronde uitblaasopeningen geeft een wand een hogere luchtopbrengst dan met rechte openingen. De belangrijkste achtergrond bij het elektraverbruik is echter de gemiddelde ingestelde frequentie van de frequentieregelaar: door het derdemachts verband tussen toerental en energieverbruik wordt bijvoorbeeld bij een gemiddelde instelling van 40 Hz ipv. 50 Hz al bijna 50% op elektra bespaard.

De kwaliteit van bewaard plantgoed en van leverbaar wordt behouden of zelfs verbeterd: teveel uitdroging als gevolg van teveel ventilatie en circulatie leidt tot meer uitval in de teelt en tot een kortere poot in de broei.

De in 2010 geogoste bollen van in 2009 bewaarde en geplante plantgoedmonsters lieten zien dat de verklijstering bij alle monsters laag was en op geen enkele manier gerelateerd aan blootstelling aan ethyleen. De bewaarde monsters zijn wel meer uitgedroogd wanneer de gemiddelde ventilatie hoger is en hierdoor is de uitval op het veld hoger: per geplante bol worden minder bollen \geq maat 10 geogost.

De uitdroging van de bewaarde bollen (plantgoed en leverbaar) was in 2010 minder dan in 2009.

Achtergrond hierbij is een kleiner vochtdeficit van de (opgewarmde) buitenlucht in 2010.

Plantgoed droogt sterker uit dan leverbaar.

Net als in 2009 gaven sterker uitgedroogde broeibollen bij de broei een iets kortere poot, maar bleef het plantgewicht gelijk. De gebroeide bollen gaven zonder uitzondering goede kwaliteit tulpen.

CFD-berekeningen aan één-laagssystemen laten zien dat bij ondiepe wanden (tot 1,20 m) met zg. scheppen (pg. 20) de luchtverdeling gelijkmatiger wordt en de luchtopbrengst (m³/watt) hoger dan bij ondiepe wanden met een interne schuine plaat en een schans (pg. 20).

Berekeningen met bolmaat 6 vergeleken met bolmaat 12 laten zien dat het optimale ontwerp van een wand met scheppen voor plantgoed er anders uitziet dan het optimale ontwerp voor leverbaar.

Onderzoek aan de bewaarwanden laat zien dat de luchtverdeling over de kistenstapelings zowel bij één-laags als bij twee-laagssystemen met eenvoudige aanpassingen flink verbeterd kan worden waardoor bij de circulatie het energieverbruik nog eens gehalveerd kan worden. Met schansen, scheppen en driehoekige latten in de uitblaasopeningen kan bij elke éénlaags bewaarwand de luchtverdeling over de lagen nagenoeg gelijk worden gemaakt. Ook de luchtstroom in tweelaags bewaarwanden kan hiermee, in combinatie met het voor het grootste deel met platen afdekken van de bovenste kisten, fors worden verbeterd. Voor plantgoed (of voor kleine bollen) en voor leverbaar (of grote bollen) moeten echter verschillende bewaarwanden gemaakt worden: de optimale bewaarwand is maatwerk.

Bij het doormeten van 2-laagssystemen speelt lekkage door spleten en kieren een belangrijke rol. Door het debiet per kist van de bovenste laag te meten kan de totale lekkage van de stapeling bepaald worden. Bij netjes gestapelde nieuwe kisten bleek dat ongeveer 10-12%. Bij slecht gestapelde, uitgebogen oude kisten van iets afwijkend formaat, op een ongelijkmatige vloer kan lekkage meer dan 50% zijn.

RV- en temperatuurmetingen tussen de bollen in ongeveer 10 kisten in een stapeling tijdens de bewaring lieten zien dat tijdens de twee perioden van 4-5 weken het maximale temperatuursverschil tussen kisten gemiddeld niet groter was dan 0,15 – 0,20 °C, en het gemiddelde maximale verschil in RV niet groter dan 2,2 – 2,6 %. Deze verschillen zijn niet gerelateerd aan de positie van de kist noch aan debiet. Ook op momenten waarop kortstondig werd op- of teruggetoerd kon op deze maximale verschillen tussen kisten geen effect worden waargenomen: Het debiet van de minst beluchte kisten in de stapeling is nog ruim voldoende om afwijkingen van de gemiddelde temperatuur en/of RV te voorkomen.

Telkens weer blijkt hoe gevarieerd het op kuubskisten gebaseerde droog & bewaarsysteem is: elk systeem is anders. Maar in elk systeem valt op vaak eenvoudige wijze de luchtstroomverdeling flink te verbeteren. Voorgesteld wordt daarom om in 2011 weer een aantal nieuwe deelnemers bij het project te betrekken. Dit vergroot ook de bekendheid van de sector met de resultaten van het project en bevordert de uitstraling naar andere bedrijven in de sector.

1 Inleiding

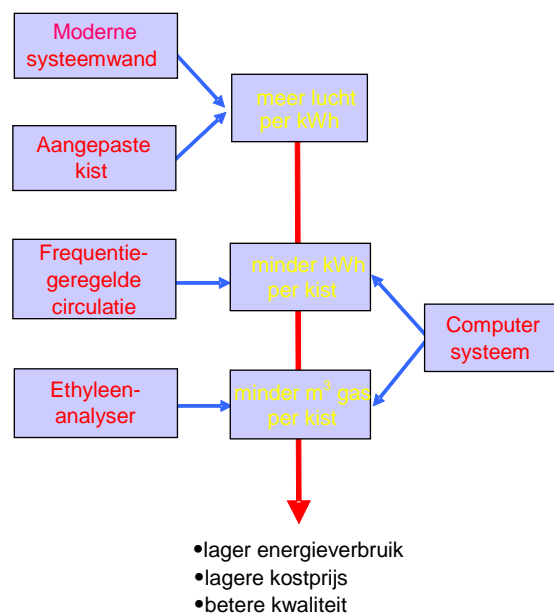
Het meerjarenproject “State-of-the-Art bewaren van tulpenbollen” is door PPO-Bloembollen in 2007 opgestart in samenwerking met 4 bloembollenbedrijven, DLV-Plant, Sercom Regeltechniek B.V., Omnivent, Omnihout, Hatech, EMS en de installateursbedrijven Polytechniek, Installatiebureau Eval en Kaandorp-Wijnker. 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. In 2009 is met dit laatste bedrijf het project “Verbeterde Kuubskist” gestart en is het State-of-the-Art project uitgebreid met Bloembollenkwekerij Kreuk. Dit bedrijf past behalve ethyleenanalysers, frequentieregelaars, moderne systeemwanden en een klimaatcomputer ook een zonnedak toe. In 2010 deden twee nieuwe bloembollenbedrijven mee, G. Oud & Zn Tulips en Pronk Tulpen BV, en is ook samengewerkt met Agratechniek B.V..

Het principe van State-of-the-Art bewaren van tulpenbollen is samengevat in bijstaand schema. Energiebesparingstechnieken worden hierin gecombineerd toegepast. Voor meer details, zie Bijlage 1.

Doel van het project is tweeledig:

Spoor 1) demonstreren wat er met behoud of verbetering van de productkwaliteit met de huidige stand der techniek aan energiebesparing in de bewaring bij tulp mogelijk is.

Spoor 2) aanvullend onderzoek & ontwikkeling om hierbij in de toekomst nog meer energie te kunnen besparen.



2 Werkwijze

Om de energiebesparingen te demonstreren zijn op de 10 deelnemende bedrijven aan het eind van het bewaarperiode de klimaatcomputers uitgelezen. Hiermee is o.a. het gerealiseerde energieverbruik per cel bepaald volgens de methode beschreven in het rapport “State-of-the-Art bewaarstelsysteem tulpenbollen, 2007”, kort samengevat in box1. Bij de nieuwe deelnemers is op het bedrijf voor de betreffende bewaarcellen de klepstandkarakteristiek vastgesteld (verband tussen het gemeten ventilatiedebiet en de klepstand). Voor de overige bedrijven waren deze gegevens al in voorgaande jaren bepaald.

Om het effect van het State-of-the-Art bewaren op de kwaliteit van de bollen te demonstreren zijn in 2010 op 8 van de deelnemende bedrijven, *plus* op 3 andere bedrijven die volgens de standaardmethode bewaren, van één partij bollen monsters plantgoed en broeibollen bewaard, 4 zakjes per bedrijf met 250 resp. 100 bollen. Op de eerste en de laatste dag van de bewaarperiode is het gewicht van de zakjes met bollen bepaald en zijn de bollen vervolgens bij PPO in Lisse op het veld opgeplant resp. na de koude bewaring gebroeid. In februari 2011 zijn de gebroeide tulpen geoogst, waarbij o.a. plantlengte en plantgewicht zijn bepaald.

De in 2009 op 7 bedrijven bewaarde en bij PPO in Lisse opgeplante monsters plantgoed (cultivar Cheirosa) zijn in juli 2010 gerooid, gepeld en gesorteerd, waarna o.a. de mate van verklistering is bepaald.

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

Op enkele bedrijven is met een losse ethyleenanalyser het ethyleengehalte gemeten in het luchtaanvoerkanaal voor de celventilatie.

Met CFD-modellen is voor een ondiepe éénlaagssysteemwand (1.20 m) met een interne schuine wand de optimale positie van de schans berekend.

Voor de ondiepe systeemwand is ook de optimale positie van scheppen in de bovenste uitblaasopeningen berekend.

Vervolgens is op een bedrijf mbv. luchtsnelheidsmetingen een 6 hoog éénlaagssysteem met scheppen doorgemeten en aangepast.

Op een aantal bedrijven is de luchtverdeling van éénlaags- en tweelaagssystemen onder verschillende omstandigheden doorgemeten en zijn mogelijke verbeteringen getest.

Op twee bedrijven zijn ook de temperatuur en de RV tussen de bollen gedurende enkele weken in 10 - 15 kisten gemeten om na te gaan of ook bij lage circulatiedebieten temperatuur- en RV-verschillen tussen kisten minimaal blijven.

Door middel van open dagen, lezingen voor o.a. studie clubs en artikelen in vakbladen zijn de resultaten van dit project aan de sector gepresenteerd.

Box 1: Korte samenvatting berekening energieverbruik: 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. 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.

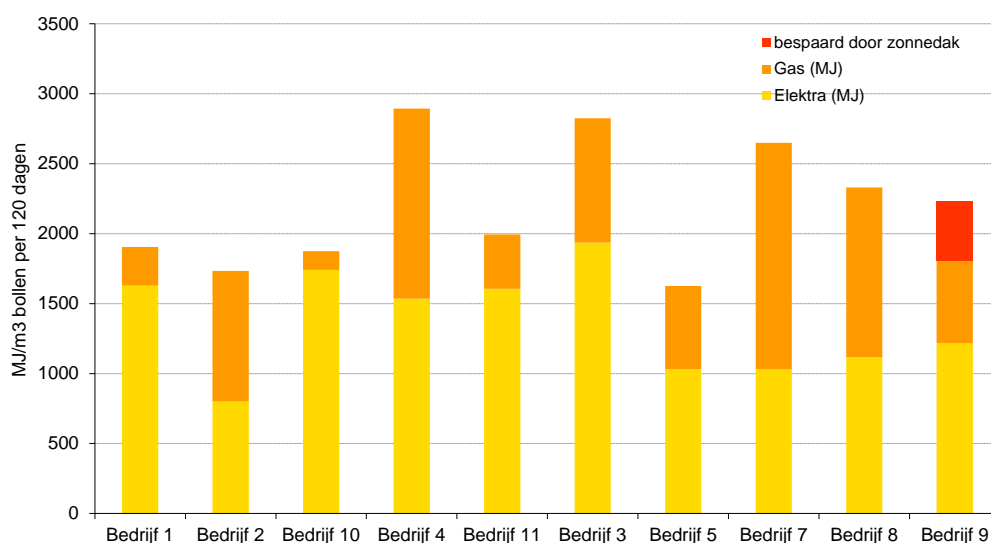
Het totale energieverbruik in de cel is dan het gasverbruik dat nodig is voor de netto warmtebehoefte (gerekend met een rendement van 90%), plus het elektraverbruik van de circulatieventilatoren. Met de beschreven methode is het gerealiseerde energieverbruik per cel berekend op basis van de gegevens uit de klimaatcomputer die elke 15 minuten worden geregistreerd. Hiermee kan ook het energieverbruik bij andere bewaarregimes/scenario's worden berekend.

3 Energieverbruik

3.1 Besparingen

De energiebesparingen worden berekend uit het verschil tussen het gerealiseerde energieverbruik en het energieverbruik bij bewaring volgens de norm (dat is: ventileren met 100 m³ lucht/m³ bollen/uur tot 1 september, daarna met 60 m³, en circuleren met 50 Hz tot 1 september, daarna op 50% lucht met de aan/uit regeling). Het gasverbruik bij bewaring volgens de norm verschilt per bedrijf, omdat elk bedrijf andere celtemperaturen hanteert, de temperatuur van de buitenlucht anders is en de beschouwde bewaarperiode anders is (startdatum en duur). Hierdoor verschilt de gemiddelde ΔT . Om het energieverbruik op de bedrijven onderling beter vergelijkbaar te maken is het energieverbruik omgerekend naar een bewaarperiode van 120 dagen. In Bijlage 2 is het energieverbruik volgens verschillende scenario's samengevat.

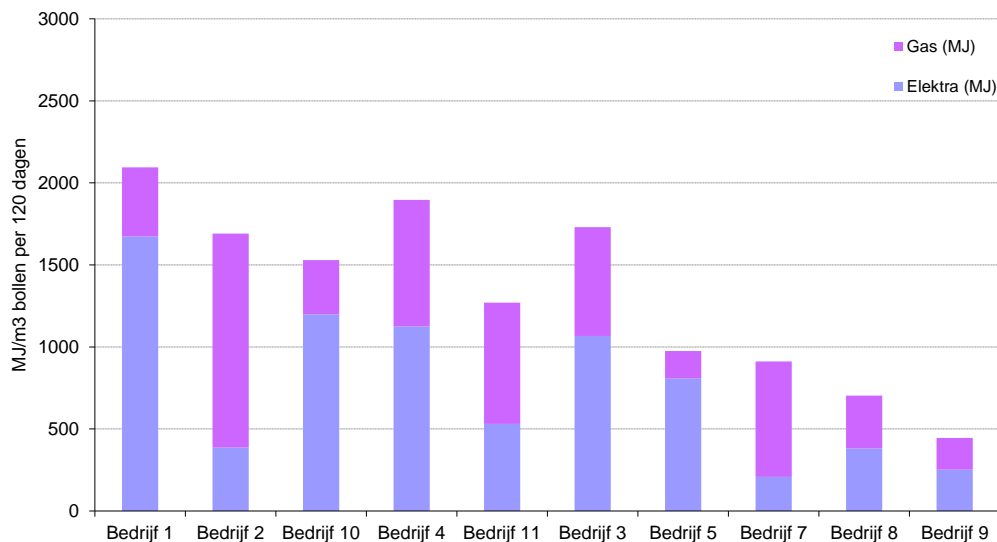
Het energieverbruik per m³ bollen per 120 dagen, indien volgens de norm zou zijn bewaard (=A), is voor de verschillende bedrijven uitgezet in figuur 1.



Figuur 1: Energieverbruik volgens de norm (A).

Het gasverbruik voor verwarming bij bewaring volgens de norm is het laagst op de Bedrijven 10, 1 en 11. Achtergrond hierbij is dat bij Bedrijf 10 de beschouwde bewaarperiode liep van 16 juli t/m 27 augustus waarin de gemiddelde ΔT slechts 1,3 °C was. Ook bij de Bedrijven 1 en 11 lag ΔT onder het gemiddelde maar minstens zo belangrijk is dat het per m³ bollen geïnstalleerde vermogen van de circulatieventilatoren erg hoog is (op beide bedrijven 73 watt per m³ bollen). De warmteproductie van deze ventilatoren wordt verrekend met de warmtebehoefte in de bewaarcel. Een hoog gasverbruik volgens de norm is gerelateerd aan een hoge gemiddelde ΔT : Bedrijven 2, 4, 7 en 8. Zie de tabellen 1 en 2 in § 3.2 "Achtergronden". Voor Bedrijf 9 is het deel van de warmtebehoefte dat door het zonnedak wordt geleverd apart aangegeven.

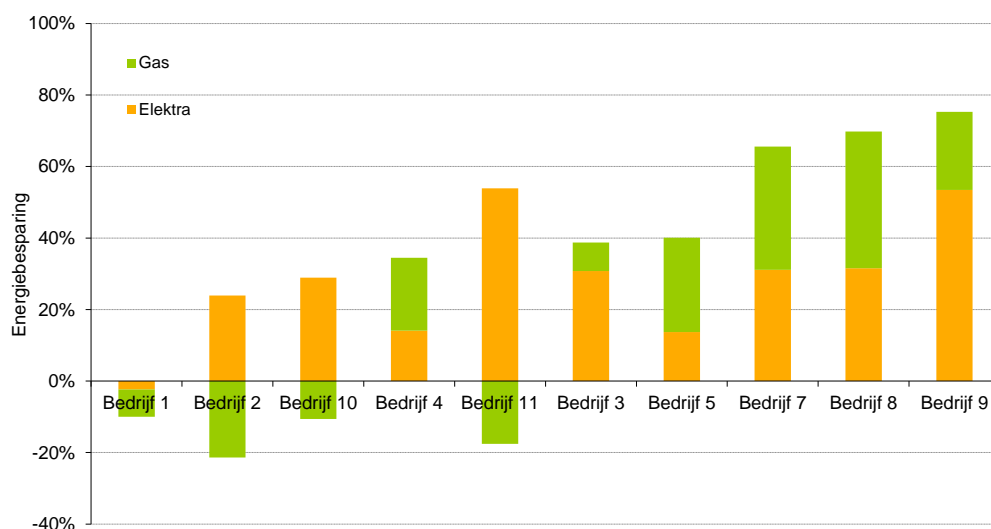
Het door de bedrijven gerealiseerde energieverbruik (=B) is samengevat in figuur 2.



Figuur 2: Gerealiseerd energieverbruik (B).

Het gerealiseerde gasverbruik wordt bepaald door ΔT en de ventilatiehoeveelheid. Bij een hoge ΔT gecombineerd met een grote ventilatiehoeveelheid is het gasverbruik hoog, bij een lage ΔT en een lage ventilatiehoeveelheid is het gasverbruik laag. In de loop van het bewaarstizoen veranderen ΔT en de ventilatiehoeveelheid. De ventilatiehoeveelheid wordt bepaald door de klepstand en het maximale ventilatiedebiet. De klepstand wordt bepaald door de ethyleenproductie en de instellingen van de klimaatcomputer: de ethyleengrens, de minimum klepstand en de maximum klepstand. Deze instellingen worden meestal tijdens het bewaarstizoen aangepast. De ethyleenproductie wordt o.a. bepaald door het aantal zure bollen in de cel en de ethyleenproductie per zure bol. Dit laatste kan per cultivar sterk uiteenlopen.

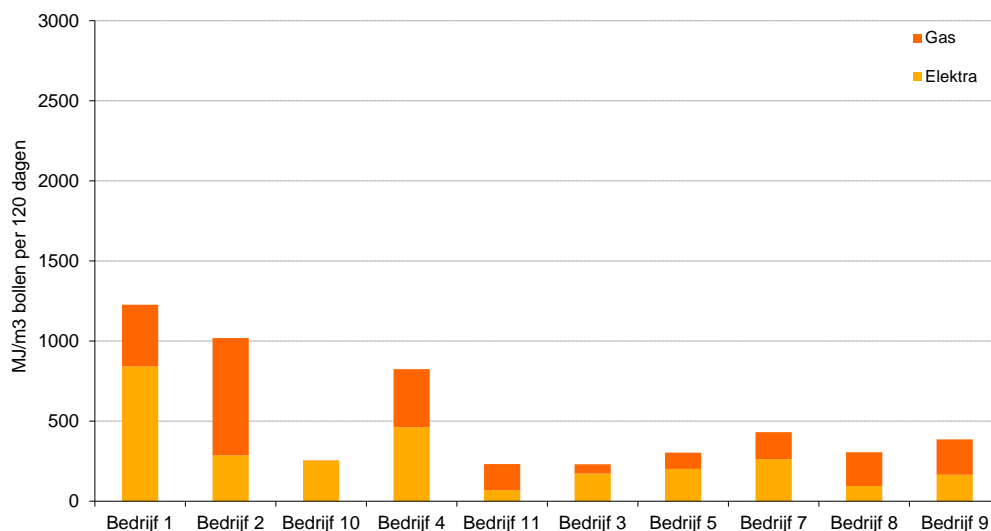
In figuur 3 is de energiebesparing t.o.v. het energieverbruik bij bewaren volgens de norm samengevat, berekend als $(A-B)/A$.



Figuur 3: Energiebesparing t.o.v. de norm ((A-B)/A).

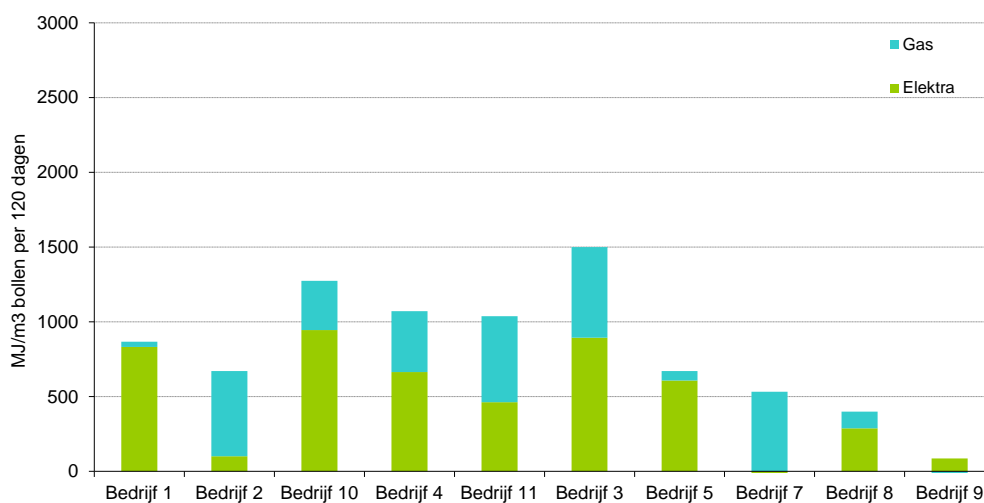
Bedrijf 1 heeft meer energie (zowel gas als elektra) verbruikt dan volgens de norm. Bedrijf 2 bespaarde netto 3% op het totale energieverbruik, maar verbruikte net als de bedrijven 10 en 11 wel meer gas dan volgens de norm. Deze laatste twee bedrijven bespaarden netto resp. 18% en 36%. Het meest is door Bedrijven 7, 8 en 9 (netto 66 – 75%) bespaard.

Het berekende laagst mogelijke gasverbruik voor ventilatie (bij een minimum klepstand van 15%) en het laagst mogelijke elektraverbruik voor circulatie (bij een minimum frequentie-instelling van 10 – 25 Hz) is samengevat in figuur 4. Het laagst mogelijke totale energieverbruik is lager naarmate de ethyleenproductie lager is. Hierbij wordt geredeneerd dat behalve de ventilatie ook de circulatie dan verminderd kan worden.



Figuur 4: Laagst mogelijke energieverbruik (D).

Het verschil tussen het gerealiseerde energieverbruik en het laagst mogelijke energieverbruik geeft aan wat er nog meer aan energiebesparing mogelijk was, figuur 5. Bedrijf 1, 10 en 3 hadden nog fors meer kunnen besparen, vooral op elektra. Bedrijf 2, 7 en 9 kunnen op elektra nauwelijks of niet meer besparen. Bedrijf 1, 9, 8 en 5 kunnen nauwelijks of niet meer op gas besparen, bedrijf 2, 3 en 11 nog wel.



Figuur 5: Wat nog meer bespaard had kunnen worden (B - D).

3.2 Achtergronden

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

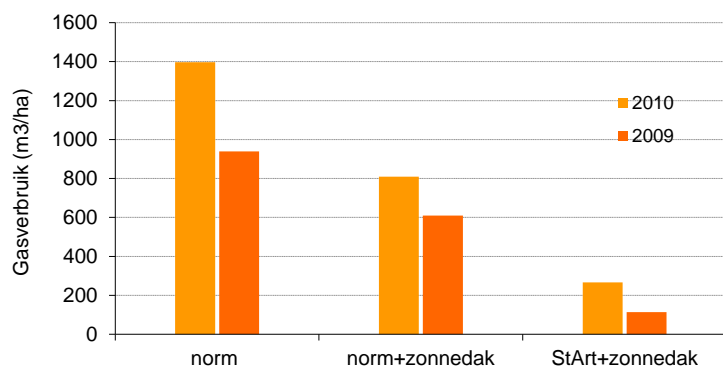
Tabel 1: Bedrijfsgegevens Ventilatie.

	Bedrijf 1	Bedrijf 2	Bedrijf 3	Bedrijf 4	Bedrijf 5	Bedrijf 7	Bedrijf 8	Bedrijf 9	Bedrijf 10	Bedrijf 11
max m3 bollen/cel	192	360	134	143	216	346	230	106	230	150
m3/uur	19000	40000	13500	12000	26000	37000	30000	23600	26000	29000
max m3 lucht/m3 bollen	99	111	100	84	120	107	130	222	132	193
gemiddeld m3 lucht/m3 bollen	79	81	60	56	53	41	26	33	95	89
Tcel	20,4	19,8	21,3	24,6	19,8	24,0	22,1	21,0	20,1	21,8
Tbuiten**	16,5	14,0	15,9	18,7	14,5	16,1	15,5	17,2	18,8	17,9
ΔT	3,8	5,9	5,4	6,0	5,3	7,9	6,6	3,8	1,3	3,9
Bewaarperiode										
start	5-jul	26-jul	9-jul	28-jun	24-jul	12-jun	2-jul	1-jul	16-jul	16-jul
einde	30-okt	17-nov	23-okt	17-sep	17-nov	18-okt	28-okt	3-nov	27-aug	22-okt
periode	117	114	106	81	116	128	119	126	42	98
dagen met data	99	101	94	71	112	100	113	116	39	97
Gemiddelde klepstand (%)	79	73	60	67	44	38	20	15	72	46
minimum klepstand 1ste 6 wk	?	25%	60%	25%	15%	?	?	10%	25%	50%
maximum klepstand 1ste 6 wk	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
minimum klepstand laatste 6 wk	?	50%	0%	50%	15%	0%	10%	5%	-	40%
maximum klepstand laatste 6 wk	65%	100%	75%	100%	35%	30%	100%	100%	-	75%
Gemiddeld ethyleen (ppb)	95	41	12	49	39	19	33	16	14	9
gemiddelde ethyleengrens (ppb)	150	98	75	100	60	*	100	60	100	50
dagen gestuurd op ethyleen	99	98	65	45	112	*	113	116	39	92
idem in % van de bewaarperiode	100%	97%	68%	64%	100%	*	100%	100%	100%	95%
berekend % zuur	4,1	1,8	0,3	1,6	1,3	0,2	0,5	0,3	0,7	0,5
Ethyleenblootstelling (dagen)										
> 100 ppb	47,8	0,5	0,1	9,2	0,1	6,7	1,9	0,3	0,1	0,1
> 200 ppb	2,0	0,0	0,0	0,3	0,0	4,3	0,3	0,0	0,0	0,0

* niet geregistreerd door de klimaatcomputer

** Bedrijf 9; De aangegeven temperatuur is die van de door het zonnedak opgewarmde lucht, de werkelijke buitentemperatuur is gemiddeld 15,3 °C, ΔT = 5,7.

Gemiddeld is er door de Bedrijven 1, 2, 10 en 11 het meest geventileerd, en het minst door Bedrijven 7, 8 en 9. Dit laatste bedrijf heeft een zg. zonnedak, dat de ventilatielucht voorverwarmd (ΔT bijna 2 °C lager) waardoor het gasverbruik fors vermindert, figuur 6.

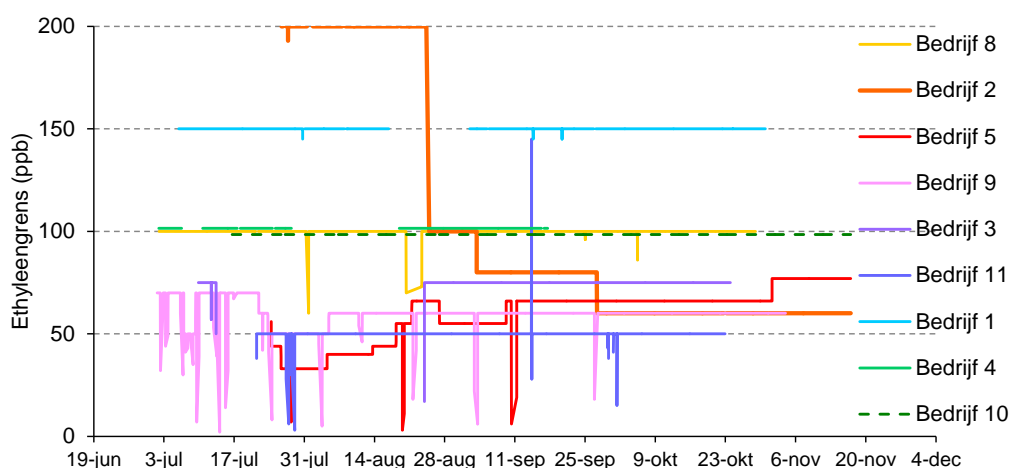


Figuur 6: Gasverbruik State-of-the-Art + Zonnedak, Bedrijf 9.

Bedrijf 1 had het hoogste berekende percentage zure bollen (4,1%), Bedrijf 7 het laagste (0.2%). Het gemiddelde ethyleengehalte varieerde van slechts 9 ppb op bedrijf 11 tot 95 ppb op bedrijf 1. De

blootstelling aan ethyleenconcentraties boven de 100 ppb was op dat bedrijf in totaal 47,8 dagen (maar slechts 2,0 dagen boven de 200 ppb). Op alle andere bedrijven was de blootstelling aan 100 ppb minder dan 2 dagen. Het extreem lage ethyleengehalte op bedrijf 11 heeft als achtergrond een combinatie van een zeer laag percentage zuur (0.5%) en een zeer laag ingestelde ethyleengrens (gemiddeld 50 ppb) waardoor overmatig geventileerd wordt (gemiddeld 89 m³/uur over de gehele bewaarperiode).

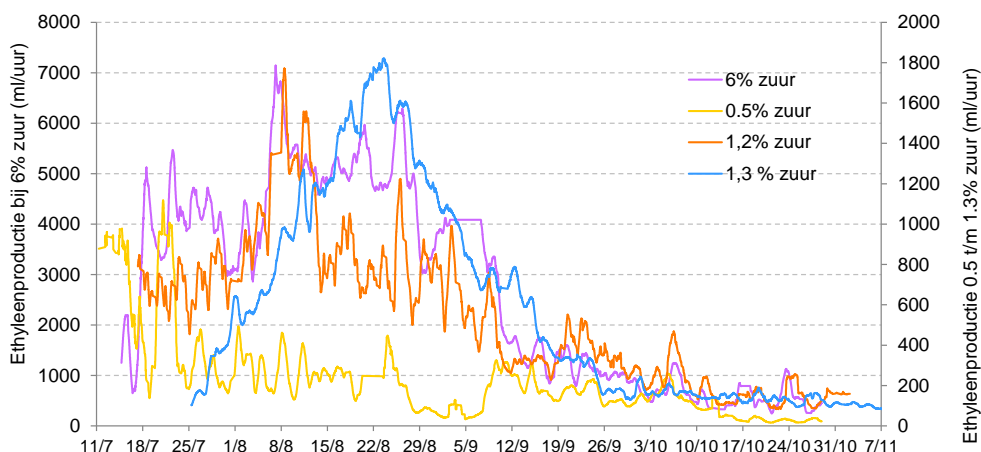
Voor zover uit de gegevens uit de klimaatcomputer viel op te maken werd de ventilatie door de Bedrijven 1, 2, 5 en 8 t/m 11 voor meer dan 95% van de duur van de bewaarperiode ethyleengestuurd. De ethyleengrenzen varieerden gemiddeld van 50 ppb tot 150 ppb. Gedurende de bewaarperiode werden de ethyleengrenzen flink aangepast, figuur 7.



Figuur 7: Ingestelde ethyleengrenzen.

De figuur laat zien dat er tussen de bedrijven grote verschillen zijn in het instellen van de ethyleengrenzen. Bedrijf 1 stelt vrijwel continue op 150 ppb in, Bedrijf 2 begint met een instelling op 200 ppb waarna geleidelijk lager ingesteld wordt tot op 60 ppb aan het eind van het bewaarseizoen. Bedrijf 4, 8 en 10 stellen de grens vrijwel continue op 100, de overige bedrijven kiezen voor instellingen van 40 tot 60 ppb in het begin van het bewaarseizoen oplopend naar 50 tot 80 ppb aan het eind van het bewaarseizoen. Op Bedrijf 7 werd de ethyleengrens niet door de klimaatcomputer geregistreerd.

In de loop van het bewaarseizoen neemt de ethyleenproductie af, figuur 8. Dit betekent niet dat daarom de ethyleengrenzen moet worden bijgesteld, immers het principe van ethyleengestuurde ventilatie is dat de ventilatie zich aanpast aan de ethyleenproductie zodat het ethyleengehalte onder een ingestelde waarde



Figuur 8: Ethyleenproductie gedurende het bewaarseizoen.

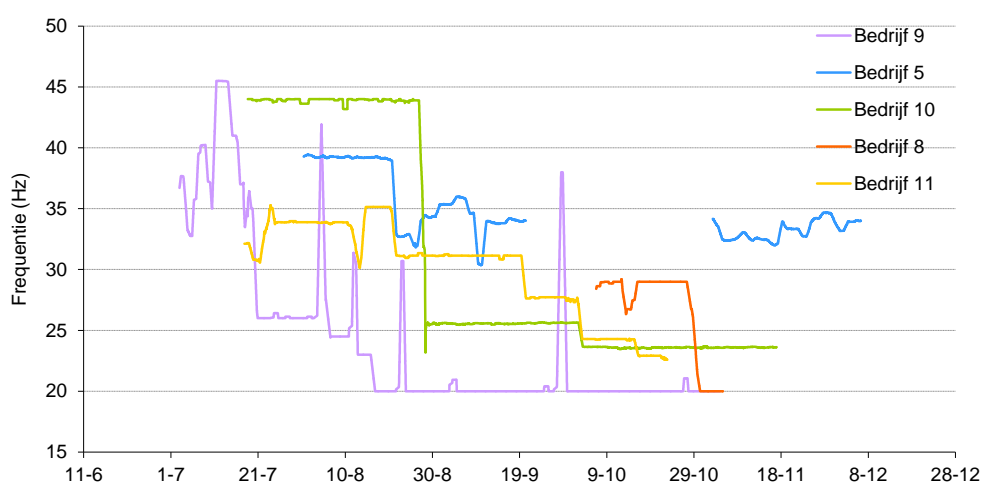
blijft. Daarnaast wordt het bewaarklimaat via ventilatie gereguleerd door de ingestelde bewaartemperatuur en de ingestelde maximale luchtvochtigheid.

Achtergronden bij het elektraverbruik zijn samengevat in tabel 2. Het elektraverbruik voor de circulatie volgens de norm (in kWh/m³ bollen) wordt in de eerste plaats bepaald door het geïnstalleerde vermogen van de ventilatoren. Bedrijven 1, 3 en 11 hebben het grootste geïnstalleerde vermogen per m³ bollen. Achtergrond hierbij voor Bedrijf 1 zijn de vanwege geluidseisen geïnstalleerde centrifugaal ventilatoren, bij Bedrijf 3 en 11 het geringe aantal kisten per ventilator (resp. 28 en 25). Bedrijf 2 heeft het laagste geïnstalleerde vermogen per m³ bollen omdat het aantal kisten per ventilator het hoogst is (6 hoog x 10 diep = 60).

Tabel 2: Bedrijfsgegevens Circulatie.

	Bedrijf 1	Bedrijf 2	Bedrijf 3	Bedrijf 4	Bedrijf 5	Bedrijf 7	Bedrijf 8	Bedrijf 9	Bedrijf 10	Bedrijf 11
lagen bewaarsysteem	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
Kistenstapelning										
hoogte	5	6	4	4	5	6	6	4	6	5
diepte	8	10	7	7	9	8	8	7	8	5
rijen	4	5	4	6	4	6	4	4	4	5
ronde uitblaas	ja	ja	nee	nee	ja	nee	ja	ja	ja	nee
m ³ bollen/kist	1,20	1,20	1,20	0,85	1,20	1,20	1,20	1,00	1,20	1,20
aantal ventilatoren/cel	2	5	4	3	4	6	4	2	4	5
kW/ventilator	7,00	3,00	2,53	2,64	2,68	2,67	2,85	2,60	3,00	2,50
kW totaal per cel	14,0	15,0	10,1	7,9	10,7	16,0	11,4	5,2	12,0	11,0
Watt/m ³ bollen	73	42	75	55	50	46	49	49	52	73
m ³ lucht/m ³ bollen bij 50 Hz	650	508	628	367	505	582	663	442	749	870
m ³ lucht/watt (bij 50 Hz)	8,9	12,2	8,3	6,6	10,2	12,6	13,4	9,0	14,4	11,9
m ³ lucht/watt (bij 25 Hz)	35,7	48,8	33,4	26,5	40,7	50,2	53,6	36,2	57,5	47,5
minimum frequentie instelling (Hz)	20	20	25	25	5	13	20	20	20	10
gem. Hz	55,0	32,3	38,0	45,0	40,3	13,1	29,0	24,1	43,6	30,0
m ³ lucht/m ³ bollen gemiddeld	715	328	477	330	407	152	385	213	652	522

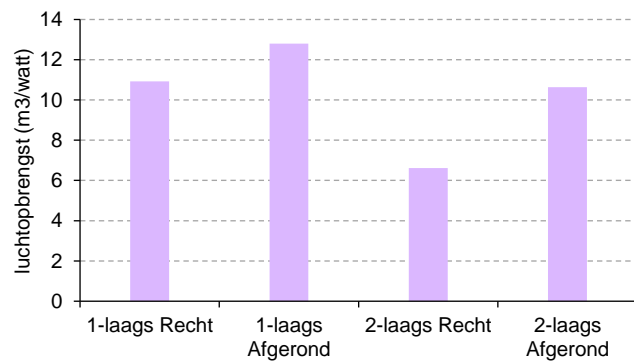
Het gerealiseerde elektraverbruik per m³ bollen wordt dan bepaald door de gemiddelde frequentie-instelling van de ventilatoren. Deze varieert van 13 Hz (Bedrijf 7) tot 55 Hz (Bedrijf 1). De frequentie wordt handmatig ingesteld, maar op een aantal bedrijven al wel door de klimaatcomputer geregistreerd, figuur 9.



Figuur 9: Geregistreerde daggemiddelde frequentieinstellingen.

Door het 3^{de} machtsverband tussen energieverbruik en toerental (Hz-instelling) heeft een gemiddelde instelling van 13 Hz een zeer groot effect op het energieverbruik: $1-(13/50)^3 \rightarrow 98\%$ energiebesparing.

Daarnaast is de weerstand van het systeem bij éénlaagsbeluchting en door afgeronde uitblaasopeningen lager waardoor per eenheid ventilator-energie een hoger debiet geproduceerd wordt, figuur 10 (gemiddelden van bedrijven 1 t/m 11).



Figuur 10: Luchtopbrengst per bewaarsysteem.

4 Aanvullend onderzoek

4.1 Gerooide bollen van in 2009 bewaard plantgoed

Van één partij Cheirosa zijn in 2009 op 7 State-of-the-Art bedrijven *en* ter vergelijking op 2 niet- State-of-the-Art bedrijven (Bedrijf C1 en C2) 4 x 250 plantgoedbollen (maat 8/9) bewaard, en daarna opgeplant bij PPO Lisse. Aan het begin en aan het eind van de bewaring is het gewicht van de bollen bepaald, zodat de mate van uitdroging kon worden berekend. De kwaliteit van het in 2009 bewaarde plantgoed is bij de oogst in 2010 bepaald aan de hand van drie criteria:

Verklistering = totaal aantal bollen > maat 5, *gedeeld* door het aantal bollen \geq maat 10

Uitval (%) = (250, *minus* het aantal geogoste bollen \geq maat 10), *gedeeld* door 250

Oogst (in gram) per opgeplante bol

De resultaten zijn in tabel 3 samengevat en vergeleken met mogelijk verklarende factoren. Van een aantal bedrijven waren geen gegevens bekend. Uitdroging loopt uiteen van gemiddeld 10% (Bedrijf C1, geen gegevens) en 11% (Bedrijf 9) tot 18% (op Bedrijf 2). De verklistering varieert van 1,26 (bedrijf 3) tot 1,85 (Bedrijf 5) en is in alle gevallen dus laag. De uitval varieert van 8% (Bedrijf C2, geen gegevens) en 9% (Bedrijf 8) tot 23% (Bedrijf 1). De oogst per geplante bol varieerde van 23,5 g (Bedrijf 1) tot 27 g (Bedrijf 9). De verschillen tussen de bedrijven in uitdroging, uitval en verklistering zijn statistisch significant ($p < 0,001$), de verschillen in oogst per opgeplante bol niet ($p = 0,108$).

Tabel 3: Plantgoed (bewaard en gepland in 2009, geogost in 2010)

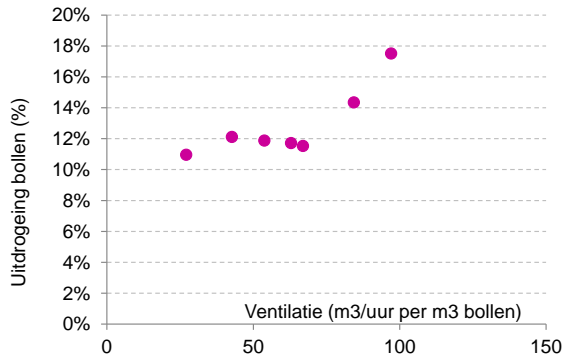
Bedrijf	Monster gemiddelden				Achtergronden		
	uitdroging	Uitval	Verklistering	Oogst per geplante bol	gemiddelde ventilatie	Blootstelling ethyleen > 100ppb	warmer dan 24 °C
	%	%		g	m3/m3	deel vd periode	deel vd periode
Bedrijf C1	10%	11%	1,44	25,3	-	-	-
Bedrijf 9	11%	12%	1,71	27,0	27	1%	16%
Bedrijf C2	11%	8%	1,42	26,5	-	-	-
Bedrijf 7	12%	11%	1,40	25,8	67	4%	13%
Bedrijf 3	12%	11%	1,26	25,3	63	1%	11%
Bedrijf 4	12%	16%	1,69	25,3	54	0%	52%
Bedrijf 8	12%	9%	1,34	26,0	43	3%	13%
Bedrijf 5	14%	15%	1,85	26,8	-	-	-
Bedrijf 1	14%	23%	1,75	23,5	84	69%	0%
Bedrijf 2	18%	16%	1,65	25,0	97	3%	19%
p	0,000	0,000	0,000	0,108			

gg = geen gegevens

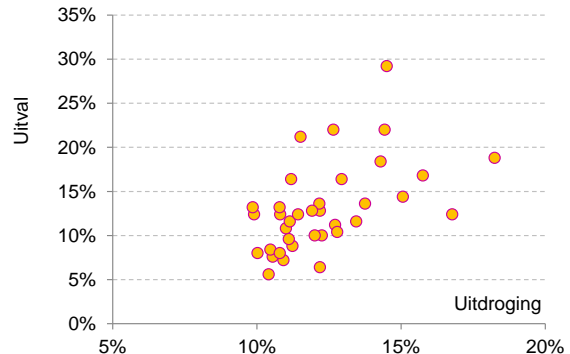
De duur van blootstelling aan ethyleen > 100 ppb is bij Bedrijf 1 69% van de bewaarperiode geweest, maar hoewel de verklistering relatief hoog is verschilt Bedrijf 1 hierin niet van Bedrijven 2, 4, 9 en 5. Hetzelfde geldt voor de duur van de periode waarin het plantgoed warmer dan 24°C bewaard wordt: Bij Bedrijf 4 was dat 52% van de bewaarperiode, maar bedrijven waar dat 16 tot 19% was hadden eenzelfde verklistering. Blootstelling aan ethyleen, of te lang warmer dan 24 °C bewaren, zijn dus niet de achtergrond bij de (kleine) verschillen in verklistering.

De gemiddelde uitdroging van het plantgoed was het sterkst op de bedrijven waar het meest geventileerd werd ($p = 0.0185$), figuur 11. Bij sterker uitgedroogd plantgoed is de uitval hoger figuur 12 (minder grotere

bollen geoogst van de proefveldjes met elk 250 geplante bollen, foto 13 a). Figuur 12 laat ook zien dat de spreiding groot is, wat betekent dat er nog meer factoren op uitval (en verklijstering) van invloed zijn.



Figuur 11: Verband ventilatie en uitdroging



Figuur 12: Verband uitdroging en uitval.



4.2 Broei van in 2010 bewaarde broeibollen

Van één partij bollen (cultivar Cheirosa) zijn 4 zakjes met elk 100 broeibollen (maat 11/12) op de StArt bedrijven bewaard, en ter controle op 3 niet-StArt bedrijven. Voordat de zakjes in de cel in verschillende kisten werden gelegd is het gewicht bepaald. Aan het eind van het bewaarseizoen zijn de zakjes weer opgehaald, naar PPO-Lisse gebracht, is het gewicht opnieuw bepaald en zijn ze na de koeling in januari afgebroeid, foto 13b). Bij de oogst zijn plantkarakteristieken bepaald als plantlengte, pootlengte, plantgewicht, lengte langste blad, etc..

Zonder uitzondering waren alle afgebroeide tulpen van goede kwaliteit, en goed op gewicht en lengte, tabel 4.



Tabel 4: Broeibollen bewaard in 2010, gebroeid in januari 2011.

	Achtergronden								
	gewicht	poot	plant	langste blad	stevigheid	uitdroging	Ventilatie	Tcel	ethyleen > 100 ppb
	g	cm	cm	cm	g/cm	%	m3/m3	°C	dgn
Bedrijf 1	28,3	11,3	35,0	39,7	0,81	8,2	79	20,4	47,8
Bedrijf 2	26,3	12,0	38,0	41,0	0,70	5,8	81	19,8	0,5
Bedrijf 4	29,0	12,0	38,5	41,8	0,76	5,8	56	24,6	9,2
Bedrijf 5	26,3	11,3	34,3	38,3	0,77	6,8	53	19,8	0,1
Bedrijf 8	23,5	11,3	33,3	37,5	0,71	6,7	26	22,1	1,9
Bedrijf 9	28,0	12,7	37,3	41,3	0,76	5,9	33	21,0	0,3
Bedrijf 10	29,0	12,0	38,0	41,3	0,77	8,3	95	20,1	0,1
Bedrijf 11	27,3	13,0	39,0	41,8	0,70	6,1	89	21,8	0,1
C1	27,8	13,3	39,3	42,5	0,71	5,3	-	-	-
C2	26,8	13,0	37,5	41,5	0,72	5,8	-	-	-
C3	28,0	13,0	37,5	42,0	0,75	5,3	-	-	-
<i>p</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000			

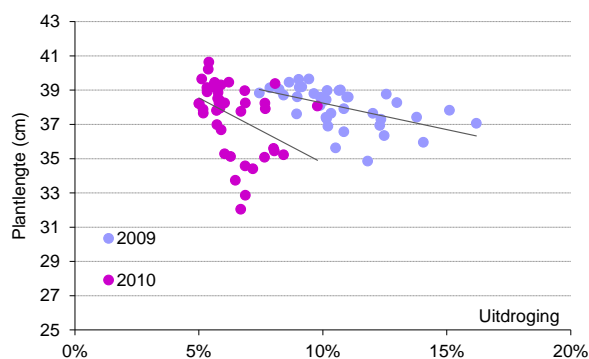
De verschillen tussen de bedrijven mbt. gemiddeld plantgewicht, de lengte van de poot, de plant en het langste blad, en de mate van uitdroging zijn statistisch significant, maar niet te herleiden tot de ventilatiehoeveelheid, de gemiddelde celtemperatuur, of tot het aantal dagen blootstelling aan een ethyleenconcentratie > 100 ppb.

Vergeleken met 2009 zijn de bollen minder uitgedroogd, tabel 5.

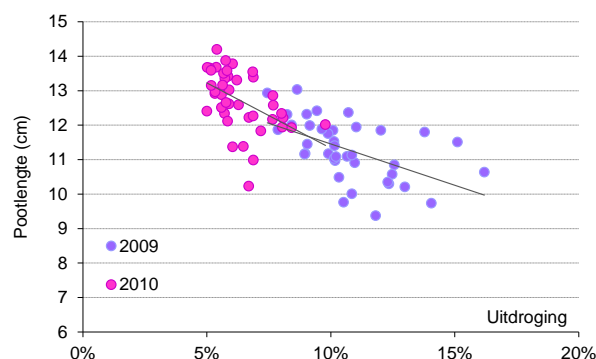
Tabel 5: Uitdroging bewaarde monsters in 2009 en 2010.

	2009		2010	
	plantgoed (8/9)	leverbaar (11/12)	plantgoed (8/9)	leverbaar (11/12)
bolgewicht in (g)	9,3	27,2	10,9	26,5
bolgewicht uit (g)	8,2	24,3	10,1	24,8
verlies	11,8%	10,7%	7,3%	6,4%
datum in	26-jul		4-aug	
datum uit	24-okt		14-okt	
dagen bewaard	90		71	
mg/dag	12,2	32,2	11,3	23,9

Uit de bolgewichten valt af te leiden dat de sterkere uitdroging in 2009 niet komt doordat de bollen zwaarder (minder gedroogd) de bewaring in gingen dan in 2010 en ook niet doordat de bewaring in 2009 langer duurde. Immers, ook omgerekend naar gewichtsverlies per dag zijn de bollen in 2009 sterker uitgedroogd. Uit de tabel valt ook op te maken dat plantgoed sterker uitdroogt dan leverbaar. Achtergrond bij de gemiddeld sterkere uitdroging in 2009 is het hogere vochtdeficit van de buitenlucht tijdens de bewaarperiode. In Noordwest Nederland + Lelystad (data van het KNMI) was dat in 2009 gemiddeld 3,3 ml/m³ en in 2010 was dat 2,2 ml/m³ (52% minder wateropname door de lucht in 2010). Na opwarmen met gemiddeld 5 °C wordt dat resp. 7,5 en 6,3 ml/m³ (19% lager).

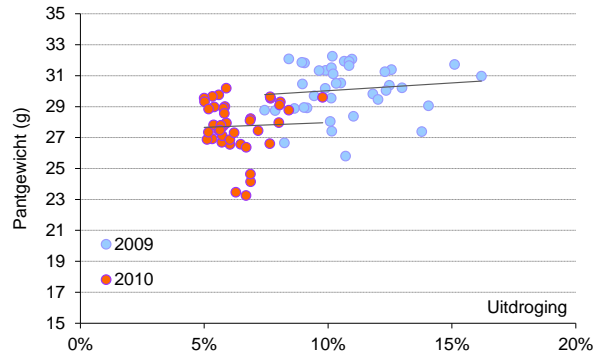


Figuur 14: Verband plantlengte en uitdroging.



Figuur 15: Verband pootlengte en uitdroging

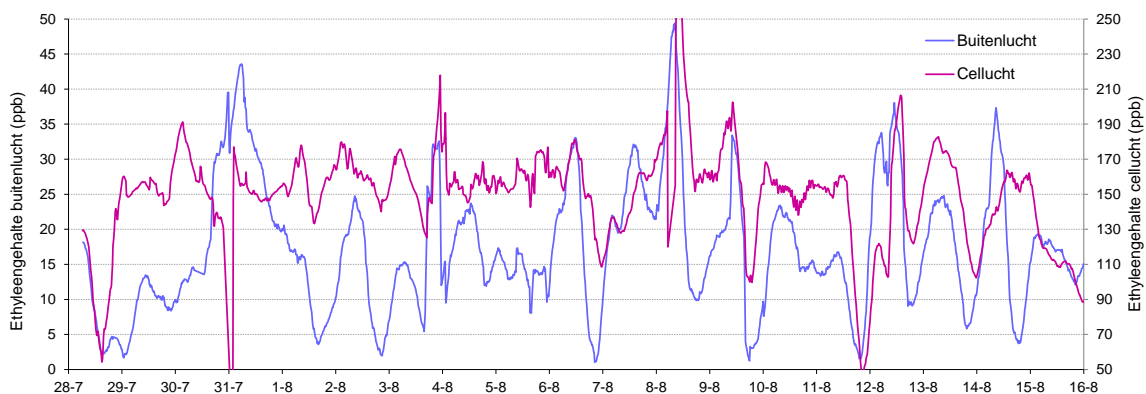
Uitdroging leidt, net als in 2009, tot gemiddeld iets kortere planten ($p = 0.008$), figuur 14. Dit komt vooral doordat de pootlengte dan iets afneemt ($p = 0.001$), figuur 15. Het plantgewicht wordt niet door uitdroging verminderd, figuur 16.



Figuur 16: Verband plantgewicht en uitdroging.

4.3 Ethyleenmetingen

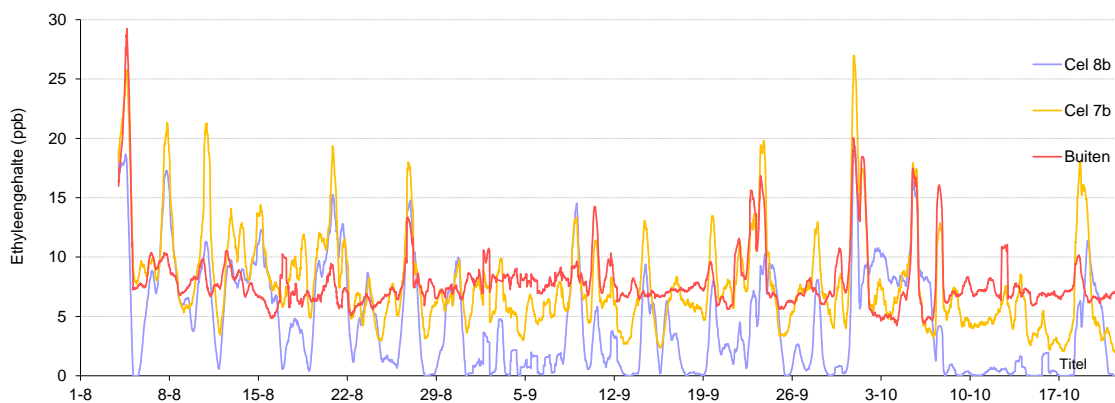
Op Bedrijf 1 en op Bedrijf 11 is gedurende enkele weken het ethyleengehalte van de buitenlucht gemeten. Reden hiervoor was dat op Bedrijf 1 in cel 1 steeds hoge ethyleengehaltes gemeten worden terwijl er fors geventileerd werd. De conclusie is dat de ethyleenproductie hoog is (veel zure bollen), maar theoretisch is ook een continue hoog ethyleengehalte van de ventilatielucht mogelijk (bv. door een ethyleenbron in de omgeving, of lekkage vanuit afvoerkanalen). In figuur 17 zijn de resultaten voor een deel van de meetperiode weergegeven (6-uurs voortschrijdend gemiddelde).



Figuur 17: Ethyleenmetingen buitenlucht (Bedrijf 1).

Over de gehele meetperiode was de gemiddelde ethyleenconcentratie van de buitenlucht 16 ppb, in de cel 150 ppb, exact waarop gestuurd was. De hoge ethyleengehaltes worden dus niet door de buitenlucht veroorzaakt, maar zijn het gevolg van hoge ethyleenproductie in de cel. In figuur 17 zijn de ethyleenconcentraties op verschillende schalen weergegeven, zodat goed te zien is dat een deel van de fluctuatie van het ethyleengehalte in de cel door fluctuatie in de buitenlucht veroorzaakt wordt.

Bij bedrijf 11 was het omgekeerde aan de hand: bij herhaling leek het ethyleengehalte van de buitenlucht hoger dan in de cel, figuur 18 (voortschrijdend 12 uren gemiddelde).



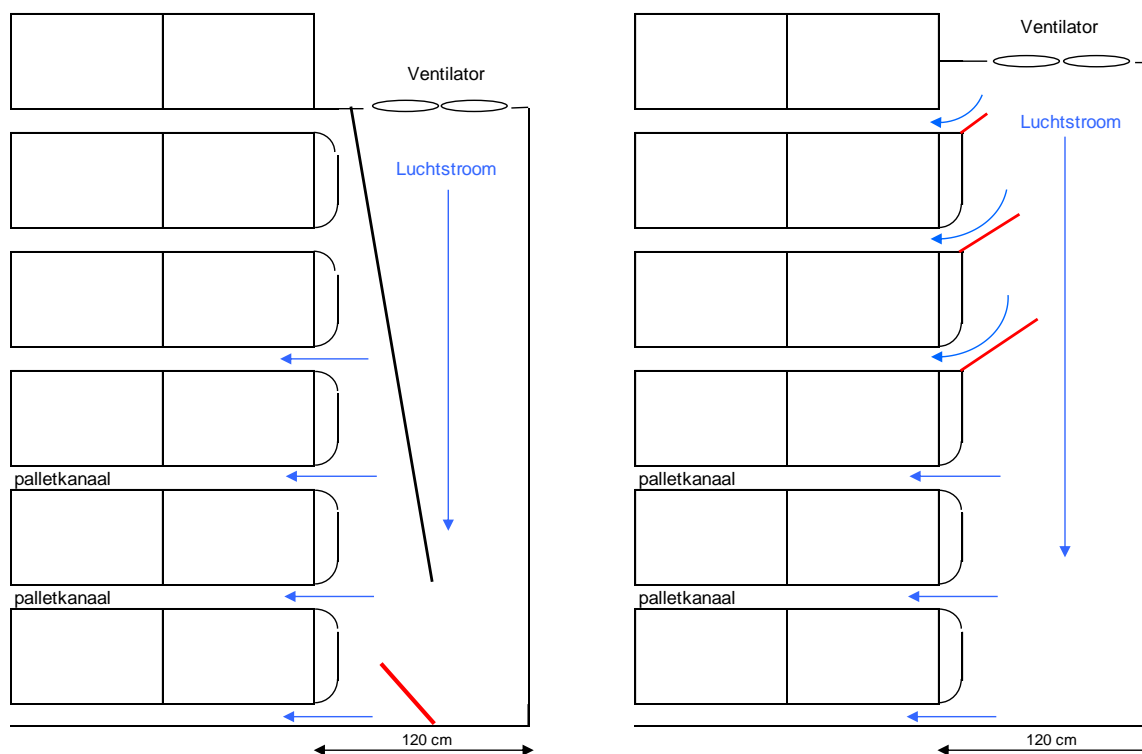
Figuur 18: Ethyleenmetingen buitenlucht (Bedrijf 11).

Analyse van de gegevens laat zien dat er fors werd geventileerd (gemiddeld 89 m³/uur) terwijl het berekende percentage zure bollen slechts 0,5% was. Het te meten ethyleengehalte is dan aan de rand van het meetbare: onder de 15 - 20 ppb kan niet meer nauwkeurig gemeten worden. De figuur laat zien dat zodra het ethyleengehalte van de cellucht boven de 15 - 20 ppb komt het ethyleengehalte in de buitenlucht lager is dan in de cel. Gemiddeld was het ethyleengehalte van de buitenlucht 9 ppb, in dezelfde orde als bij Bedrijf 1.

4.4 CFD-modellering

Voor een éénlaagssysteem van 6 hoog x 10 diep met een systeemwand van 1,70 m diep met daarin een schuine plaat is eerder in dit project met CFD-modellering de optimale positie en afmeting van de schans berekend. Veel droogwanden zijn echter minder diep, zodat de positie van de schans hierop aangepast moet worden. Met CFD-modellering is daarom berekend wat de optimale positie van de schans zou zijn indien de systeemwand (met interne schuine plaat) slechts 1,20 m diep is, figuur 19.

Vaak wordt bij deze ondiepe wanden de luchtstroom geoptimaliseerd door zgn. scheppen, figuur 19, in plaats van door een interne schuine wand. Daarom is met CFD-modellering ook de optimale plaatsing en afmeting van de scheppen berekend bij een 5 en bij een 6 hoog systeemwand. In het laatste geval, en bij de berekeningen aan de schans, is ook het effect van bolmaat 6 versus bolmaat 12 berekend.



Figuur 19: Schematische voorstelling van een éénlaagssysteemwand, 1,20 m diep, met links een interne schuine wand en een schans (in rood), en met rechts scheppen (in rood).

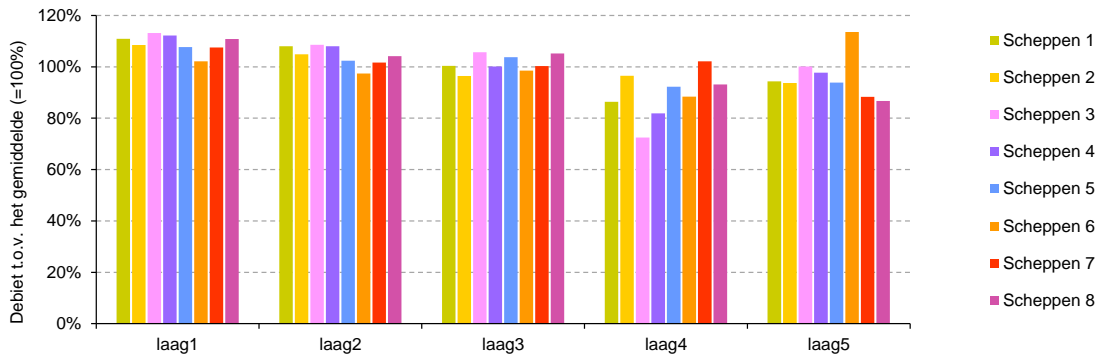
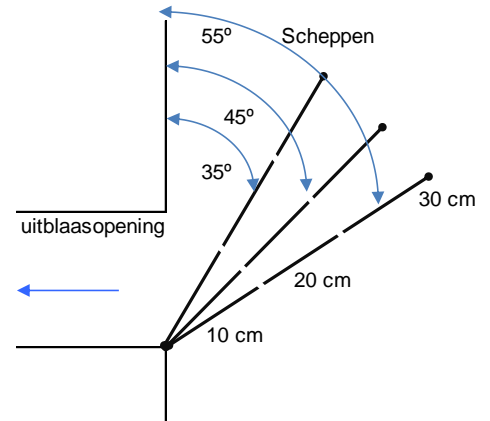
Scheppen

Voor een 5 hoog x 10 diep kistenstapeling zijn 8 verschillende configuraties met scheppen in de 5^{de}, de 4^{de} en soms ook in de 3^{de} uitbaasopening doorgerekend bij bolmaat 12. De breedte van de scheppen varieerde van 10 tot 30 cm, de hoek waaronder de scheppen geplaatst werden varieerde van 35^o tot 55^o, zie tabel

6. In alle gevallen is uitgegaan van een gemiddeld circulatiedebiet van 333 m³/uur per m³ bollen. De berekende luchtverdeling over de 5 lagen wordt weergegeven door figuur 20. Configuratie "Scheppen 3" valt op door het laagste debiet in laag 4, met als achtergrond de kleine schep in die laag (10 cm) en de kleine hoek (35°). Scheppen 6 valt op door het hoge debiet in laag 5, met als achtergrond de brede schep in die laag (20 cm), onder de grootste hoek (55°).

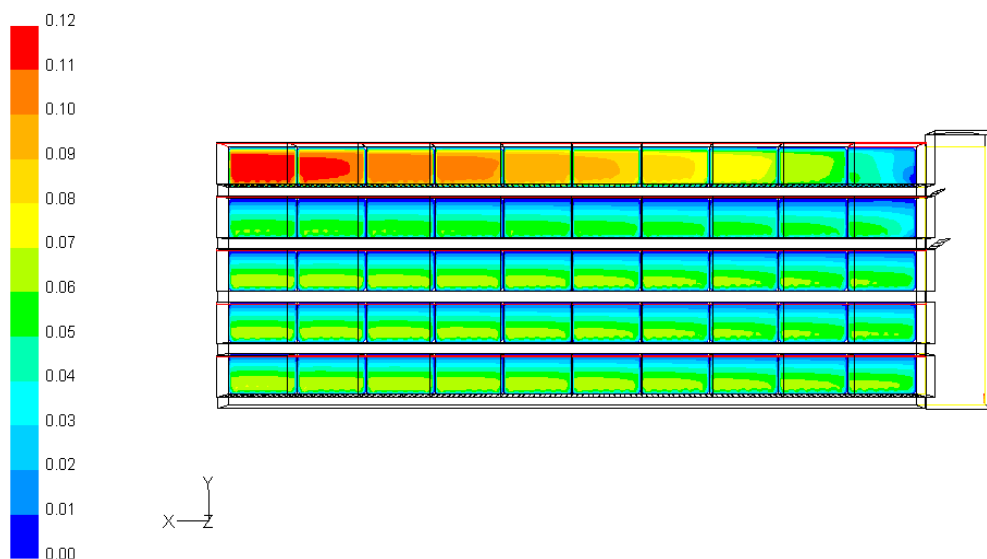
Tabel 6: Lengte en hoek van de scheppen bij 8 configuraties (5 hoog x 10 diep).

	laag 5		laag 4		laag 3	
	lengte	hoek	lengte	hoek	lengte	hoek
Scheppen 1	10 cm	55°	20 cm	55°	30 cm	55°
Scheppen 2	10 cm	55°	30 cm	55°	-	-
Scheppen 3	10 cm	55°	10 cm	35°	20 cm	55°
Scheppen 4	10 cm	55°	30 cm	35°	20 cm	55°
Scheppen 5	10 cm	45°	20 cm	55°	-	-
Scheppen 6	20 cm	55°	30 cm	55°	-	-
Scheppen 7	10 cm	35°	30 cm	55°	-	-
Scheppen 8	10 cm	35°	20 cm	55°	-	-



Figuur 20: Luchtverdeling bij 8 verschillende configuraties met scheppen.

In figuur 21 zijn voor configuratie Scheppen 6 de luchtsnelheden over het gehele systeem weergegeven. Hierin is duidelijk te zien dat hoewel het gemiddelde debiet in laag 5 slechts 15% boven het gemiddelde is, de spreiding extreem groot is: in laag 5 bevindt zich zowel de meest beluchte kist (het verst van de wand) als de minst beluchte kist (aan de wand).

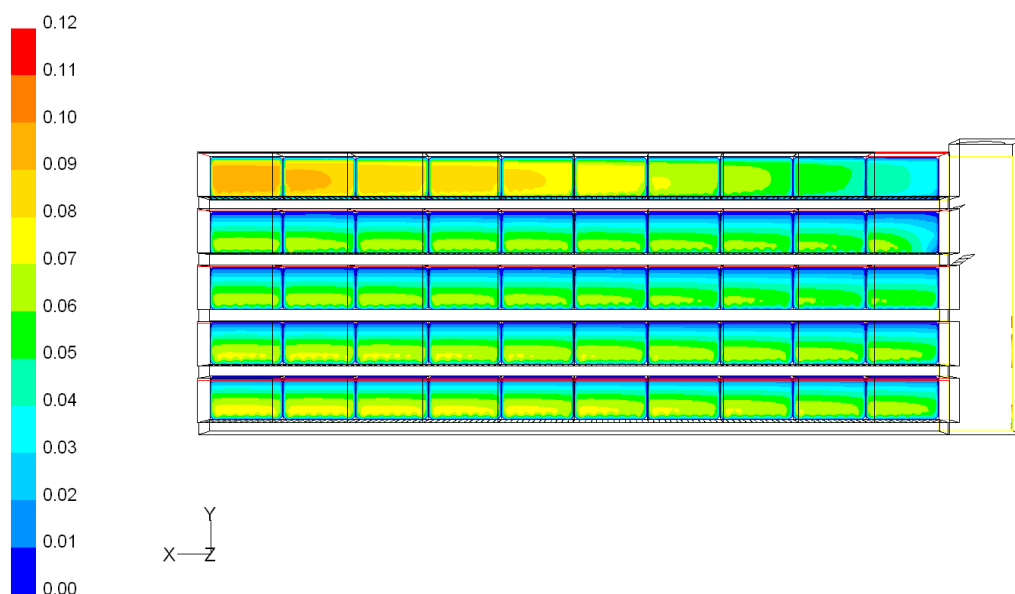


Figuur 21: Luchtsnelheden (m/s) in Scheppen 6.

Het energieverbruik om een gemiddeld debiet van 333 m³/uur te realiseren is voor de verschillende configuraties samengevat in tabel 7. Opvallend zijn de geringe verschillen in energiebehoefte: de scheppen hebben nauwelijks invloed op de totale weerstand van het systeem. De gunstigste configuratie is Scheppen 2. Hier wordt het hoogste minimum debiet per laag gevonden, is de spreiding het laagst en de minimum luchtopbrengst per watt het hoogst. In figuur 22 zijn voor Scheppen 2 de luchtsnelheden in het gehele systeem weergegeven.

Tabel 7: Energieverbruik bij 8 verschillende scheppenconfiguraties

	Energie kW (80%)*	minimum debiet	Spreiding	minimum m ³ lucht/Watt
Scheppen 1	0,67	288	12%	21,3
Scheppen 2	0,67	312	7%	23,3
Scheppen 3	0,70	242	20%	17,2
Scheppen 4	0,69	273	15%	19,7
Scheppen 5	0,69	307	8%	22,3
Scheppen 6	0,64	294	13%	23,0
Scheppen 7	0,69	294	10%	21,3
Scheppen 8	0,70	289	12%	20,6



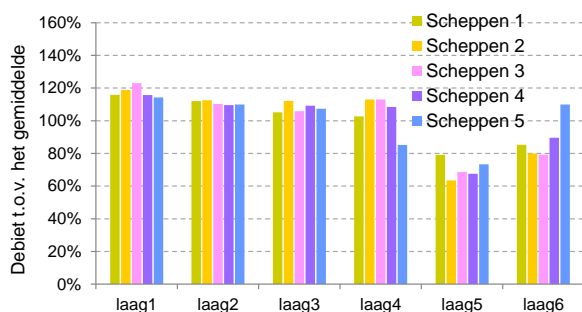
Figuur 22: Luchtsnelheden (m/s) in Scheppen 2.

Bij een 6 hoog stapeling zijn nog 5 andere configuraties doorgerekend, nu bij bolmaat 12 en ook 6, en een gemiddeld debiet van 300 m³/uur. De configuraties zijn samengevat in tabel 8:

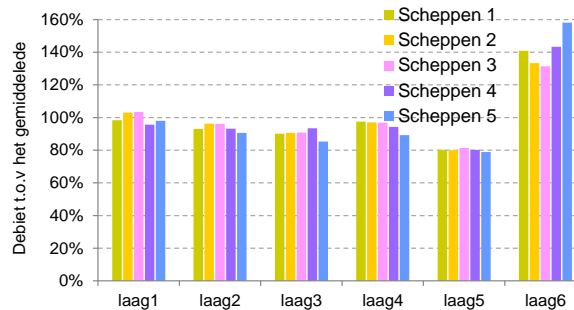
Tabel 8: Lengte en hoek van de scheppen bij 8 configuraties (6 hoog x 10 diep).

	laag 6		laag 5		laag 4	
	lengte	hoek	lengte	hoek	lengte	hoek
Scheppen 1	10 cm	45°	20 cm	45°	20 cm	55°
Scheppen 2	10 cm	45°	10 cm	55°	20 cm	55°
Scheppen 3	10 cm	45°	20 cm	35°	20 cm	45°
Scheppen 4	20 cm	35°	20 cm	35°	20 cm	45°
Scheppen 5	30 cm	35°	30 cm	35°	20 cm	45°

De berekende luchtverdeling over de 6 lagen bij bolmaat 12 wordt weergegeven door figuur 23, bij bolmaat 6 door figuur 24.



Figuur 23 : Scheppen, 10 diep x 6 hoog, bolmaat 12.



Figuur 24: Scheppen, 10 diep x 6 hoog, bolmaat 6.

Bij bolmaat 12 wordt berekend dat laag 5 in alle configuraties het minste lucht krijgt, gevolgd door laag 6. Configuratie Scheppen 1 levert voor laag 5 het meest op, Scheppen 5 voor laag 6. Voor beide lagen zijn de scheppen blijkbaar nog onvoldoende groot, m.u.v. de schep in laag 6 bij Scheppen 5. Bij de kleinere bolmaat 6, figuur 24, krijgen de lagen 1 t/m 4 relatief nu minder lucht, laag 5 en vooral laag 6 juist meer. De verschillen tussen de configuraties zijn kleiner.

Per bolmaat is er tussen de 5 configuraties weer nauwelijks verschil in het energieverbruik om een gemiddeld debiet van 300 m³/uur te realiseren, tabel 9. Maar om bij bolmaat 6 een gemiddeld debiet van 300 m³/uur te realiseren is bijna 2 maal zoveel energie nodig als bij bolmaat 12.

Tabel 9: Energieverbruik voor een gemiddeld debiet van 300 m³/uur per m³ bollen.

		Scheppen 1	Scheppen 2	Scheppen 3	Scheppen 4	Scheppen 5
Bolmaat 12	Energie kW (80%)*	0,55	0,55	0,55	0,54	0,53
	minimum debiet	237	190	206	203	220
	Spreiding (excl. laag 6)	18%	27%	26%	24%	21%
	m ³ lucht/Watt minste laag	26,0	20,9	22,5	22,5	24,9
Bolmaat 6	Energie kW (80%)*	1,04	1,03	1,04	1,04	1,00
	minimum debiet	241	240	244	241	236
	Spreiding (excl. laag 6)	10%	12%	12%	8%	11%
	m ³ lucht/Watt minste laag	13,9	14,0	14,1	13,9	14,2
toename Energieverbruik (%)		90%	88%	90%	92%	87%

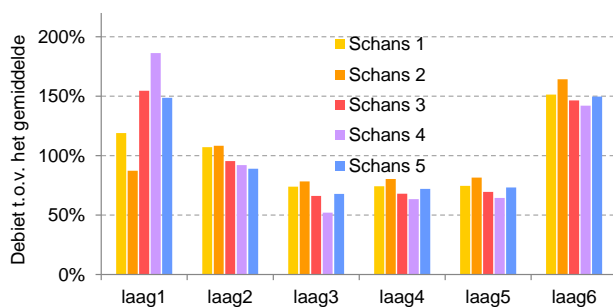
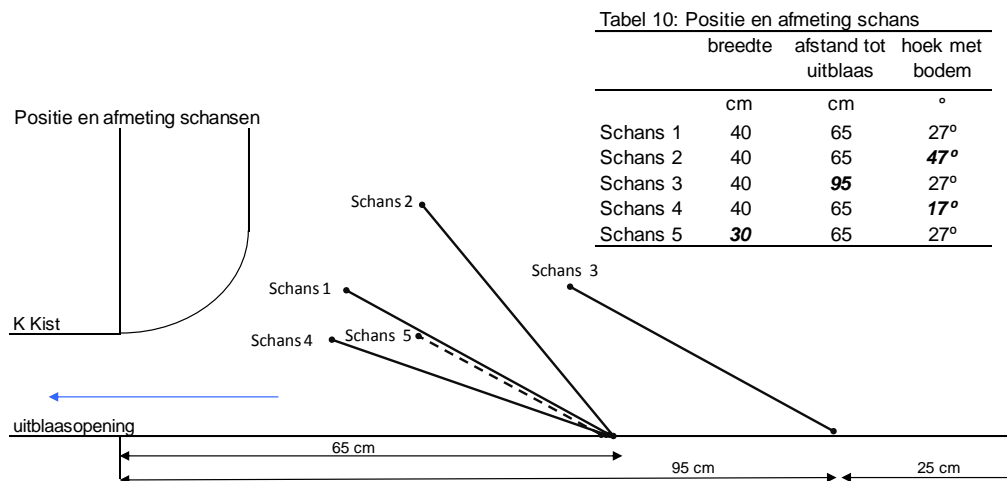
*bij 80% motor efficiëntie

Bij bolmaat 12 is er tussen de configuraties een groter verschil in minimum debiet dan bij bolmaat 6, zodat daar duidelijk een gunstigste configuratie gevonden wordt: Scheppen 1 heeft de hoogste luchtopbrengst per watt. Bij bolmaat 6 zijn er nauwelijks verschillen in minimum luchtopbrengst. In alle gevallen krijgt laag 6 nu anderhalf maal zoveel lucht als gemiddeld, maar een kleinere schep (of een kleinere hoek!) leidt bij bolmaat 12 juist tot een veel lager dan gemiddeld debiet. Voor plantgoed is dus een andere configuratie optimaal dan voor leverbaar.

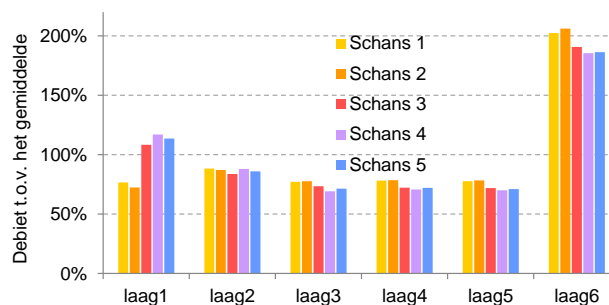
Schansen

Voor de ondiepe systeemwand met interne schuine plaat zijn 5 verschillende schansposities en afmetingen doorgerekend, samengevat in tabel 10 en het schema hieronder.

De berekende luchtverdelingen bij bolmaat 12 en bij bolmaat 6 zijn samengevat in figuur 25 en 26.



Figuur 25: Luchtverdeling over de lagen, bij bolmaat 12.



Figuur 26: Luchtverdeling over de lagen, bij bolmaat 6.

Bij bolmaat 12 neemt Schans 2 het meest lucht weg bij laag 1 en Schans 4 het minst. Bij bolmaat 6 is dat ook zo, maar het verschil tussen de schansen, *en* tussen de lagen 1 t/m 5, is veel kleiner. Volgens deze berekeningen leidt, net als bij het scheppensysteem, een kleinere bolmaat tot minder lucht door de onderste lagen en meer lucht vooral door laag 6.

Het energieverbruik is samengevat in tabel 11.

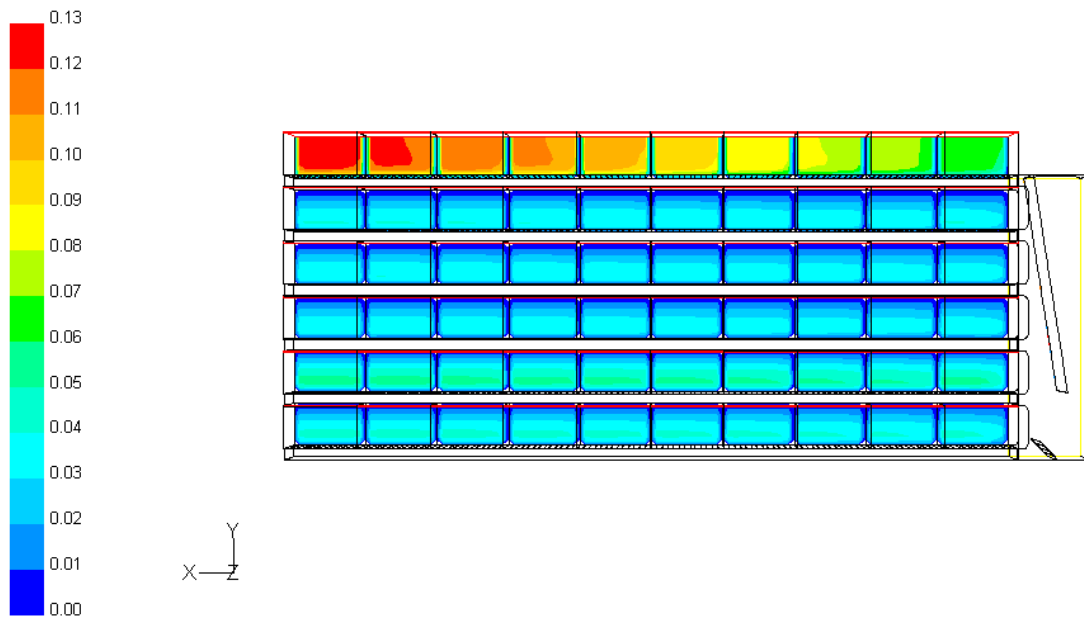
Tabel 11: Energieverbruik voor een gemiddeld debiet van 300 m³/uur per m³ bollen.

		Schans 1	Schans 2	Schans 3	Schans 4	Schans 5
Bolmaat 12	Energie kW (80%)*	0,97	0,73	0,67	0,52	0,81
	minimum debiet	222	235	199	155	204
	Spreiding (excl. laag 6)	25%	17%	49%	73%	45%
	m ³ lucht/Watt minste laag	13,7	19,4	17,7	18,1	15,0
Bolmaat 6	Energie kW (80%)*	1,31	1,12	1,20	1,41	1,27
	minimum debiet	230	217	216	208	213
	Spreiding (excl. laag 6)	7%	9%	22%	29%	26%
	m ³ lucht/Watt minste laag	10,6	11,6	10,8	8,9	10,1
toename Energieverbruik (%)		35%	54%	78%	173%	56%

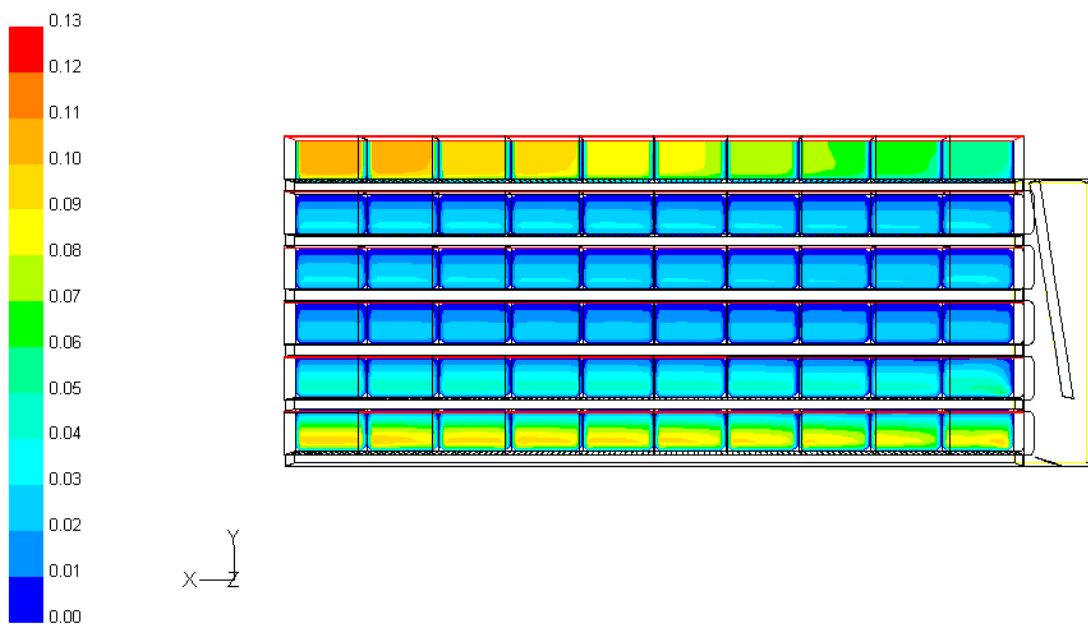
*bij 80% motor efficiëntie

Om bij bolmaat 12 een gemiddeld debiet van 300 m³/uur te realiseren is bij Schans 1 0,97 kW nodig, bij Schans 4 is 0,52 kW nodig. Het hoogste minimum debiet wordt gevonden bij Schans 2, het laagste bij Schans 4. Netto resultaat is dat de minimum luchtopbrengst per watt bij Schans 2 het hoogst is, bij Schans 1 het laagst.

De luchtsnelheden bij bolmaat 12 over het gehele systeem zijn voor Schans 2 weergegeven in figuur 27 en voor Schans 4 in figuur 28.



Figuur 27: Luchtsnelheden (m/s) in Schans 2.



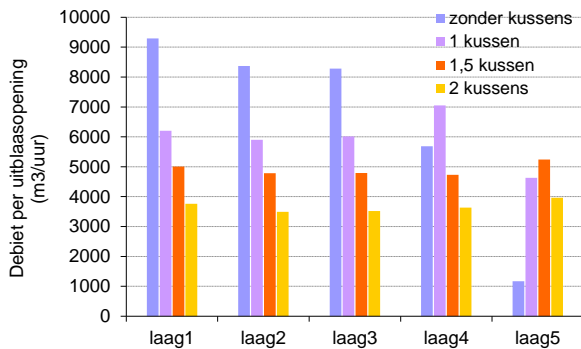
Figuur 28: Luchtsnelheden (m/s) in Scheppen 4.

Om bij bolmaat 6 een gemiddeld debiet van 300 m³/uur te realiseren is gemiddeld 70% meer energie nodig. Ook hier heeft schans 2 de hoogste minimum luchtopbrengst per watt, maar het verschil met bv. Schans 1 is wel kleiner geworden.

Opvallend is dat het energieverbruik om bij 6 hoog x 10 diep een gemiddeld debiet van 300 m³/uur te realiseren bij het scheppensysteem veel lager (respectievelijk 12 tot 30% bij bolmaat 6 en 12) ligt dan bij het systeem met de interne schuine plaat plus schans. Een systeemwand van 1,20 cm is te ondiep waardoor na plaatsing van een schuine plaat de doorstroomruimte te small wordt en zo teveel weerstand geeft.

4.5 Eén-laagssystemen

Op drie bedrijven zijn aan het één-laagssysteem metingen verricht om aanpassingen te testen en inzicht te vergroten. Op één bedrijf is i.s.m. Agratechniek B.V. onder meer nagegaan hoe de luchtverdeling over lagen veranderd bij toenemende weerstand. Er is gemeten aan een 5 hoog systeemwand, zonder interne schuine wand, zonder afgeronde uitblaasopeningen en zonder kisten ervoor. De weerstand is gecreëerd door met schuimrubberen blokken ("kussens") de uitblaasopening te verkleinen. De resultaten zijn samengevat in figuur 29.



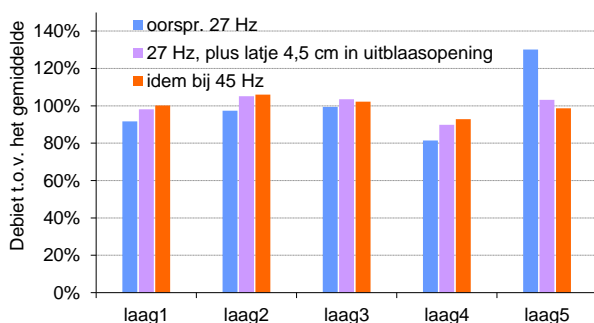
Figuur 29: luchtverdeling bij toenemende weerstand.

Bij toenemende weerstand krijgt de bovenste uitblaasopening relatief meer lucht. Het debiet in de andere uitblaasopeningen gaat fors omlaag. De verdeling over de uitblaasopeningen wordt sterk verbeterd bij toenemende weerstand.

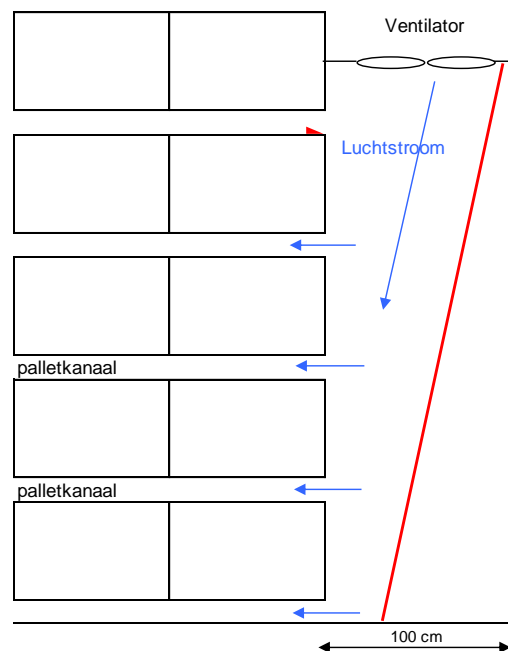
Op bedrijf 11 is een systeemwand in gebruik (5 hoog x 5 diep) met daarin een ander type interne schuine wand, zie figuur 30. Naar beneden toe wordt de wand steeds ondieper, vergelijkbaar met het z.g. drogen op sloffen. Uit metingen blijkt dat de luchtverdeling over de lagen in deze stapeling van 5 diep redelijk goed is (de spreiding is 24%, zie tabel 12) en dat de beluchting zeer ruim is: bij 27 Hz is het gemiddelde debiet per kist 545 m³/uur. De bovenste laag krijgt de meeste lucht, maar door het aanbrengen van een driehoekig latje dat de uitblaasopening met 4,5 cm verkleint wordt de luchtverdeling gelijkmatiger, figuur 31. Er van uitgaande dat de oorspronkelijke 444 m³/uur in laag 4 voldoende is, kan er nu dus van 490 naar 444 m³/uur teruggetoerd worden. Dit bespaart 25% energie.

Tabel 12: Gemiddeld debiet per m³ per laag.

	oorspr. 27 Hz	27 Hz, plus latje 4,5 cm in uitblaasopening	idem bij 45 Hz
laag1	500	535	872
laag2	530	573	922
laag3	542	565	890
laag4	444	490	808
laag5	709	563	859
gem	545	545	870
min	444	490	808
max	709	573	922
spreiding	24%	8%	7%



Figuur 31: luchtverdeling over de lagen.

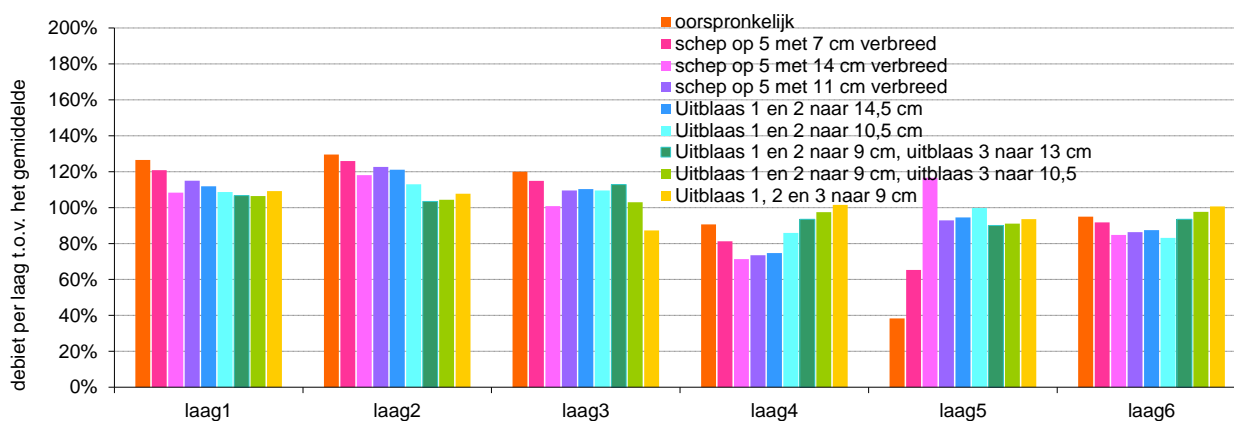


Figuur 30: Schematische voorstelling eenlaagssysteemwand met ander type interne schuine wand.

Op Bedrijf 2 is een ondiepe (1,20 cm) systeemwand van 6 hoog, zie ook figuur 19, met schepen aan de 6^{de} en de 5^{de} uitblaasopening aangepast om de luchtverdeling te verbeteren. De schep aan de 6^{de} uitblaasopening was 29 cm breed en stond onder een hoek van 40°, de schep aan de 5^{de} uitblaasopening was 53 cm breed en stond onder een hoek van 44°. In tabel 13 zijn de resultaten van de debietmetingen samengevat. Laag 5 kreeg in de oorspronkelijke situatie het minst (gemiddeld per kist 122 m³/uur). Door het verbreden van de schep aan uitblaasopening 5 met 11 cm komt het debiet in laag 5 in de buurt van het gemiddelde, maar dit gaat ten koste van laag 4. Door vervolgens met driehoekige latten de uitblaasopening van laag 1 en 2 te verkleinen tot 9 cm en die van laag 3 tot 10,5 cm neemt het debiet in deze lagen af, en dat in laag 4 toe, figuur 32. De luchtverdeling wordt hiermee gelijkmatiger (de spreiding is van 46% teruggebracht tot 8%), terwijl het gemiddelde debiet zelfs iets toenam.

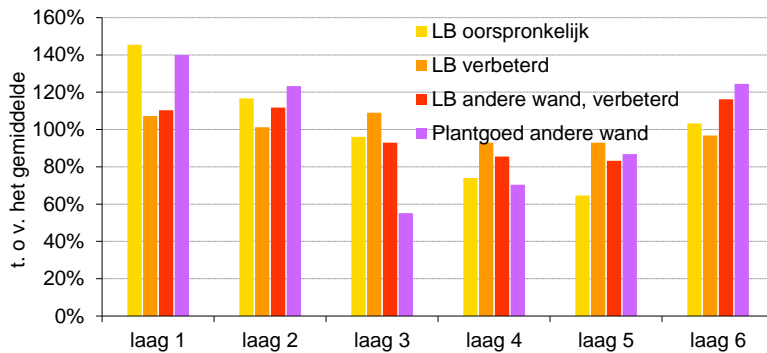
Tabel 13: gemiddeld debiet per laag per kist (m³/uur)

	oorspronkelijk	schep op 5 met 7 cm verbreed	schep op 5 met 14 cm verbreed	schep op 5 met 11 cm verbreed	Uitblaas 1 en 2 naar 14,5 cm	Uitblaas 1 en 2 naar 10,5 cm	Uitblaas 1 en 2 naar 9 cm, uitblaas 3 naar 13 cm	Uitblaas 1 en 2 naar 9 cm, uitblaas 3 naar 10,5	Uitblaas 1, 2 en 3 naar 9 cm
laag1	403	392	367	384	375	377	367	368	375
laag2	413	409	400	409	405	392	356	361	370
laag3	382	373	341	366	369	380	388	356	300
laag4	289	264	241	245	250	298	321	337	349
laag5	122	212	395	310	316	346	310	315	322
laag6	303	298	287	288	293	289	321	338	346
gem	319	325	338	334	335	347	344	346	344
min	122	212	241	245	250	289	310	315	300
max	413	409	400	409	405	392	388	368	375
spreiding	46%	30%	23%	25%	23%	15%	11%	8%	11%



Figuur 32: luchtverdeling bij verschillende aanpassingen van de systeemwand.

Op Bedrijf 2 was in 2009 de wand (1,70 cm diep, met interne schuine wand) verbeterd met leverbare bollen ervoor. Op het bedrijf zijn toen de wanden van dit type aangepast en is de luchtverdeling opnieuw gemeten, nu bij een wand met leverbaar *en* bij een wand met plantgoed, de resultaten zijn samengevat in figuur 33. De figuur laat zien dat de meting aan de aangepaste wand in 2010 met leverbare bollen ervoor (in de figuur: "LB andere wand, verbeterd") overeenkomt met de meting in 2009 ("LB verbeterd"). Metingen aan een aangepaste wand met plantgoed ervoor geven echter een ander beeld: vooral laag 1 krijgt teveel lucht, en laag 3 te weinig: De schans is onvoldoende effectief bij meer weerstand in de kisten als gevolg van een kleinere bolmaat. Deze uitkomst lijkt tegenstrijdig aan de verwachting op grond van de CFD-berekeningen (vergelijk figuur 25 met 26, waarin door een kleinere bolmaat laag 1 juist minder lucht krijgt), maar geeft wel aan dat voor plantgoed en leverbaar aparte wanden ontworpen moeten worden.



Figuur 33: Luchtverdeling bij leverbaar (LB) en bij plantgoed.

4.6 Twee-laagssystemen

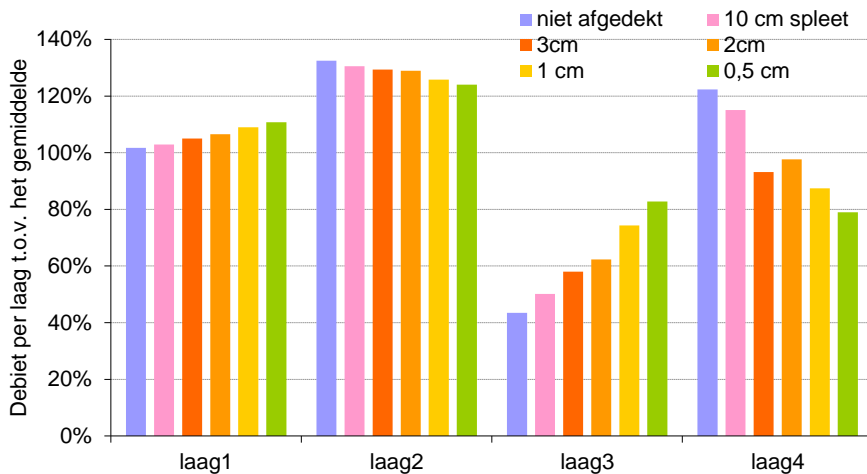
Op Bedrijf 9 is i.s.m. Omnihout het effect van het afdekken van de bovenste laag in een 2 x 4 hoog x 7 diep systeem bepaald. De kisten werden afgedekt met een multiplex plaat waarbij bij steeds een verschillende spleetbreedte van 0,5 tot 10 cm werd overgelaten. Bij de spleet van 10 cm is ook het debiet van elke kist in de bovenste laag bepaald, zodat de lekverliezen berekend konden worden (som van de luchtstroom uit de 2 uitblaasopeningen *minus* de som van de luchtstroom uit het 1^{ste} en het 3^{de} palletkanaal plus de luchtstroom uit de kisten van de bovenste laag). De meetresultaten zijn samengevat in tabel 14.

Tabel 14: Gemiddeld debiet bij gedeeltelijk afdekken bovenste laag.

	niet afgedekt	breedte van de spleet				
		10 cm	3cm	2cm	1 cm	0,5 cm
laag1	265	269	274	278	284	289
laag2	346	341	338	336	328	324
laag3	113	131	151	163	194	216
laag4	319	300	243	255	228	206
gem	261	260	252	258	259	259
min	113	131	151	163	194	206
max	346	341	338	336	328	324
spreiding	44%	40%	37%	34%	26%	23%
totaal in	7282					
totaal uit	6381					
lekage	901	12,4%				

Hoewel het redelijk nieuwe kisten betrof die netjes gestapeld waren werd toch een lekkage van ruim 12% gemeten.

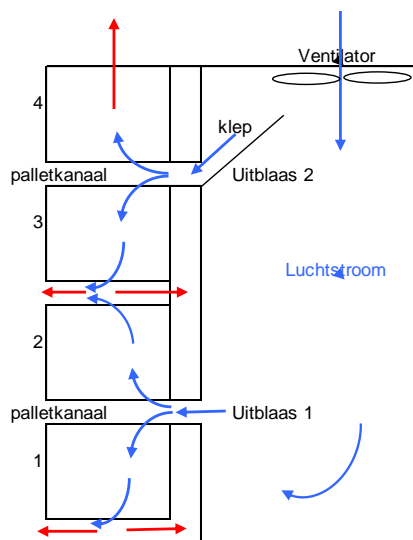
Wanneer de bovenste kisten niet zijn afgedekt krijgt de 3^{de} laag de minste lucht en is de spreiding het grootst. Afdekken met een plaat zodanig dat aan één kant van de kist een spleet van 10 cm open bleef verandert nauwelijks iets aan de luchtverdeling. Een spleet van 3 cm vermindert de luchthoeveelheid in de bovenste laag en dit komt ten goede aan laag 3. Het optimum wordt gevonden bij een spleet van ongeveer 1 cm, figuur 34.



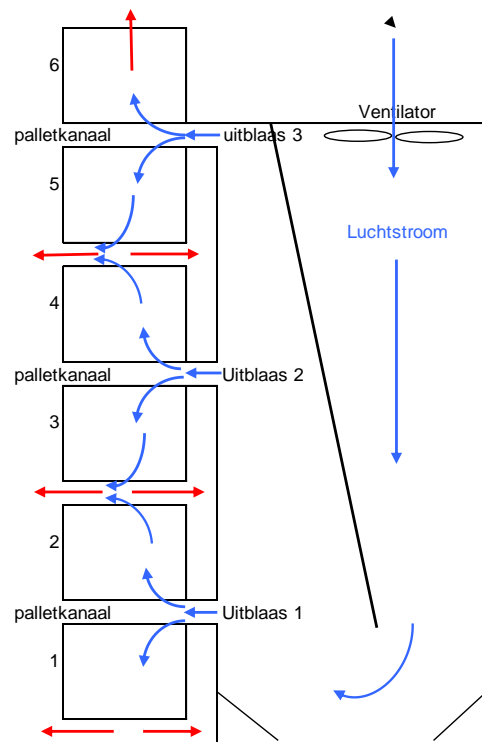
Figuur 34: luchtverdeling bij afdekken bovenste laag.

Het totale debiet, en ook het debiet per uitblaasopening, verandert door het afdekken nauwelijks. Zonder afdekking gaat er bijna 3 maal zoveel lucht door laag 4 als door laag 3. Laag 3 voert op hetzelfde palletkanaal af als laag 2 en heeft dus een half palletkanaal als afvoer. Zonder afdekking is de afvoerruimte voor laag 4 veel groter. Pas wanneer de som van het oppervlak van de spleten van de kisten in de bovenste laag gelijk is aan de helft van het oppervlak van de doorsnede van het palletkanaal is de lucht gelijk verdeeld over de bovenste laag en de laag eronder. De optimale breedte van de spleet hangt dus af van het oppervlak van de doorsnede van het palletkanaal *en* van het aantal kisten voor de wand: hoe minder diep gestapeld hoe breder de spleet moet zijn.

Op Bedrijf 10 zijn 2 typen wanden doorgemeten: 4 hoog met een schep in de bovenste uitblaasopening (figuur 35), en 6 hoog met een interne schuine wand (figuur 36), beide 7 kisten diep. Het laatste type is daarna met aanpassingen nieuw gebouwd en weer doorgemeten.



Figuur 35: 2-laagssysteem, 4 hoog, met klep, Bedrijf 10.

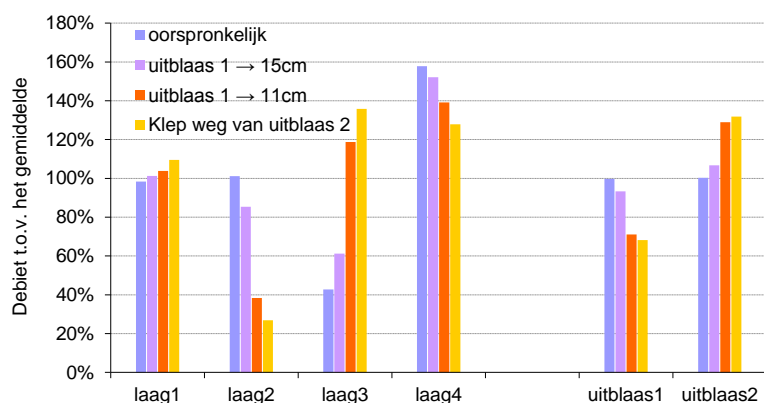


Figuur 36: 2-laagssysteem, 6 hoog met schuine plaat, Bedrijf 10.

De resultaten van de metingen aan de wand 4 hoog met de schep zijn samengevat in figuur 37 en tabel 15.

Tabel 15: Metingen aan een 4 hoog twee-laagssysteem, met schep in uitblaas 2.

	eenheid	opstelling			
		meting1	meting2	meting3	meting4
onderste uitblaas	cm	17	15	11	11
Schep voor bovenste inblaas		ja	ja	ja	nee
gemiddeld debiet/kist					
laag 1	m ³ /uur	715	715	657	672
laag 2	m ³ /uur	736	603	242	165
laag 3	m ³ /uur	310	432	751	833
laag 4	m ³ /uur	1147	1074	880	784
min	m ³ /uur	310	432	242	165
max	m ³ /uur	1147	1074	880	833
gemiddeld	m ³ /uur	727	706	632	614
spreiding	%	58%	45%	50%	54%
debiet per uitblaasopening					
Uitblaas 1	m ³ /uur	10153	9224	6293	5860
Uitblaas 2	m ³ /uur	10202	10544	11412	11324
gemiddeld	m ³ /uur	9884	9884	8853	8592
spreiding	%	0,2%	7%	29%	32%



Figuur 37: Luchtverdeling 2-laagssysteem 4 hoog met schep.

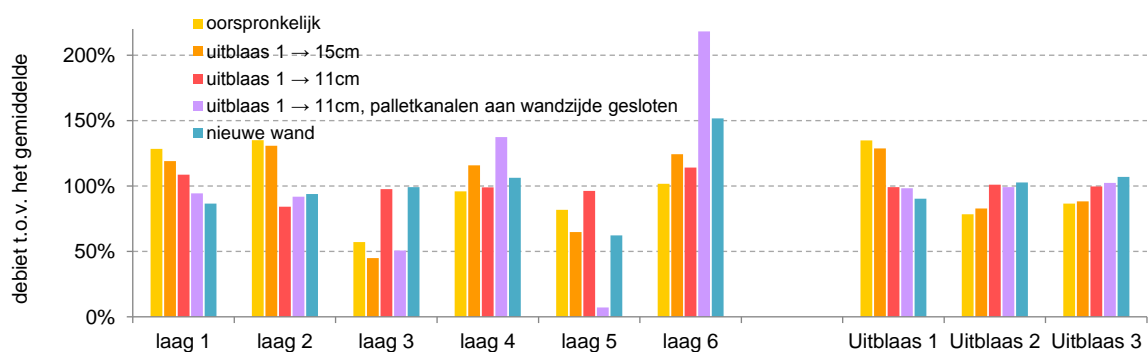
In de oorspronkelijke situatie is door de schep het debiet per uitblaasopening precies gelijk. Ook over de twee onderste lagen verdeelt de lucht zich gelijk, maar tussen de twee bovenste lagen is een groot verschil: laag 4 krijgt ruim 3 keer meer dan laag 3. Dit laatste komt overeen met de metingen aan het systeem op Bedrijf 9. Het knippen van de onderste uitblaasopening met driehoekige latjes heeft tot gevolg dat er minder lucht door uitblaasopening 1 gaat en meer door uitblaasopening 2. Het totale debiet neemt ook iets af. De lucht verdeelt zich nu gelijkmatiger over de twee bovenste lagen, maar ongelijkmatiger over de twee onderste lagen. Het in de oorspronkelijke situatie afdekken van de bovenste laag is dus een veel gunstiger oplossing.

De resultaten van de metingen aan de wand 6 hoog met interne schuine plaat zijn samengevat in figuur 38 en tabel 16. In de oorspronkelijke situatie (meting 1) gaat fors meer lucht door de onderste uitblaasopening, de twee bovenste uitblaasopeningen krijgen ongeveer evenveel. De lucht uit de onderste uitblaasopening verdeelt zich redelijk gelijkmatig over laag 1 en 2. De lucht uit twee bovenste uitblaasopeningen verdeelt zich ongelijkmatig over de 2 lagen, vooral over laag 3 en 4.

Knippen van de onderste uitblaasopening tot 11 cm (meting 3) verdeelt de lucht gelijkmatiger over de drie uitblaasopeningen en ook de verdeling over de lagen 3 en 4, en over 5 en 6 wordt gelijkmatiger, maar de

Tabel 16: Metingen aan een 6 hoog twee-laagssysteem, met interne schuine wand.

	eenheid	meting1	meting2	meting3	meting4
onderste uitblaas	cm	17	15	11	11
openingen palletkanaal	n	2	2	2	1
gemiddeld debiet/kist					
laag 1	m ³ /uur	1013	953	806	684
laag 2	m ³ /uur	1065	1047	625	666
laag 3	m ³ /uur	451	360	724	368
laag 4	m ³ /uur	758	927	735	996
laag 5	m ³ /uur	646	519	714	53
laag 6	m ³ /uur	803	995	846	1581
min	m ³ /uur	451	360	625	53
max	m ³ /uur	1065	1047	846	1581
gemiddeld spreiding	m ³ /uur	789	800	742	724
	%	39%	43%	15%	105%
debiet per uitblaasopening					
Uitblaas 1	m ³ /uur	14550	14001	10017	9449
Uitblaas 2	m ³ /uur	8465	9007	10215	9543
Uitblaas 3	m ³ /uur	9337	9603	10078	9854
gemiddeld spreiding	m ³ /uur	10784	10870	10103	9615
	%	28%	23%	1%	2%



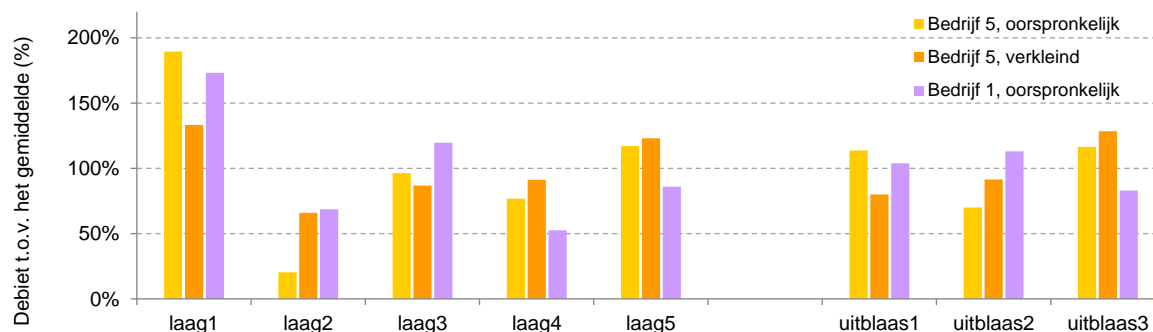
Figuur 38: Luchtverdeling 6 hoog systeem met interne schuine wand.

verdeling over laag 1 en 2 wordt ongelijkmatiger. Het afsluiten van het palletkanaal aan de wandzijde verbetert weer de verdeling over laag 1 en 2, maar verslechtert de verdeling over laag 3 en 4, en vooral over laag 5 en 6. Achtergrond bij dit laatste is dat de weerstand van (de niet-afgedekte) laag 6 door het afsluiten van het palletkanaal niet beïnvloed wordt, die van laag 5 wel.

De nieuwe wand is geconstrueerd met een verkleinde onderste uitblaasopening van 11 cm, plus een voor laag 1 aan de wandkant afgesloten palletkanaal. De verdeling over de uitblaasopeningen is gelijkmatig en ook over laag 1 t/m laag 4. Laag 5 krijgt echter iets minder dan de helft van laag 6: alleen door de bovenste laag met platen af te dekken (zoals bij Bedrijf 9) kan de lucht gelijkmatig over de twee bovenste lagen verdeeld worden. Hierdoor kan minstens 30% teruggetoerd worden wat een energiebesparing van ruim 60% oplevert.

Op bedrijf 1 en Bedrijf 5 zijn 5 hoog x 8 diep systemen doorgemeten. Dit zijn systemen met 3 uitblaasopeningen waarbij de onderste laag (laag 1) door de onderste uitblaasopening (uitblaas 1) wordt aangeblazen, laag 2 en 3 door uitblaas 2, en laag 4 en 5 door uitblaas 3. In een nieuwe wand is op Bedrijf 5

de hoogte van uitblaasopening 1 verkleind van 17 cm naar 8,5 cm. De resultaten van de metingen aan de oorspronkelijke wand en aan de nieuwe wand zijn samengevat in figuur 39.

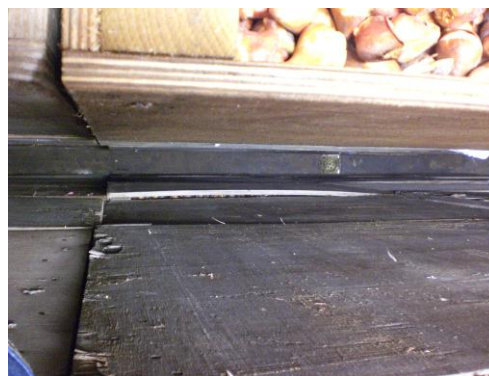


Figuur 39: Luchtverdeling over lagen en uitblaasopeningen.

Door het verkleinen van de onderste uitblaasopening stroomt er meer lucht door uitblaasopening 3 en vooral door uitblaasopening 2. Daardoor is de verdeling over laag 2 en laag 3 ook gelijkmatiger (de uitstroom van laag 1 in het 2^{de} palletkanaal is minder waardoor er meer ruimte is voor de uitstroom van laag 2).

De verdeling over de uitblaasopeningen bij de meting op bedrijf 1 is anders dan bij Bedrijf 5-oorspronkelijk, maar geeft, omgerekend naar de luchtverdeling over de lagen ongeveer hetzelfde beeld: de meeste lucht door laag 1, het minst door 2 en 4, 5 meer dan 4.

De kistenstapeling speelt een grote rol bij de luchtverdeling over uitblaasopeningen en lagen: rommelig stapelen, een onregelmatige vloer in de bewaarcel, en oude uitgebogen of beschadigde kisten geven grote kieren tussen de kisten (zie foto's) met als gevolg veel lekkage. De weerstand van de stapeling wordt dan sterk beïnvloed. Vooral als de som van het kieroppervlak per laag groter is dan het oppervlak van de doorsnede van het palletkanaal.



4.7 RV- en temperatuurmetingen tussen de bollen

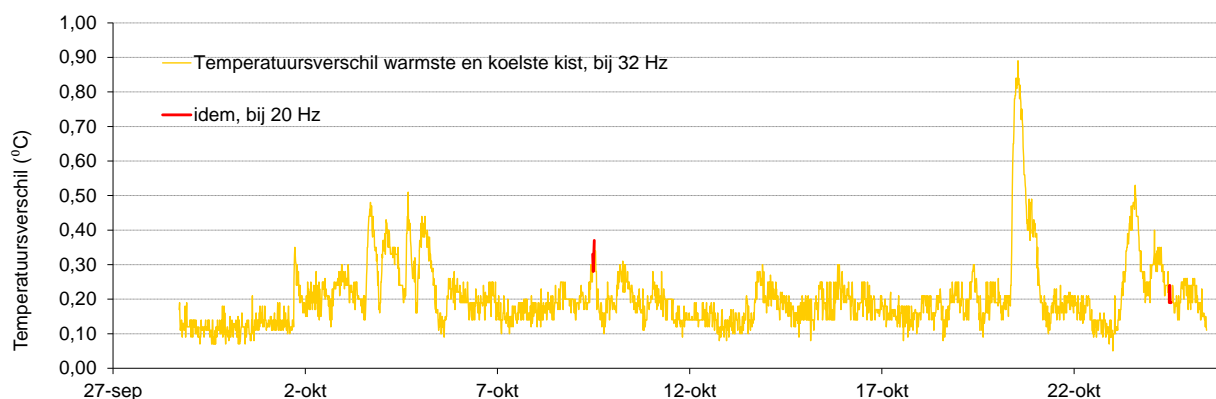
Het doel van circuleren is onder andere het minimaliseren van temperatuurs- en RV-verschillen tussen kisten (een gelijkmatig bewaarklimaat). Op twee bedrijven zijn daarom in een tiental kisten gedurende enkele weken de temperatuur en de RV tussen de bollen gelogd (4 metingen per uur). Op Bedrijf 2 is alleen in de kisten van de bovenste laag (laag 6) gemeten, resultaten zijn samengevat in tabel 17. De kist het dichtst bij de wand (kist 61) heeft het laagste debiet, de kist het verst van de wand (kist 610) heeft het hoogste debiet. Dit kan een factor 2 – 3 schelen. Tussen kistnummer en de gemiddelde temperatuur of RV is echter geen verband en het gemiddelde verschil tussen de warmste kist en de koelste kist (= het gemiddelde maximale temperatuursverschil) was slechts 0,20 °C.

Dit laatste heeft waarschijnlijk meer met de verschillen tussen sensoren te maken dan met werkelijke temperatuursverschillen.

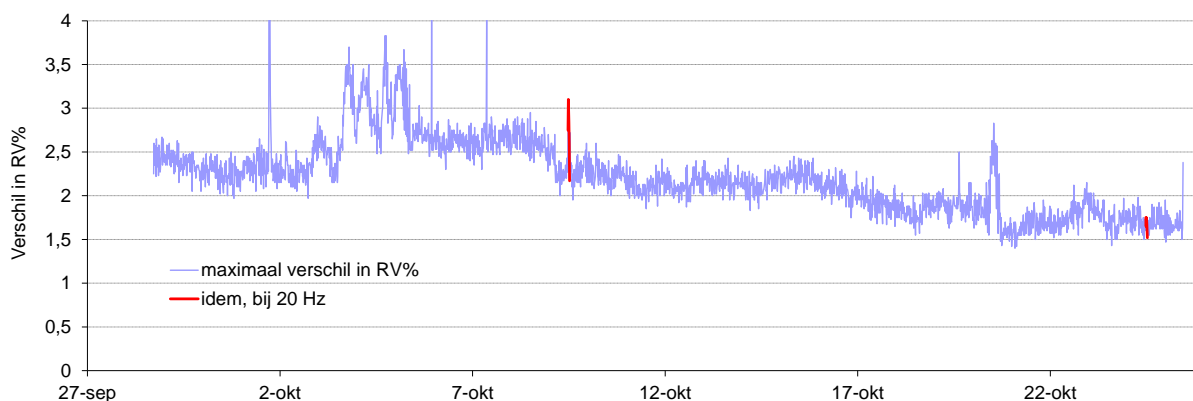
De ventilator stond de gehele periode op 32 Hz, maar is op 9/10 en 26/10 van 11:30 tot 12:30 teruggetoerd naar 20 Hz. Dit was maar heel kort en had geen invloed op het maximale temperatuursverschil, figuur 40, of het maximale verschil in RV, figuur 41. De piek van 0,89 °C op 21 oktober vindt plaats wanneer de ingestelde celtemperatuur van 20°C naar 17°C wordt verlaagd.

Tabel 17: Gemiddelde temperatuur en RV, 28/9 t/m 26/10, Bedrijf 2.

Kistnr.	Temperatuur	RV%
61	18,6	56,9
62	18,6	58,4
63	18,6	56,8
64	18,6	58,9
65	18,6	57,8
66	18,6	59,3
67	18,5	57,1
69	18,6	56,9
610	18,5	57,5
op kist 66	18,4	57,3
regelvoeler Cel	18,6	58,3
gemiddeld in de kisten	18,6	57,7
gemiddelde maximale verschil	0,20	2,20



Figuur 40: Temperatuursverschil warmste en koelste kist.



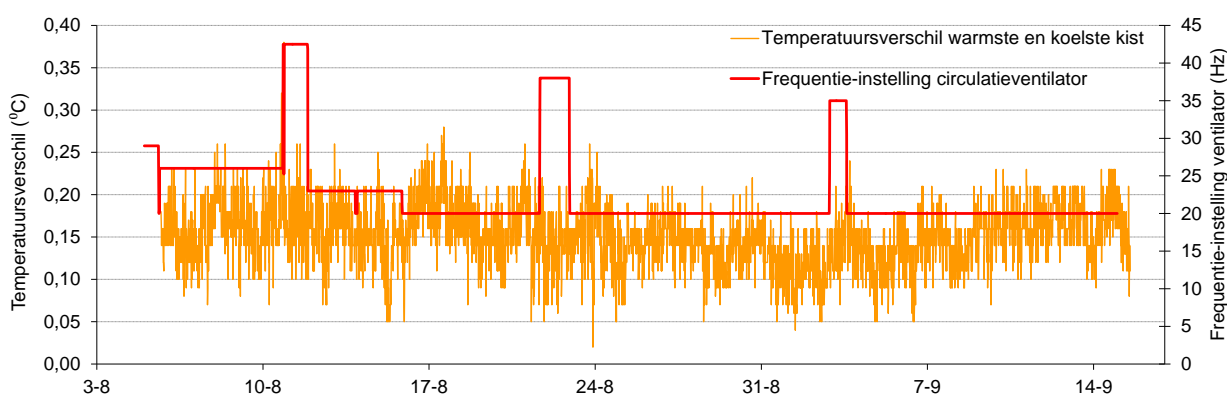
Figuur 41: Maximaal verschil in RV%.

Op Bedrijf 9 zijn de temperatuur en RV gelogd in de kisten van de bovenste (de 4^{de}) laag en de 2^{de} laag. De logger stond echter te ver weg om het signaal van alle kisten van de 2^{de} laag te ontvangen. Daarom is van die laag alleen de kist het verst van de wand (kist 27) permanent gelogd. De resultaten zijn samengevat in tabel 18.

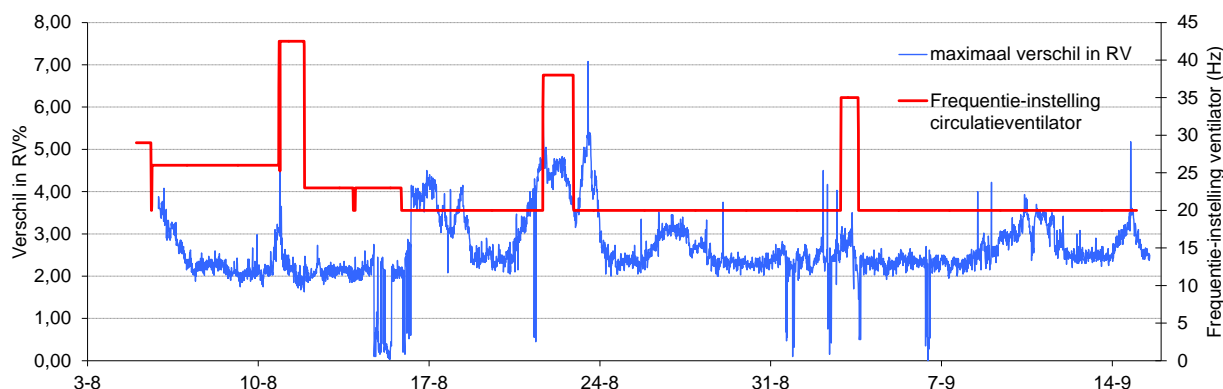
Tabel 18: Gemiddelde temperatuur en RV, 5/8 t/m 15/9, Bedrijf 9.		
Kistnr.	Temperatuur	RV%
27	20,7	71,7
41	20,6	70,7
42	20,5	69,5
45	20,7	71,6
46	20,7	69,1
47	20,5	69,7
regelvoeler Cel	20,2	70,8
gemiddeld in de kisten	20,6	70,4
gemiddelde maximale verschil	0,15	2,64

Het gemiddelde verschil tussen de warmste en de koelste kist is hier slechts 0.15 °C en heeft ook hier waarschijnlijk meer met de verschillen tussen sensoren te maken dan met werkelijke temperatuursverschillen. Tussen kistnummer en gemiddelde temperatuur of RV is geen verband.

Op Bedrijf 9 stond de frequentieregelaar tijdens de meetperiode meestal op 20 Hz ingesteld met 3 korte periodes waarin naar 35 – 42 Hz is opgetoerd. Dit had geen effect op temperatuursverschillen tussen kisten, figuur 42, of op verschillen in RV, figuur 43.



Figuur 42: temperatuursverschil warmste en koelste kist.



Figuur 43: Maximaal verschil in RV%.

Terugtoeren naar 20 Hz heeft in deze gevallen dus geen aantoonbare invloed op de gelijkmatigheid van het bewaarklimaat.

5 Conclusies & Aanbevelingen

Conclusies:

Voor het 4^{de} jaar op rij hebben de deelnemers fors bespaard op energie: gemiddeld 30% op gas en 44% op elektra (en 39% totaal). Twee nieuwe deelnemers, maar ook een deelnemer die al enkele jaren deel neemt hebben (deels door omstandigheden als een hoog percentage zure bollen, of door gebrek aan ervaring met de ethyleenanalyser) niet op gas bespaard, een enkeling niet op elektra. Deze drie bedrijven buiten beschouwing gelaten hebben de 7 overige bedrijven per m³ bollen gemiddeld 43% op gas en 51% op elektra bespaard (47% in totaal).

Volgens de gegevens uit de klimaatcomputers hadden de besparingen gemiddeld nog groter kunnen zijn: 70% op gas, 79% op elektra (77% totaal).

Achtergronden bij de verschillen in het gerealiseerde gasverbruik per m³ bollen zijn o.a. de forse besparing op gas door het zonnedak op Bedrijf 9 en de door de bedrijven verschillend ingestelde ethyleengrenzen: sommige bedrijven stellen op sommige momenten van de bewaarperiode ethyleengrenzen lager dan 80 ppb in waardoor overmatig geventileerd en dus ook overbodig gas wordt verbruikt.

Achtergronden bij het gerealiseerde elektraverbruik zijn o.a. verschillen in bewaarsysteem en bewaarwanden: éénlaags bewaarsystemen geven een hogere luchtopbrengst dan tweelaagssystemen, en met afgeronde uitblaasopeningen geeft een wand een hogere luchtopbrengst dan met rechte openingen. De belangrijkste achtergrond bij het elektraverbruik is echter de gemiddelde ingestelde frequentie van de frequentieregelaar: door het derdemachts verband tussen toerental en energieverbruik wordt bijvoorbeeld bij een gemiddelde instelling van 40 Hz ipv. 50 Hz al bijna 50% op elektra bespaard.

De in 2010 geogoste bollen van in 2009 bewaarde en geplante plantgoedmonsters lieten zien dat de verklijstering bij alle monsters laag was en op geen enkele manier gerelateerd aan blootstelling aan ethyleen. De bewaarde monsters zijn wel meer uitgedroogd wanneer de gemiddelde ventilatie hoger is en hierdoor is de uitval hoger: per geplante bol worden minder bollen \geq maat 10 geogost.

De uitdroging van de bewaarde bollen (plantgoed en leverbaar) was in 2010 minder dan in 2009.

Achtergrond hierbij is een kleiner vochtdeficit van de (opgewarmde) buitenlucht in 2010.

Plantgoed droogt sterker uit dan leverbaar.

Net als in 2009 geven sterker uitgedroogde bollen bij de broei een iets kortere poot, maar blijft het plantgewicht gelijk. De gebroeiende bollen geven zonder uitzondering goede kwaliteit tulpen.

CFD-berekeningen aan éénlaagssystemen laten zien dat bij ondiepe wanden (tot 1,20 m) met zg. scheppen de luchtverdeling gelijkmatiger wordt dan bij ondiepe wanden met een interne schuine plaat en een schans. De 6^{de} laag krijgt bij deze laatste wanden teveel lucht. De luchtopbrengst (m³/watt) is bij de wand met scheppen fors hoger: een wand met scheppen heeft minder weerstand.

Berekeningen met bolmaat 6 vergeleken met bolmaat 12 laten zien dat het optimale ontwerp van een wand met scheppen voor plantgoed er anders uitziet dan het optimale ontwerp voor leverbaar.

Metingen op de bedrijven met éénlaagssystemen bevestigen dat een toename van de weerstand de luchtverdeling over de uitblaasopeningen sterk verbeterd. Hierbij was toename van het debiet van de uitblaasopening met het laagste debiet groter dan de afname van het gemiddelde debiet.

Een ondiepe wand met daarin een schuine wand die naar beneden toe steeds dichter bij de uitblaasopeningen komt bleek met een kistenstapeling van 5 diep x 5 hoog een redelijk gelijkmatige verdeling over de lagen te geven. Door de bovenste uitblaasopening met een driehoekige lat met 4,5 cm te verkleinen kreeg de minst beluchte (4^{de}) laag 10% meer lucht. Hiermee werd de luchtverdeling verder verbeterd en kan 25% energie bespaard worden.

De luchtverdeling over de lagen van een stapeling van 6 hoog x 10 diep voor een ondiepe wand met scheppen in de 5^{de} en de 6^{de} uitblaasopening kon sterk worden verbeterd door de schep in de 5^{de}

uitblaasopening te verbreden, en de 1^{ste} en de 2^{de} uitblaasopening tot 9 cm en de 3^{de} uitblaasopening tot 10,5 cm te versmallen. Het debiet van de minst beluchte laag nam hierbij toe van 122 m³/uur tot 315 m³/uur.

Een eerder met schans en driehoekige latten verbeterde 1,70 cm diepe wand (stapeling 6 hoog x 10 diep) is doorgemeten met nu plantgoed ipv. leverbaar: de luchtverdeling was ongelijkmatiger, hetgeen bevestigt dat ter verbetering van de bewaarwand voor plantgoed andere aanpassingen optimaal zijn dan voor leverbaar.

Metingen op bedrijven met 2-laagssystemen lieten zien dat ook deze systemen flink verbeterd kunnen worden:

Afdekken van de bovenste laag in een 4 hoog x 7 diepe stapeling geeft de beste verdeling als de breedte van de spleet die de afdekkende plaat overlaat gelijk is aan ongeveer 1 cm. Bij minder diepe stapeling (bv. 3 diep zoals gebruikelijk bij het drogen) moet de spleet breder zijn: de som van de oppervlaktes van de spleten mag niet groter zijn dan de helft van het oppervlak van de doorsnede van het palletkanaal. Dit type wand kan nog iets verder verbeterd worden door de onderste uitblaasopening iets te verkleinen.

Een 4 hoog x 8 diepe stapeling voor een wand met een schep in de bovenste uitblaasopening bleek een gelijkmatige luchtverdeling over de uitblaasopeningen te hebben. Ook over de 1^{ste} en de 2^{de} laag is de luchtverdeling gelijk, maar de 4^{de} laag krijgt bijna 4 maal zoveel lucht als de 3^{de} laag. Verkleinen van de onderste uitblaasopening leidt tot minder lucht door de onderste en meer lucht door de bovenste uitblaasopening, waarbij dit ten koste gaat van het debiet in laag 2 en ten gunste komt van het debiet in laag 3. Ook hier is dus afdekken met platen de beste en enige oplossing om de verdeling over de lagen gelijkmatig te krijgen.

Een 6 hoog x 8 diepe stapeling voor een diepe wand met een interne schuine plaat geeft over de onderste uitblaasopening de meeste lucht. Verkleinen van deze uitblaasopening tot 11 cm verbetert de luchtverdeling over uitblaasopeningen *en* over de lagen 3 t/m 6, maar niet over laag 1 en 2. Het afsluiten van het onderste, het 3^{de} en het 5^{de} palletkanaal aan de wandzijde verbetert de verdeling over laag 1 en 2, maar niet over 3 t/m 6.

Voor een nieuw te bouwen wand is daarom gekozen voor het verkleinen van de onderste uitblaasopening tot 11 cm, *plus* het aan de wandzijde afsluiten van alleen het onderste palletkanaal.

Doormeten van deze nieuwe wand gaf een gelijkmatige verdeling over de drie uitblaasopeningen, en over de onderste 4 lagen. Laag 5 kreeg echter ongeveer half zoveel als laag 6: Afdekken van de bovenste laag is hiervoor de enige praktische oplossing.

Het 5 hoog x 8 diep systeem met drie uitblaasopeningen is aangepast door de onderste uitblaasopening te verkleinen tot 8,5 cm. Dit verbeterde de luchtverdeling fors: de minst beluchte laag2 krijgt nu 3 maal zoveel lucht.

Bij het doormeten van 2-laagssystemen speelt lekkage door spleten en kieren een belangrijke rol. Door het debiet per kist van de bovenste laag te meten kan de totale lekkage van de stapeling bepaald worden. Bij netjes gestapelde nieuwe kisten bleek dat ongeveer 12%. Bij slecht gestapelde, uitgebogen oude kisten van iets afwijkend formaat, op een ongelijkmatige vloer kan lekkage meer dan 50% zijn en de luchtverdeling over de lagen nauwelijks meer precies gemeten worden.

RV en temperatuurmetingen tussen de bollen in ongeveer 10 kisten in een stapeling tijdens de bewaring liet zien dat tijdens de twee perioden van 4-5 weken het maximale temperatuurverschil gemiddeld niet groter was dan 0.15 - 0.20 °C, en het gemiddelde maximale verschil in RV niet groter dan 2.2 – 2.64 %. Deze verschillen zijn niet gerelateerd aan de positie van de kist noch aan debiet. Ook op momenten waarop kortstondig werd op- of teruggetoerd kon op deze maximale verschillen tussen kisten geen effect worden waargenomen: Het debiet van de minst beluchte kisten in de stapeling is nog ruim voldoende om afwijkingen van de gemiddelde temperatuur en/of RV te voorkomen.

Samenvattend:

- Voor het 4^{de} jaar op rij wordt door de bedrijven die State-of-the-Art bewaren gemiddeld 45% op energie

bespaard.

- De kwaliteit van bewaard plantgoed en van leverbaar wordt hierbij behouden of zelfs verbeterd: teveel uitdroging a.g.v. teveel ventilatie en circulatie leidt tot meer uitval in de teelt en tot een kortere poot in de broei.
- Onderzoek laat zien dat de luchtverdeling over de kistenstapeling flink verbeterd kan worden waardoor bij de circulatie het energieverbruik nog eens gehalveerd kan worden.
- RV- en temperatuursmetingen tussen de bollen laten zien dat een lager debiet niet leidt niet tot grotere afwijkingen van het gemiddelde.

Aanbevelingen:

Dit jaar hebben twee nieuwe deelnemers aan het StArt-project meegedaan. Telkens weer blijkt hoe gevarieerd het op kuubskisten gebaseerde droog & bewaarsysteem is: elk systeem is anders en in elk systeem valt op vaak eenvoudige wijze de luchtstroomverdeling te verbeteren. Voorgesteld wordt daarom om in 2011 weer een aantal nieuwe deelnemers bij het project te betrekken. Dit vergroot ook de bekendheid van de sector met de resultaten van het project en bevordert de uitstraling naar andere bedrijven in de sector.

Als belangrijkste thema's bij het aanvullend onderzoek worden voorgesteld:

- Verbeteringen luchtverdeling differentiëren naar bolmaat (bewaarwand voor plantgoed versus leverbaar)
- loggen van temperatuur, RV en ethyleen op strategische punten in het bewaarsysteem om hierbij meer informatie te verzamelen aangaande de juiste circulatienorm (500 m³/uur per m³ bollen is veel te hoog, maar hoeveel lager is zonder risico, en in welke fase van de bewaring (nadrogen, na het pellen, etc.)).
- Testen verminderen van de lekkage. De vele metingen aan de luchtstroom in de kistenstapeling laten zien dat 10 tot 30% lekkage eerder regel dan uitzondering is. Door dit terug te dringen valt veel energie te besparen.

6 Communicatie

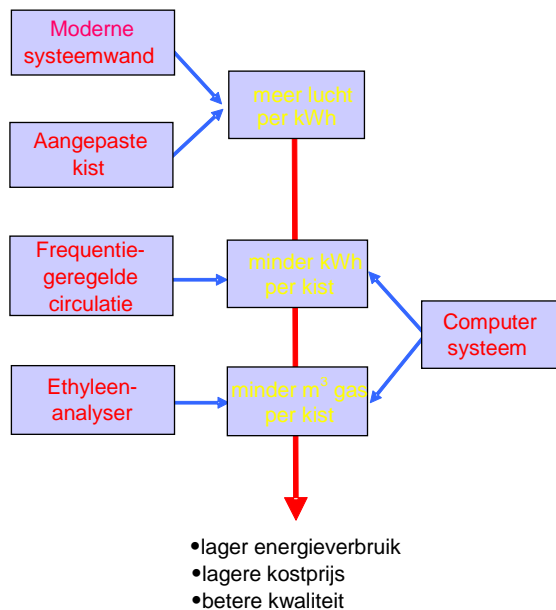
De resultaten van het StArt-project zijn op verschillende bijeenkomsten, lezingen en open dagen, zie tabel 19, naar buitengebracht middels posters, PowerPointpresentaties en een brochure. Ook is een artikel in het decembernummer van Bloembollenvisie verschenen.

Tabel 19: Overzicht lezingen, open dagen e.d.

Datum	Locatie/studieclub	aanwezigen	Type	Spreker(s)
4t/m 7 jan 2011	Mechanisatiebeurs	100den	beurs	allen
9-feb-11	Onderdijk te Zwaagdijk	11	lezing	M. Kok
21-feb-11	Pronk te Avenhorn	21	open dag	M. Kok
1-mrt-11	Ebbers te Creil	15	open dag	M. Kok
11-mrt-11	Kreuk te Callantsoog	16	open dag	M. Kok
11-apr-11	de Wit te Anna Paulowna	11	lezing	B. Bisschops
12-apr-11	CAH te Dronten	15	lezing	M. Kok
18-apr-11	Zeestraten te Hillegom	15	lezing	B. Bisschops
6-mei-11	Keukenhof/HaBoHo	45	lezing	H. Gude
23-mei-11	Bollesoos/BolleNoord	50	lezing	K. vd Putten
27-mei-11	duurzame Bollenteelt KAVB	>100	open dag	J. Wildschut

Bijlage 1: State-of-the-Art bewaren van tulpenbollen

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 bodemlatten) 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 in 2008 metingen uitgevoerd aan een door dat bedrijf ism. Omnihout ontwikkelde aangepaste palletkist. De resultaten gaven aanleiding om met Fa. N.J.J. de Wit en Zn de kuubskist verder te ontwikkelen in een nieuw project: "Verbetering Kuubskist". In 2010 is dat project afgerond en de

resultaten zijn veelbelovend: de luchtweerstand in de kist is veel lager waardoor o.m. de droogsnelheid gehalveerd werd.

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. $250 \text{ m}^3/\text{uur}$, 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 deze ethyleengrens van 100 ppb dan stuurt de **klimaatcomputer** de klep verder open totdat het ethyleengehalte weer onder de 100 ppb komt. Ethyleengrens, minimum en maximum klepstand, etc. zijn door de teler zelf in te stellen. Ook de middeltijd (standaard ingesteld op 30 minuten, maximale instelling 60 minuten) en de P-band (standaard op 40 ppb ingesteld, wat betekent dat bij de ingestelde ethyleengrens, meestal dus 100 ppb, *plus* 40 = 140 ppb, de klepstand naar 100% gaat; door die P-band te verhogen naar bv. 80 ppb gaat de klep dan pas bij 180 ppb voor 100% open) zijn door de teler zelf in te stellen waarmee een rustiger klepsturing gerealiseerd kan worden.

De klimaatcomputer registreert daarnaast de voor de berekeningen van het energieverbruik relevante gegevens.

Bijlage 2: Energieverbruik per m³ bollen

Bedrijf	Volgens norm 1			Gerealiseerd			Mogelijk		
	cel	per m ³ /120 dgn	kosten €/m ³	cel	per m ³ /120 dgn	%	cel	per m ³ /120 dgn	%
	€			€			%		
Gas (m³)									
Bedrijf 1	1242	7,8	2,35	1897	12,0	-53%	1740	11,0	-40%
Bedrijf 2	8018	26,5	7,96	11207	37,1	-40%	6302	20,8	21%
Bedrijf 10	280	3,8	1,13	699	9,4	-150%	3	0,04	99%
Bedrijf 4	3244	38,6	11,59	1838	21,9	43%	866	10,3	73%
Bedrijf 11	1334	11,0	3,31	2540	21,0	-90%	557	4,6	58%
Bedrijf 3	2673	25,3	7,58	1994	18,8	25%	171	1,6	94%
Bedrijf 5	3424	16,9	5,08	954	4,7	72%	586	2,9	83%
Bedrijf 7	13245	46,0	13,79	5756	20,0	57%	1390	4,8	90%
Bedrijf 8	7465	34,5	10,35	1982	9,2	73%	1297	6,0	83%
Bedrijf 9	1722	16,7	5,02	567	5,5	67%	169	6,3	62%
gemiddeld	4265	22,7	6,81	2943	16,0	30%	1308	6,8	70%
excl. Bedrijf 1, 10 en 11	5684	29,2	8,77	3471	16,7	43%	1540	7,5	74%
Elektra (kWh)									
Bedrijf 1	28719	181,0	21,72	29505	186	-3%	14828	93,5	48%
Bedrijf 2	26911	89,0	10,68	12986	43	52%	9601	31,8	64%
Bedrijf 10	14385	193,5	23,22	9903	133	31%	2098	28,2	85%
Bedrijf 4	14316	170,5	20,46	10503	125	27%	4303	51,3	70%
Bedrijf 11	21594	178,5	21,42	7143	59	67%	928	7,7	96%
Bedrijf 3	22763	215,2	25,82	12545	119	45%	2035	19,2	91%
Bedrijf 5	23199	114,6	13,76	18188	90	22%	4525	22,4	80%
Bedrijf 7	33038	114,7	13,76	6676	23	80%	8374	29,1	75%
Bedrijf 8	26863	124,1	14,89	9184	42	66%	2262	10,5	92%
Bedrijf 9	13916	135,1	16,21	2884	28	79%	1887	18,3	86%
gemiddeld	22571	151,6	18,19	11952	85	44%	5084	31,2	79%
excl. Bedrijf 1, 10 en 11	23001	137,6	16,51	10424	67,2	51%	4713	26,1	81%
Totaal energieverbruik (MJ)									
Bedrijf 1	302158	1905	24,07	332276	2094	-10%	194651	1227	36%
Bedrijf 2	524183	1734	18,64	511008	1691	3%	308053	1019	41%
Bedrijf 10	193324	1874	24,35	113730	1530	18%	18998	256	86%
Bedrijf 4	242948	2894	32,06	159167	1896	34%	69200	824	72%
Bedrijf 11	241254	1994	24,72	153625	1270	36%	27940	231	88%
Bedrijf 3	298868	2825	33,40	183033	1730	39%	24331	230	92%
Bedrijf 5	329210	1627	18,83	197247	975	40%	61342	303	81%
Bedrijf 7	763169	2649	27,55	262507	911	66%	124246	431	84%
Bedrijf 8	504327	2330	25,24	152366	704	70%	65981	305	87%
Bedrijf 9	185807	1804	21,23	45899	446	75%	22923	223	88%
gemiddeld	353125	2163	25,01	211086	1325	39%	91767	505	77%
excl. Bedrijf 1, 10 en 11	406930	2266	25,28	215890	1193	47%	96582	476	79%

