

State-of-the-Art bewaarsysteem tulpenbollen

Resultaten 2009

J. Wildschut, H. Gude, M. van Dam (PPO)
A. Sapounas (WUR Glas)
M. Kok, Th. van der Gulik (DLV Plant)

© 2010 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

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

Dit project is uitgevoerd in opdracht van en gefinancierd door de partijen in de Meerjarenaafpraak energie Bloembollen (KAVB, PT, LNV, Agentschap NL 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.....	7
3 RESULTATEN ENERGIEVERBRUIK.....	9
3.1 Energiebesparingen	9
3.2 Achtergronden.....	11
3.3 Vergelijking resultaten 2009 ↔ 2008	13
4 AANVULLEND ONDERZOEK	14
4.1 Gerooide bollen van in 2008 bewaard plantgoed	14
4.2 Broei van in 2009 bewaarde broeibollen	15
4.3 Ethyleenmetingen buiten de bewaarcel	17
4.4 CFD-modellering	18
4.5 Toepassing schans e.a. aanpassingen éénlaagssysteem	21
4.6 Luchtverdeling twee-laagssysteem	27
4.7 RV- en temperatuurmetingen tussen de bollen	29
4.8 Computergestuurde circulatie.....	31
5 COMMUNICATIE.....	34
6 CONCLUSIES & AANBEVELINGEN	37
BIJLAGE 1: STATE-OF-THE-ART BEWAREN VAN TULPENBOLLEN.....	39
BIJLAGE 2: ENERGIEVERBRUIK PER M ³ BOLLEN VOLGENS 5 VERSCHILLENDE SCENARIO'S.....	41

Samenvatting

Voor het 3^{de} jaar op rij hebben de deelnemende bedrijven bij de bewaring van tulpenbollen een forse besparing op energieverbruik t.o.v. bewaring volgens de norm gerealiseerd: 4 – 88% (gemiddeld 42%) op gas, 3 – 67% (gemiddeld 45%) op elektra en 3 – 76% (gemiddeld 44%) in totaal. De besparingen op gas hadden nog groter kunnen zijn wanneer alle bedrijven de ventilatie gedurende de gehele bewaarperiode op 100 ppb ethyleen gestuurd hadden en daarbij de minimum klepstand niet hoger dan 15 – 20 % hadden ingesteld. Ook het elektraverbruik had nog lager kunnen zijn wanneer alle bedrijven de frequentie van de circulatieventilatoren lager hadden ingesteld.

Het project State-of-the-Art bewaren van tulpenbollen ging in 2007 van start met 4 bloembollenbedrijven, werd in 2008 uitgebreid tot 8 bedrijven en 2009 met een 9^{de} bedrijf. Dit bedrijf past behalve ethyleenanalysers, frequentieregelaars, moderne systeemwanden en een klimaatcomputer ook een zonnedak toe. Hierdoor werd op gas 45% extra bespaard.

De op de bedrijven bewaarde monsters van één partij broeibollen lieten bij de broei zien dat alle tulpen zonder uitzondering van goede kwaliteit waren, en goed op lengte en gewicht. Ook bleek dat veel ventileren tot meer uitdroging leidt en dat meer uitdroging bij de broei tot iets kortere tulpen kan leiden. Op het plantgewicht had de uitdroging geen effect.

Berekeningen met CFD-modellen en testen in de praktijk gaven aan dat bij een 6 hoog x 10 diep éénlaagssysteem de schans met een breedte van 40 cm, en 70 cm van de onderste uitblaasopening onder een hoek van 47 graden geplaatst, het meest effectief is. Als dan de bovenste uitblaasopening ook nog aerodynamisch verkleind wordt verbetert de luchtverdeling sterk.

Met eenvoudige aanpassingen (2 driehoekige latjes in de 2^{de} en één in de 3^{de} uitblaasopening) is de luchtverdeling nog verder te verbeteren. Hierdoor kan flink worden teruggetoerd wat een energiebesparing tot meer dan 50% kan opleveren.

De aanpassingen zijn echter niet direct copieërbaar naar een drukwand met andere afmetingen. Ook de diepte van de stapeling speelt een rol: Tussen 10 diep en 8 of 7 diep gestapeld zal vermoedelijk niet veel verschil zijn, 4 diep of minder geeft wel een andere verdeling van de lucht over de lagen. Het optimale ontwerp van een drukwand is dus maatwerk. Per bewaarcel moet bij het optimaliseren van de drukwand worden uitgegaan van de meest gangbare stapeling.

De luchtverdeling in een tweelaagssysteem (5 hoog x 8 diep) is moeilijker precies te meten, blijkt zeer ongelijkmatig en is ook moeilijker te verbeteren. De schans zoals getest in het éénlaagssysteem is hier minder effectief. Het met platen afdekken van de bovenste kistenlaag met een uitblaasspleet van slechts 1 cm breedte blijkt het debiet in laag 4 flink te verbeteren. Om de luchtstroom in de onderste laag te verminderen en dit ten goede van de lagen erboven te laten komen, is het aerodynamisch verkleinen van de onderste uitblaasopening vermoedelijk het meest effectief.

In het 5 hoog x 8 diep tweelaagssysteem heeft de 2^{de} laag een veel kleiner debiet dan de eerste laag. Dit kan een factor 4 – 5 schelen. Ondanks dit verschil traden er gedurende een meetperiode van 19 dagen in RV en temperatuur geen verschillen op tussen kisten van de verschillende lagen. Deze resultaten wijzen er op dat om temperatuurs- en RV-verschillen tussen kisten te minimaliseren een veel lagere circulatienorm dan 500 m³/uur per m³ bollen voldoende is.

Bij de ontwikkeling van computergestuurde circulatie is nog onvoldoende bereikt om deze te kunnen toepassen. In tegenstelling tot sturing op ethyleen, die alleen bij tulp toegepast kan worden, zouden de geautomatiseerde circulatieregelingen gebaseerd op debietmetingen toepasbaar zijn voor alle bolgewassen. De impact van computergestuurde circulatie op het energieverbruik van de bloembollensector kan daarmee heel groot zijn. Computergestuurde circulatie blijkt echter te veelomvattend (verschillende regelingen mogelijk, verschillende type sensoren, combineren van meerdere computersystemen, etc.) om als onderdeel van het StArt-project meegenomen te kunnen worden. Daarom wordt deze ontwikkeling in een nieuw project voortgezet: Computergestuurde Circulatieregelingen.

1 Inleiding

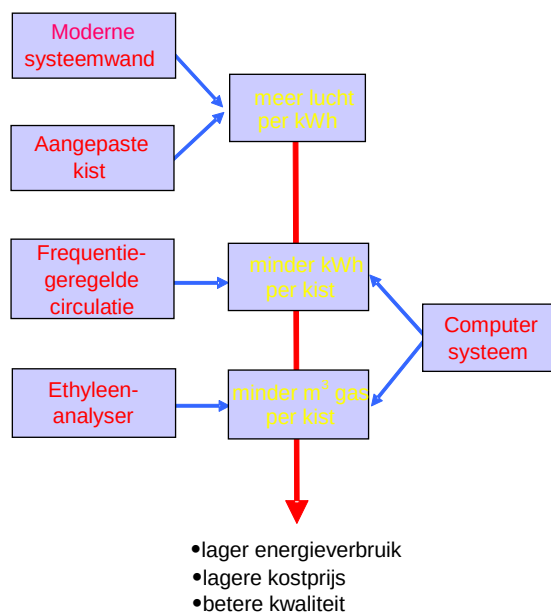
Het meerjarenproject “State-of-the-Art bewaren van tulpenbollen” is door PPO-Bloembollen in 2007 opgestart in samenwerking met 4 bloembollenbedrijven, DLV-Plant, Sercom Regeltechniek B.V., Omnivent, Omnihout, Hatech, EMS en de installateursbedrijven Polytechniek, Installatiebureau Eval en Kaandorp-Wijnker. 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. Dit laatste bedrijf ontwikkelde ism. Omnihout een verbeterde kuubskist waaraan in 2008 door PPO en DLVPlant in het kader van het State-of-the-Art project metingen zijn uitgevoerd. Deze gaven aanleiding om met Fa. N.J.J. de Wit en Zn de kuubskist verder te ontwikkelen in een nieuw project: “Verbetering Kuubskist”. In 2009 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.

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 de huidige stand der techniek aan energiebesparing in de bewaring bij tulp mogelijk is.

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



2 Werkwijze

Om de energiebesparingen te demonstreren zijn op alle 9 deelnemende bedrijven aan het eind van het bewaarperiode de klimaatcomputers uitgelezen, waarmee o.a. het gerealiseerde energieverbruik per cel is berekend volgens de methode beschreven in het rapport “State-of-the-Art bewaarsysteem tulpenbollen, 2007”, kort samengevat in box1. Hiertoe is op bedrijf 9 voor cel 1 de klepstandkarakteristiek bepaald (verband ventilatiedebiet en klepstand) en op bedrijf 1 is het circulatiedebiet bij verschillende frequentie-instellingen gemeten. Voor de overige bedrijven waren deze gegevens al in 2007 of 2008 bepaald.

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.

Om het effect van het State-of-the-Art bewaren op de kwaliteit van de bollen te demonstreren zijn op alle deelnemende bedrijven, *plus* op 2 bedrijven die volgens de standaard norm bewaren, van één partij monsters plantgoed en broeibollen bewaard. De in 2008 bewaarde en opgeplante monsters plantgoed (Leen van de Mark) zijn in 2009 geroid, gepeld en gesorteerd, waarna de mate van verklustering is bepaald.

In 2009 is dit herhaald met bollen van een partij Cheirosa (4 zakjes per bedrijf met 200 resp. 100 bollen). Direct na de bewaring is de gewichtsafname van de bollen bepaald en zijn ze bij PPO in Lisse op het veld opgeplant resp. na de koele bewaring gebroeid.

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

Op enkele bedrijven is met door Hatech/EMS beschikbaar gestelde losse ethyleenanalysers het ethyleengehalte gemeten in het luchtaanvoer kanaal voor de celventilatie, in de bedrijfshal en tussen net geroidde bollen in een kuubskist.

Met CFD-modellen zijn berekeningen uitgevoerd waarmee de optimale dimensie en positie van de schans in een moderne éénlaags drukwand bepaald is. Dit is vervolgens op één van de deelnemende bedrijven uitgebreid getest. Daarnaast zijn ook andere typen éénlaags drukwanden doorgemeten.

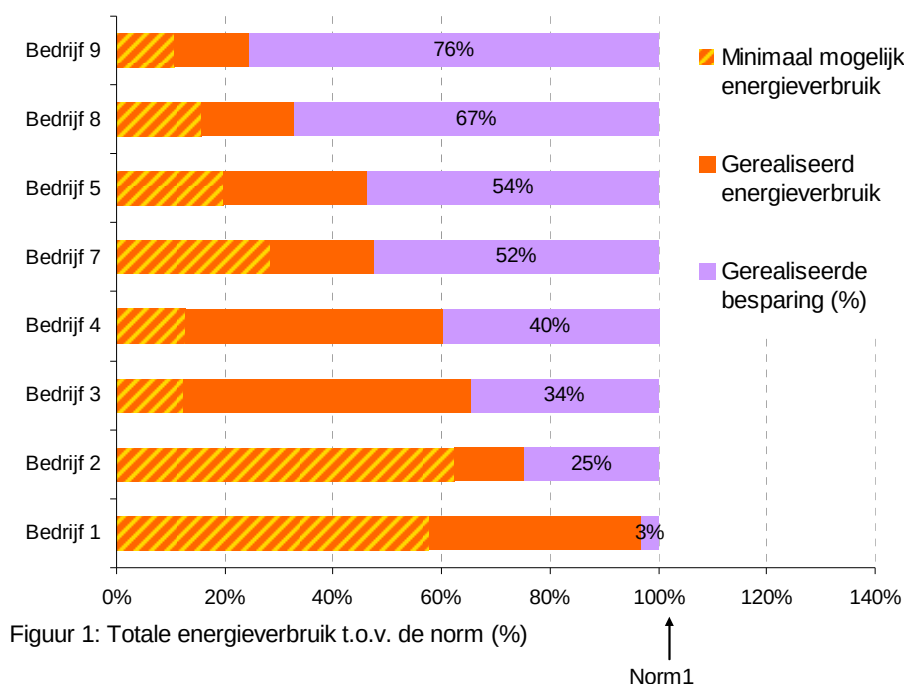
Op een ander bedrijf is de luchtverdeling van een tweelaags drukwand doorgemeten en zijn mogelijke verbeteringen getest. Op dat bedrijf zijn ook de temperatuur en de RV tussen de bollen gedurende enkele weken in alle kisten van de onderste en de 2^{de} laag gemeten om na te gaan of ook bij lage circulatiedebieten temperatuur- en RV-verschillen tussen kisten minimaal blijven.

Twee vormen van computergestuurde circulatie zijn met de betrokken technische bedrijven nader onderzocht: Eén op basis van met ethyleengestuurde klepstand evenredige frequentie-instelling, een ander op basis van debietmeting evenredig met het quotiënt van het energieverbruik van de ventilator en het drukverschil tussen drukwand en cel (watt/Pa).

3 Resultaten Energieverbruik

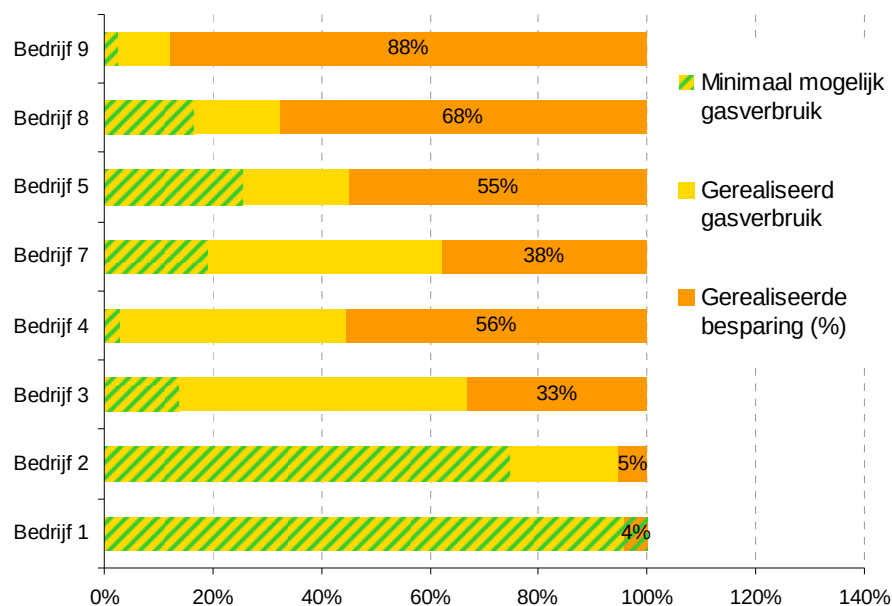
3.1 Energiebesparingen

Per bedrijf 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. Norm1 wil zeggen: ventileren met 100 m³ lucht/m³ bollen/uur tot 1 september, daarna met 60 m³, circuleren met 50 Hz tot 1 september, daarna op 50% lucht met aan/uit, zie ook Bijlage 2. Het energieverbruik bij bewaring volgens die norm verschilt per bedrijf, omdat elk bedrijf andere celtemperaturen hanteert, de temperatuur van de buitenlucht anders is (de gemiddelde ΔT dus ook verschilt), 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. het bewaren op dat bedrijf volgens de norm1, zie figuur 1 voor de relatieve besparingen op het totale energieverbruik (gas *plus* elektra). Het minimaal mogelijke energieverbruik is het berekende energieverbruik bij bewaren met een op 100 ppb ingestelde ethyleengrens en een minimum klepstand van 15%, plus frequentie geregeld circuleren evenredig aan de klepstand, maar met een minimum frequentie van 15 - 20 Hz. Voor de absolute besparingen en besparingsmogelijkheden o.a. per m³ bollen per 120 dagen, zie Bijlage 2.



Bedrijf 9 heeft een energieverbruik gerealiseerd van 24% (rode balk *plus* geel gearceerde balk) t.o.v. norm1 en daarmee dus 76% minder energie verbruikt dan als er volgens die norm bewaard zou zijn. Toch had het energieverbruik nog lager kunnen zijn: 11% t.o.v. de norm (geel gearceerde balk). De energiebesparing zou dan 89% zijn geweest. Bedrijf 1 heeft 3% energie bespaard, maar had 42% kunnen besparen. Op bedrijven 3 en 4 is nog veel ruimte om meer energie te besparen (rode balkjes), n.l. respectievelijk 53% en 48% extra. Bedrijf 2 had niet meer dan 13% extra kunnen besparen. Gemiddeld is er op de 8 bedrijven 44% energie bespaard t.o.v. bewaren volgens de norm, 73% was maximaal mogelijk geweest.

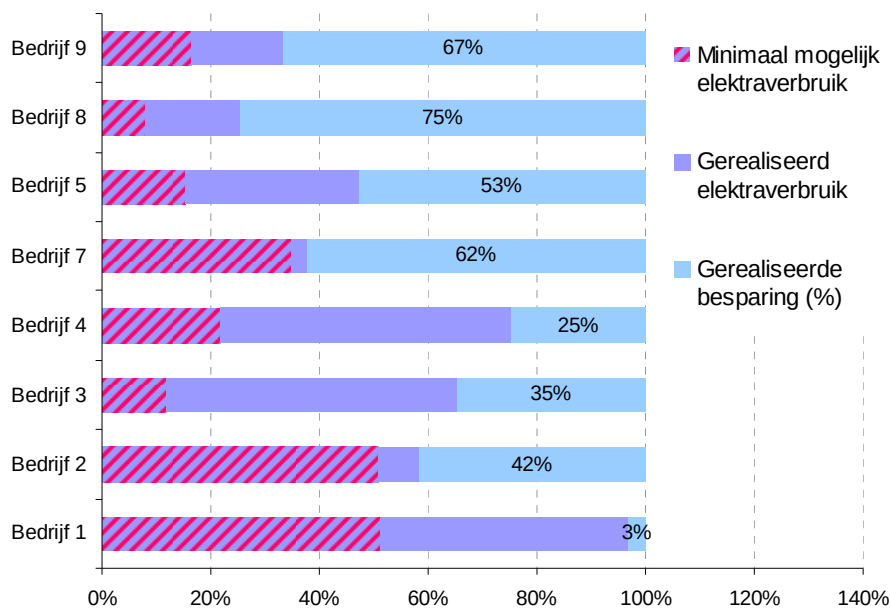
In figuur 2 is de energiebesparing op gas samengevat. De twee uitersten: Bedrijf 9 bespaarde 88% aan gas, waarvan een deel gerealiseerd door het zonnedak, Bedrijf 1 heeft 4% bespaard op gas maar gezien de



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

relatief hoge ethyleenconcentraties had eigenlijk juist meer geventileerd moeten worden, zie § 3.2 Achtergronden. Bedrijven 3, 4 en 7 hadden fors meer op gas kunnen besparen. Gemiddeld is op de 8 bedrijven 42% op gas bespaard, 68% was mogelijk geweest.

De besparingen op elektra zijn samengevat in figuur 3. De besparing zijn fors en Bedrijven 2 en 7 zitten bijna op het minimaal mogelijke. Op Bedrijven 1, 3 en 4 had nog flink meer bespaard kunnen worden. Gemiddeld is op de 8 bedrijven 45% op elektra bespaard, 74% was mogelijk geweest.



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

3.2 Achtergronden

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

Tabel 1: Bedrijfsgegevens Ventilatie.

	Bedrijf 1	Bedrijf 2	Bedrijf 3	Bedrijf 4	Bedrijf 5	Bedrijf 7	Bedrijf 8	Bedrijf 9
max m3 bollen/cel	192	324	134	143	216	346	230	106
m3/uur	19000	40000	13500	12000	26000	37000	35000	8260
max m3 lucht/m3 bollen	99	123	100	84	120	107	152	78
gemiddeld m3 lucht/m3 bollen	80	76	58	43	63	62	37	26
Tcel	20,7	20,6	22,2	22,7	22,4	21,7	21,8	20,9
Tbuiten**	17,2	15,4	18,2	16,2	17,0	16,3	15,5	17,2
ΔT	3,4	5,2	4,0	6,5	5,5	5,4	6,3	3,7
Bewaarperiode								
start	26-jun-09	1-jul-09	13-jun-09	26-jun-09	18-jun-09	1-jul-09	17-jun-09	16-jul-09
einde	28-okt-09	27-nov-09	10-okt-09	23-nov-09	2-nov-09	25-okt-09	9-nov-09	4-nov-09
periode	124	149	119	149	137	117	145	111
dagen met data	113	127	111	125	134	107	143	102
Gemiddelde klepstand (%)	81	61	58	51	52	58	25	34
minimum klepstand 1ste 6 weken	15%	35-45%	50%	50%	?	40%	40%	30%
maximum klepstand 1ste 6 weken	100%	90%	80%	100%	100%	100%	100%	100%
minimum klepstand laatste 6 weken	?	15%	30%	20%	5%	40%	10%	25%
maximum klepstand laatste 6 weken	75%	100%	75%	40%	55%	65%	100%	100%
Gemiddeld ethyleen (ppb)	139	51	23	15	44	59	21	31
gemiddelde ethyleengrens (ppb)	147	90	75	100	67	-*	100	80
dagen gestuurd op ethyleen	113	96	59	60	134	-*	143	102
idem in % van de bewaarperiode	100%	76%	53%	48%	100%	-*	100%	100%
berekend % zuur	6,6	2,1	0,6	0,3	1,2	2,0	0,3	0,4
Ethyleenblootstelling (dagen)								
> 100 ppb	61,9	3,4	1,0	1,3	13,6	7,3	3,8	0,8
> 200 ppb	35,5	0,7	0,3	0,1	3,3	0,6	0,6	0,1

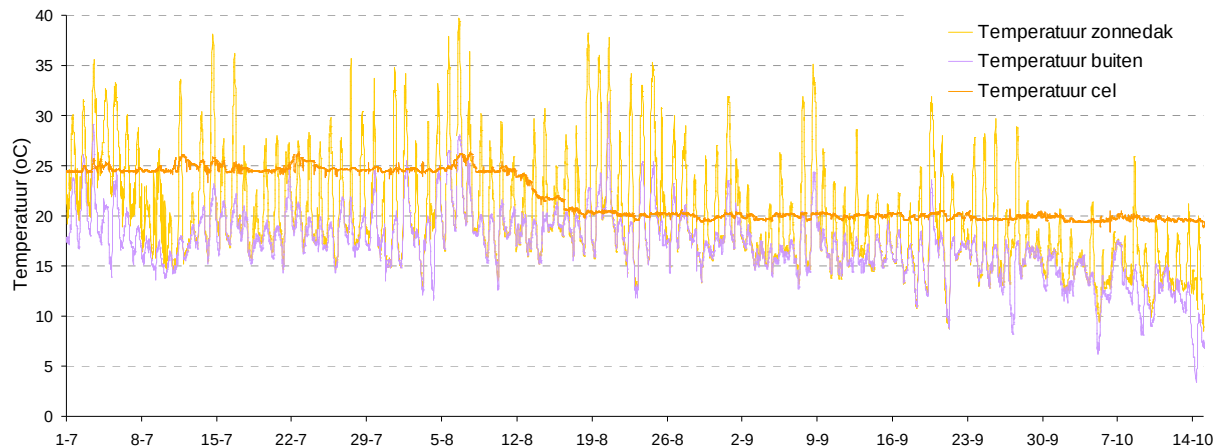
* niet geregistreerd door de klimaatcomputer

** Bedrijf 9; De aangegeven temperatuur is die van de door het zonnedak opgewarmde lucht, de werkelijke buiten temperatuur is gemiddeld 15,7 °C, $\Delta T = 5,2$.

Bedrijven 1, 5, 7, 8 en 9 stuurden de ventilatie gedurende de volledige bewaarperiode op ethyleen. Bedrijven 2, 3 en 4 stuurden respectievelijk 76%, 53% en 48% van de bewaarperiode op ethyleen. De ingestelde gemiddelde ethyleengrens varieerde van 67 ppb tot 147 ppb. Voor plantgoed en leverbaar is een grens van 100 ppb absoluut veilig en voor leverbare bollen kan een hogere grens ingesteld worden. Dat is door Bedrijf 1 gerealiseerd (de gemiddelde ingestelde ethyleengrens was 147 ppb), waardoor ondanks een hoog berekend percentage zuur (of zure bollen met een zeer hoge ethyleenproductie, of een hoog ethyleengehalte in het aanvoerkanaal van de ventilatie), toch iets aan gas werd bespaard. Het minimaal mogelijk gasverbruik wordt berekend op basis van de 100 ppb-grens waardoor dit voor Bedrijf 1 hoger uitkomt dan het gerealiseerde gasverbruik. Bedrijven 3 en 4 hadden fors meer op gas kunnen besparen door de minimum klepstand lager in te stellen en de volledige bewaarperiode op ethyleen te sturen en daarbij de ethyleengrens op 100 te stellen. Ook bedrijf 7 kan de minimum klepstand lager instellen.

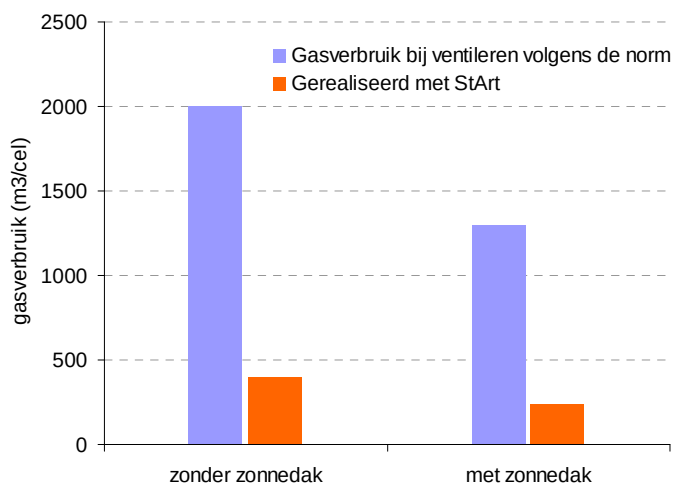
Bedrijf 9 past een zonnedak toe, waarvan het principe is dat de voor ventilatie aangezogen lucht door het zonnedak voorverwarmd wordt. Is de lucht dan warmer dan de gewenste celtemperatuur dan wordt bijgemengd met direct aangezogen buitenlucht. Door de temperatuur van de cel, de buitenlucht en van de lucht die via het zonnedak wordt aangezogen te meten, figuur 4, kan het rendement van het zonnedak worden bepaald.

De figuur laat zien dat de temperatuur in het zonnedak overdag tot ver boven de celtemperatuur kan oplopen, s' nachts is de temperatuur iets groter of gelijk aan die van de buitenlucht.



Figuur 4: Temperatuur zonnedak, buitenlucht en cel.

Uit de verschillen tussen de temperatuur van het zonnedak, van de buitenlucht en in de cel kan worden berekend dat gemiddeld over de bewaarperiode het voor ventilatie op te warmen temperatuursverschil (ΔT) gelijk is aan 3,7 °C. Zonder zonnedak is dat 5,2 °C. Gecombineerd met het ventilatiedebiet resulteert dit in een besparing op gas van 35 – 40%, figuur 5. Door ethyleengestuurd ventileren hoeft de capaciteit van het zonnedak idg. minder groot te zijn.



Figuur 5: Besparing op gasverbruik door het zonnedak.

Bij de Bedrijven 7, 8 en 9 was de gemiddelde frequentie-instelling 25 – 28 Hz, tabel 2. Deze bedrijven bespaarden dan ook het meest op elektra. Het rendement van de ventilatoren (m³ lucht/watt) is bij de bedrijven 1, 3 en 4 het laagst waardoor het absolute elektraverbruik volgens norm1 het hoogst is (Bijlage 2). Op Bedrijf 1 is de maximale frequentie-instelling 60 Hz, maar een gemiddelde van 55 Hz is gerealiseerd. De besparing op elektra is op dit bedrijf dus klein. In 2008 is op dit bedrijf het debiet van de ventilatoren gemeten zonder kisten met bollen voor de drukwand, maar met door kussens half afgesloten palletkanalen. In 2009 is het debiet gemeten met een volledige kistenstapeling, bij 60 Hz. Het debiet bleek lager dan met de kussens in de wand (406 m³/m³ bollen/uur i.t.t. 714 gemeten in 2008).

Tabel 2: Bedrijfsgegevens Circulatie.

	Bedrijf 1	Bedrijf 2	Bedrijf 3	Bedrijf 4	Bedrijf 5	Bedrijf 7	Bedrijf 8	Bedrijf 9
lagen bewaarsysteem	2	1	1	2	1	2	1	2
ronde uitblaas	ja	nee	nee	nee	nee	ja	ja	ja
m3 bollen/kist	1,20	1,20	1,20	0,85	1,20	1,20	1,20	1,00
aantal ventilatoren/cel	2	5	4	3	4	6	4	2
kW/ventilator	7,00	3,00	2,53	2,64	2,68	2,67	2,85	2,60
kW tot per cel	14,00	15,00	10,12	7,92	10,72	16,02	11,40	5,20
Watt/m3 bollen	73	46	75	55	50	46	49	49
m3 lucht/m3 bollen bij 50 Hz	338	508	628	367	505	582	663	-*
m3 lucht/watt (bij 50 Hz)	7,2	11,0	8,3	6,6	10,2	12,6	13,4	-*
m3 lucht/watt (bij 25 Hz)	28,9	43,9	33,4	26,5	40,7	50,2	53,6	-*
minimum frequentie instelling (Hz)								
gem. Hz	55,0	38,1	39,9	39,3	36,3	25,0	25,6	27,9
m3 lucht/m3 bollen gemiddeld	372	388	501	289	366	291	339	-*

* nog niet gemeten

3.3 Vergelijking resultaten 2009 ↔ 2008

In 2007 werd, t.o.v. de norm, door de 3 bedrijven waarvan het energieverbruik kon worden bepaald 51% op gas, 57% op elektra en in totaal 54% op energie bespaard. In 2008 is gemiddeld op alle (7) deelnemende bedrijven 49% op gas, 36% op elektra en in totaal 38% op energie bespaard. In 2009 was dat bij de 8 bedrijven respectievelijk 42%, 45% en 44%. Gemiddeld hadden de bedrijven in 2008 op het totale energieverbruik nog 36% meer kunnen besparen, in 2009 was dat 29%.

Voor de in de jaren 2008 en 2009 deelnemende bedrijven zijn enkele voor energieverbruik belangrijke parameters samengevat in tabel 3. Bedrijf 2 heeft bijvoorbeeld in de beschouwde periode in 2009 op gemiddeld 5,9 Hz lager gecirculeerd waardoor er meer op elektra werd bespaard dan in 2008. Bedrijf 7 had een iets hoger berekend percentage zure bollen, en een 32% hogere gemiddelde klepstand dan in 2008 en bespaarde daarom minder op gas.

Tabel 3: Vergelijking 2009 ↔ 2008.

	Verschil met 2008 (absolute waarden)						bespaard op gas		bespaard op elektra		Totaal bespaard	
	gem. Hz	ΔT	Tcel	Tbuiten	Gemiddelde klepstand (%)	berekend % zuur	2008	2009	2008	2009	2008	2009
Bedrijf 1	-4,0	1,1	1,3	0,2	7	2,6	50%	4%	-17%	3%	-9%	3%
Bedrijf 2	-5,9	-2,9	-3,9	-1,0	-1	1,0	4%	5%	15%	42%	10%	25%
Bedrijf 3	3,6	-1,7	0,3	2,0	-5	0,1	20%	33%	43%	35%	33%	34%
Bedrijf 4	-1,4	-0,1	0,3	0,5	-6	-0,1	49%	56%	24%	25%	37%	40%
Bedrijf 5	-2,1	2,0	2,4	0,4	14	0,4	73%	55%	30%	53%	40%	54%
Bedrijf 7	0,0	0,5	0,2	-0,3	32	1,0	79%	38%	60%	62%	68%	52%
Bedrijf 8	0,5	0,1	0,8	0,6	11	0,0	80%	59%	78%	75%	79%	67%

4 Aanvullend onderzoek

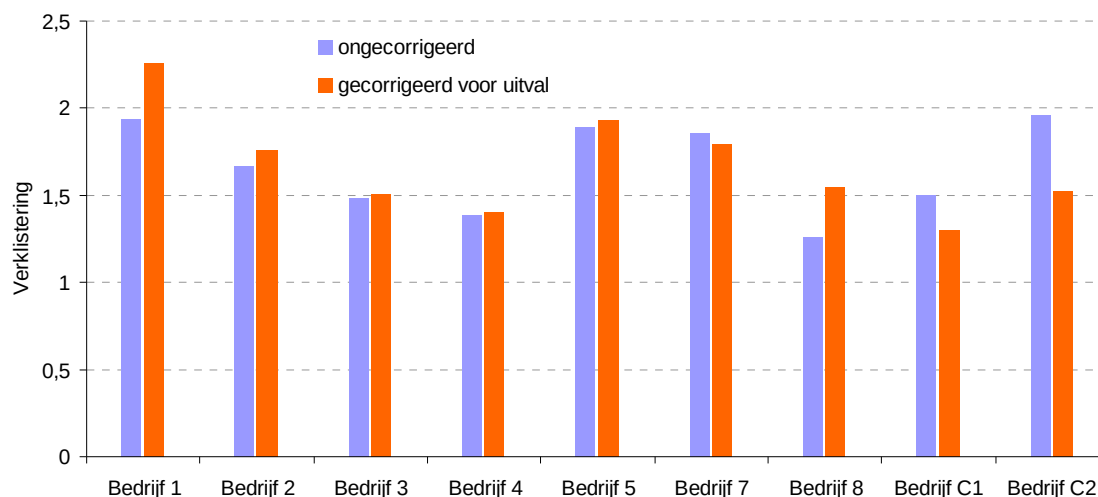
4.1 Gerooide bollen van in 2008 bewaard plantgoed

Van één partij Leen van de Mark zijn in 2008 op elk van de 7 State-of-the-Art bedrijven *en* ter vergelijking op twee niet- State-of-the-Art bedrijven (Bedrijf C1 en C2) 4 x 200 plantgoedbollen bewaard, en daarna opgeplant bij PPO Lisse. Bij de oogst in 2009 is de mate van verklijstering bepaald:

Het aantal bollen groter dan maat 5 en kleiner dan maat 10 *gedeeld* door het aantal bollen groter of gelijk aan maat 10.

Het deel van het proefveld waarop het bewaarde plantgoed in 4 herhalingen was opgeplant bleek in maart 2009 geïnfecteerd met de bodemschimmel *Rhizoctonia* wat op meer dan 20 van de 35 veldjes tot uitval leidde van 10 tot 80%. De mate van verklijstering werd hierdoor beïnvloed: op de veldjes met veel uitval was de verklijstering hoger. De data zijn daarom gecorrigeerd voor het effect van uitval door het percentage uitval in de ANOVA als covariant op te nemen.

In figuur 6 en tabel 4 zijn de resultaten samengevat.



Figuur 6: Mate van verklijstering van op verschillende bedrijven bewaard plantgoed.

Zonder correctie op uitval zijn er door de grote spreiding geen significante verschillen tussen de bedrijven ($p=0,6354$). Na correctie voor uitval is er een licht significant verschil tussen bedrijven ($p=0,0462$). Bedrijf 1 springt er nu iets uit met een verklijstering > 2 . Achtergrond hierbij zou kunnen zijn dat op dat bedrijf (vermoedelijk door een hoog percentage zure bollen) het plantgoed ruim 35 dagen aan een ethyleengehalte > 100 ppb was blootgesteld, tabel 4.

Tabel 4: Verklistering en mogelijke achtergonden.

	Verklistering		ppb Ethyleen (gem.)	klepstand	dgn blootstelling aan > 100 ppb
	ongecorrigeerd	gecorrigeerd voor uitval			
Bedrijf 1	1,94	2,26	96	74	35,3
Bedrijf 2	1,67	1,77	24	62	7,6
Bedrijf 3	1,48	1,51	16	62	0,6
Bedrijf 4	1,39	1,40	17	57	0,7
Bedrijf 5	1,89	1,93	27	38	0,6
Bedrijf 7	1,86	1,79	57	26	4,4
Bedrijf 8	1,26	1,55	27	14	2,1
Bedrijf C1	1,50	1,30	-	-	-
Bedrijf C2	1,97	1,53	-	-	-
sign	ns	0,0462			
StArt	1,64	1,74			
C1,2	1,73	1,41			
sign	ns	ns			

Het verschil tussen de StArt-bedrijven en de 2 twee niet-StArt-bedrijven is, ook na correctie voor uitval, niet significant.

De conclusie is in de eerste plaats dat de proef door de besmetting van het proefveld met *Rhizoctonia* voor een groot deel mislukt is en dat er daardoor niet geconcludeerd kan worden dat bij op State-of-the-Art bedrijven bewaard plantgoed de verklistering lager (of hoger) is. De data geven wel een indicatie dat bij plantgoed bij langdurige blootstelling aan een ethyleengehalte > 100 ppb (in dit geval 35 dagen) de verklistering toeneemt. Overigens werden op het betreffende bedrijf in cell1 alleen broeibollen bewaard en bij de in dezelfde cel bewaarde broeibollen van Leen van de Mark zijn bij de afbroei geen afwijkingen gevonden (zie: State-of-the-Art, Resultaten 2008).

4.2 Broei van in 2009 bewaarde broeibollen

Van één partij bollen (cultivar Cheirosa) zijn monsters broeibollen op elk StArt bedrijf en ter controle op 2 niet-StArt bedrijven 4 zakjes met elk 100 bollen bewaard. 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. Bij de oogst zijn plantkarakteristieken bepaald als plantlengte, pootlengte, plantgewicht, lengte langste blad, etc..

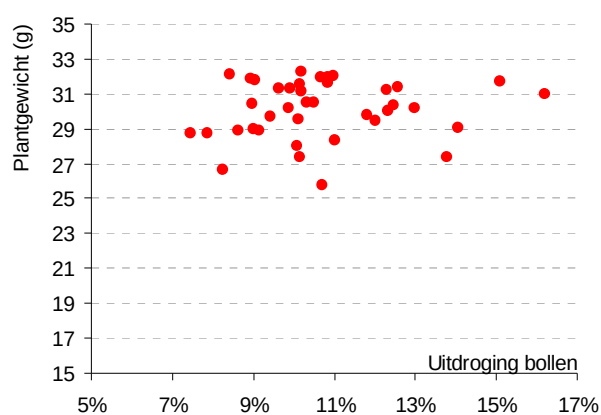
Zonder uitzondering waren alle afgebroeide tulpen van goede kwaliteit, zie foto, en goed op gewicht en lengte, tabel 5.

Wel is er een negatief verband geconstateerd tussen de mate van uitdroging en de lengte van het langste blad en de plant- en pootlengte. De mate van uitdroging had geen effect op het plantgewicht, figuur 7 en 8.

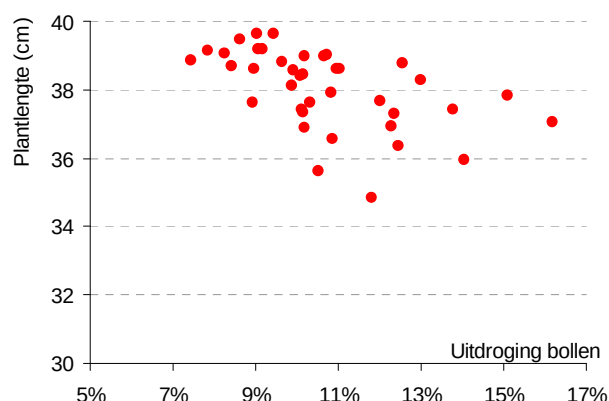


Tabel 5: Uitdroging en plantkarakteristieken afgebroeide bollen.

	uitdroging	Gewicht	plantlengte	Pootlengte	langste blad
Bedrijf 1	13,1%	30,2	37,5	11,2	41,7
Bedrijf 2	12,2%	28,7	36,8	10,6	40,9
Bedrijf 3	11,1%	27,7	38,8	9,9	42,7
Bedrijf 4	11,8%	31,0	37,7	11,7	42,1
Bedrijf 5	11,4%	27,9	35,8	10,2	39,9
Bedrijf 7	9,5%	30,7	38,7	11,5	43,0
Bedrijf 8	9,9%	29,7	39,0	11,0	43,1
Bedrijf 9	9,3%	31,9	38,0	12,5	43,1
Bedrijf C1	10,1%	31,3	38,7	12,0	43,2
Bedrijf C2	8,8%	31,6	38,8	12,1	43,6
LSD		1,2	1,1	0,57	1,1

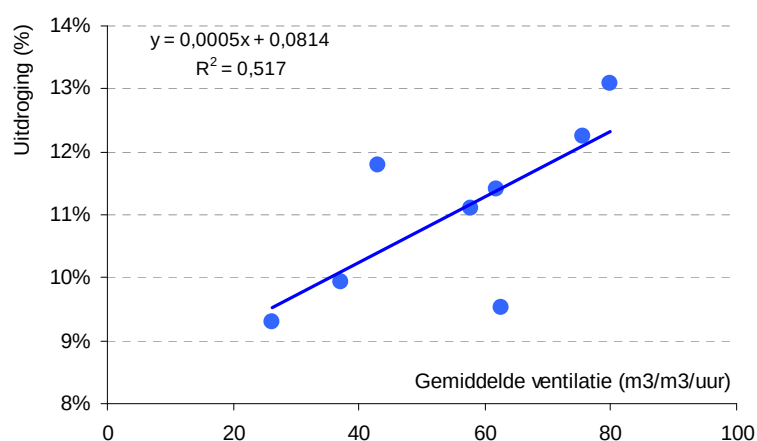


Figuur 7: Verband tussen uitdroging en plantgewicht



Figuur 8: Verband tussen uitdroging en plantlengte.

Van de niet-StArt bedrijven zijn geen ventilatiecijfers bekend, van de StArt-bedrijven is de gemiddelde uitdroging van de 4 zakjes uitgezet tegen de gemiddelde ventilatie gedurende het bewaarseizoen, figuur 9.



Figuur 9: Verband tussen ventilatie en uitdroging.

In de figuur is een duidelijk verband te zien tussen ventilatie en uitdroging. Zonder de twee afwijkende punten, Bedrijf 4 en 5, is het verband nog duidelijker. Dit geeft aanleiding om bij deze twee bedrijven de klepstandkarakteristiek nog eens na te gaan.

Geconcludeerd kan worden dat veel ventileren tot meer uitdroging leidt en dat meer uitdroging bij de broei tot iets kortere tulpen (poot, steel en langste blad) leidt, maar niet tot een lager plantgewicht. Een verschil in deze tussen de StArt-bedrijven en de 2 niet-StArt bedrijven komt niet naar voren. Voor de statistische onderbouwing van genoemde verbanden, zie tabel 6.

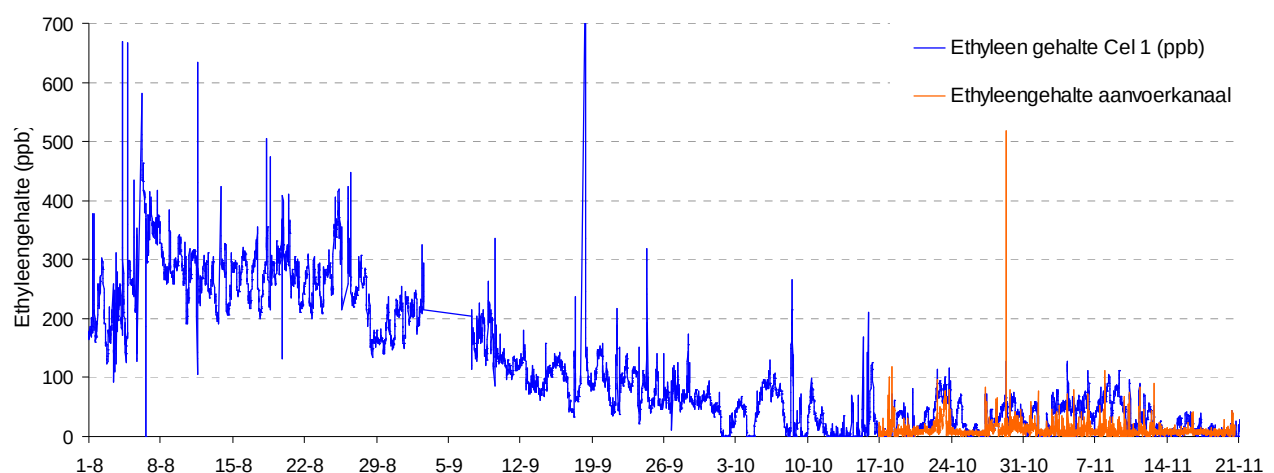
Tabel 6: Regressie en correlatie uitdroging, ventilatie en plantkarakteristieken.

	n	regressie		Correlatie	
		sign.(p)	R2	r	sign.
Uitdroging ↔ plantgewicht	39	0,4670	0,014	12,0%	ns
Uitdroging ↔ plantlengte	39	0,0006	0,279	-52,8%	p<0,01
Uitdroging ↔ langste blad	39	0,0001	0,360	-60,0%	p<0,01
Uitdroging ↔ pootlengte	39	0,0004	0,287	-53,5%	p<0,01
Ventilatie ↔ uitdroging	8	0,0444	0,517	71,9%	p<0,05
Ventilatie ↔ uitdroging (excl. Bedrijf 4 en 5)	6	0,0002	0,977	98,8%	p<0,01

4.3 Ethyleenmetingen buiten de bewaarcel

Op bedrijf 9, dat voor het eerst deelnam aan het StArt-project, is voor een periode van ruim 40 dagen het ethyleengehalte van de buitenlucht gemeten omdat op het bedrijf het vermoeden bestond dat mogelijk rookgassen van het bedrijf, of van elders, bij bepaalde windrichting het ventilatiekanaal in konden komen. In die 40 dagen is het maar heel zelden voorgekomen dat het ethyleengehalte in de buitenlucht boven de 100 ppb kwam. Voor 95.9% van de meetperiode lag het ethyleengehalte onder de 10 ppb, voor 3.8% tussen 10 en 50 ppb en slechts voor 0,1% van de periode kwam het ethyleengehalte boven de 100%, zie tabel 7. Gegevens van het KNMI m.b.t. windrichting gaven een lichte indicatie dat de ethyleenpieken vooral optraden bij zuidwestenwind rond de ochtendspits (de N9).

Op Bedrijf 1, dat voor het 2^{de} jaar op rij een hoog berekend percentage zure bollen had is voor de zekerheid in het aanvoer kanaal voor buitenlucht gemeten. Hier bleek in 28,8% van de meetperiode (van 33 dagen) het ethyleengehalte tussen 10 en 50 ppb te liggen, maar ook slechts 0,1% van de periode boven 100 ppb, tabel 7. Achteraf bleek echter juist gemeten te zijn in een periode dat het ethyleengehalte in de cel alweer gedaald was, figuur 10. In 2010 zal de meting daarom in juli/augustus herhaald worden.



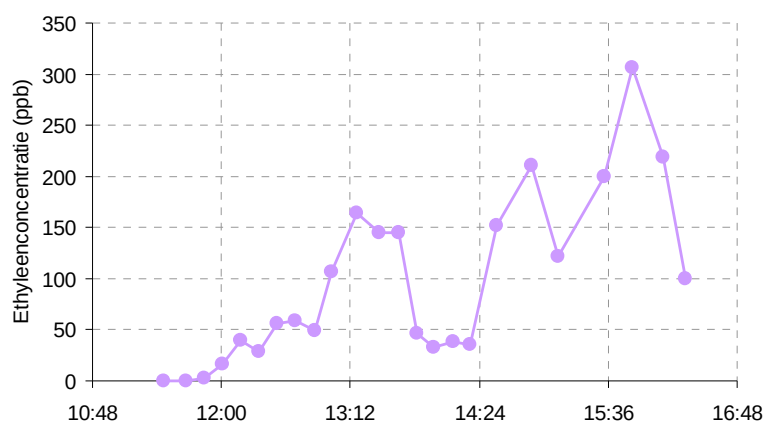
Figuur 10: Ethyleengehalte cellucht en aanvoer kanaal voor ventilatie

Op bedrijf 2 is eerst 32 dagen in de bedrijfshal en vervolgens 33 dagen in de luchtaanvoer voor de ventilatie gemeten. Het ethyleengehalte bleek respectievelijk voor 67,2% en 82,3% van de periode tussen de 10 en de 50 ppb te liggen. Vergeleken met de andere bedrijven is dat hoog en resulteert in een hoger berekend percentage zure bollen. Achtergrond is mogelijk dat in de bedrijfshal ook veel bollen staan, en met tractoren en motorfietsen wordt gereden.

Tabel 7: Ethyleenmetingen buiten de cel.

Bedrijf plaats	Bedrijf 1 buitenlucht	Bedrijf 2 bedrijfshal	Bedrijf 2 buitenlucht	Bedrijf 9 buitenlucht
aantal meetdagen	33	33	32	41
0 - 10 ppb	69,8%	30,7%	10,0%	95,9%
10 - 50 ppb	28,8%	67,2%	82,3%	3,8%
50 - 100 ppb	1,3%	1,3%	6,8%	0,2%
>100 ppb	0,1%	0,8%	0,8%	0,1%

Op bedrijf 5 is gemeten in een net binnen gekomen kuubskist met geoogste bollen die nog niet geventileerd/gecirculeerd werd. Het ethyleengehalte nam gestaag maar mogelijk door tochtvlagen grillig toe tot maximaal 300 ppb.

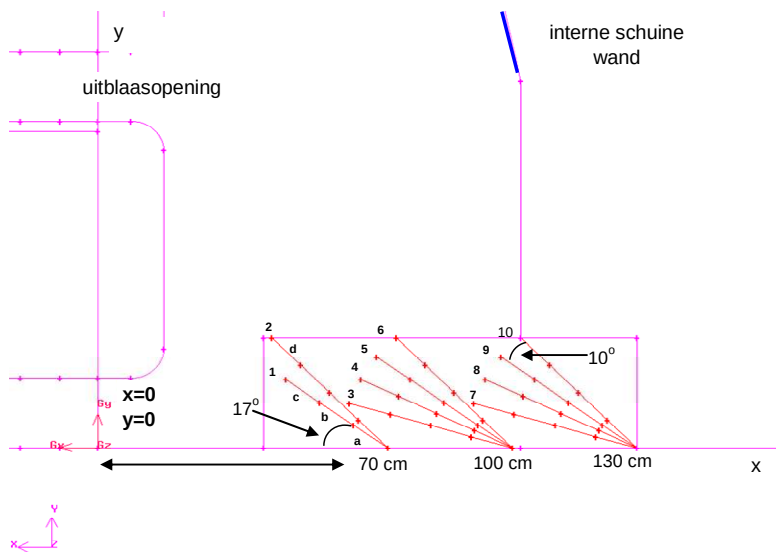


Figuur 11: Ethyleengehalte in een net geoogste kist bollen.

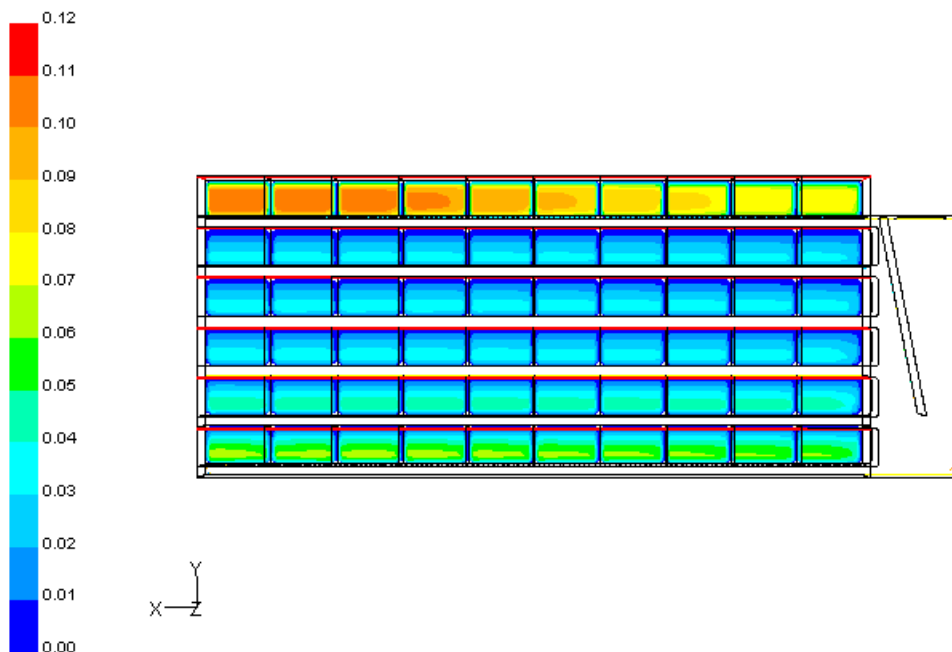
Het is dus van belang na te gaan of ethyleen, van welke oorsprong dan ook, niet in de ventilatiekanalen terecht komt om hiermee te voorkomen dat onnodig geventileerd wordt. Het ethyleengehalte in de buitenlucht is, zoals al eerder werd gemeten, zeer zelden hoger dan 100 ppb.

4.4 CFD-modellering

Om de luchtverdeling over de kistenstapeling voor de drukwand te verbeteren zijn in 2008 op bedrijf 2 een schans voor de onderste uitblaasopening en ook het met platen afdekken van de bovenste kisten getest. De afmeting en de plaatsing van de schans t.o.v. de uitblaasopening waren geheel intuïtief bepaald. Ruim voor de aanvang van het bewaar seizoen 2009 is daarom met CFD-modellen de optimale dimensionering van de schans berekend. Hiertoe zijn voor een drukwand van 170 cm diep, met schuine interne wand en een kistenstapeling van 10 diep x 6 hoog, de effecten op de luchtverdeling gesimuleerd van een schans op 3 verschillende afstanden van de uitblaasopening (op 70 cm, 100 cm en 130 cm), onder 2 – 4 verschillende hoeken en met breedtes variërend van 10 (a) tot 40 cm (d), zie onderstaand schema:

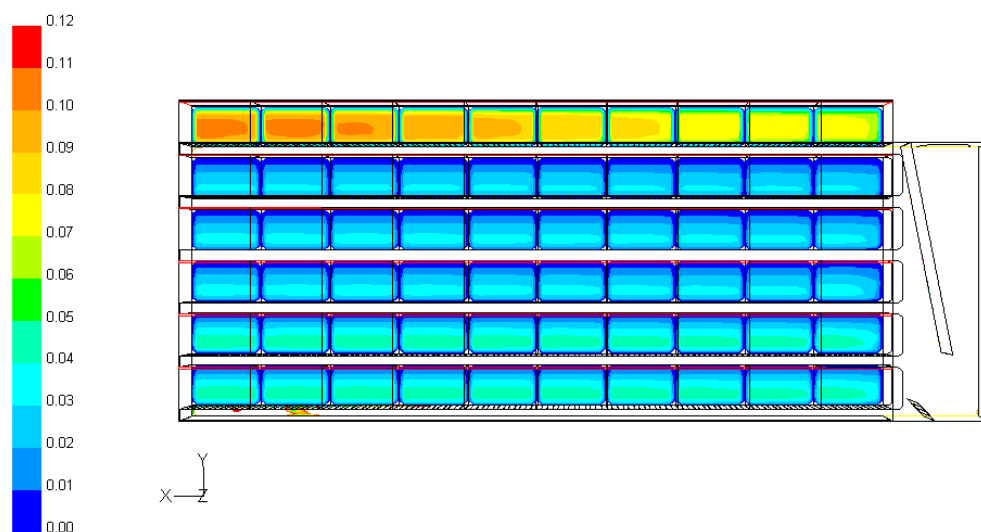


De resultaten zijn vergeleken met de simulatie van de luchtverdeling zonder schans, figuur 12. De figuur laat zien dat volgens de CFD-berekeningen in laag 1 en vooral laag 6 de lichtsnelheid, en dus het debiet, het hoogst is.



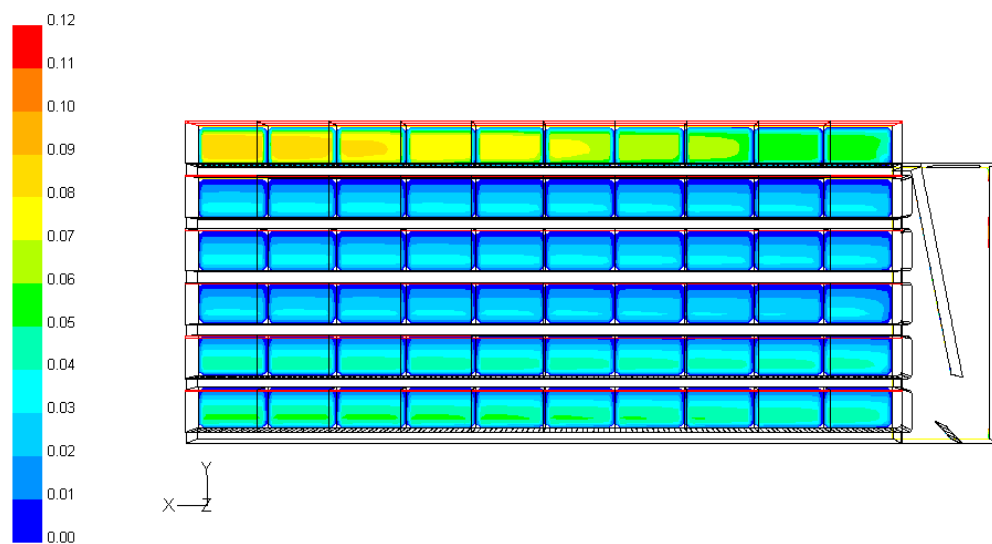
Figuur 12: Verdeling van de lichtsnelheden (m/s) bij een éénlaagssysteem (6 hoog x 10 diep), zonder schans.

De schans 2d (40 cm breed, onder een hoek van 47° , 70 cm vanaf de uitblaasopening), figuur 13, en schans 6d (even breed en onder dezelfde hoek als schans 2b, maar 100 cm vanaf de uitblaasopening), kwamen hierbij voor wat betreft de verdeling over de lagen als gunstigst naar voren. In laag 1 en laag 2 is de lichtsnelheid nu lager.



Figuur 13: Verdeling van de luchtsnelheden (m/s) na plaatsing van schans 2d.

Het verkleinen van de bovenste uitblaasopening met 33% (in plaats van het als onpraktisch geziene afdekken van de bovenste kistenlaag met platen), in combinatie met de schans geeft een nog betere luchtverdeling, figuur 14 voor schans 6d.



Figuur 14: Verdeling van de luchtsnelheden (m/s) na plaatsing van schans 6d *plus* het met 33% verkleinen van de bovenste uitblaasopening.

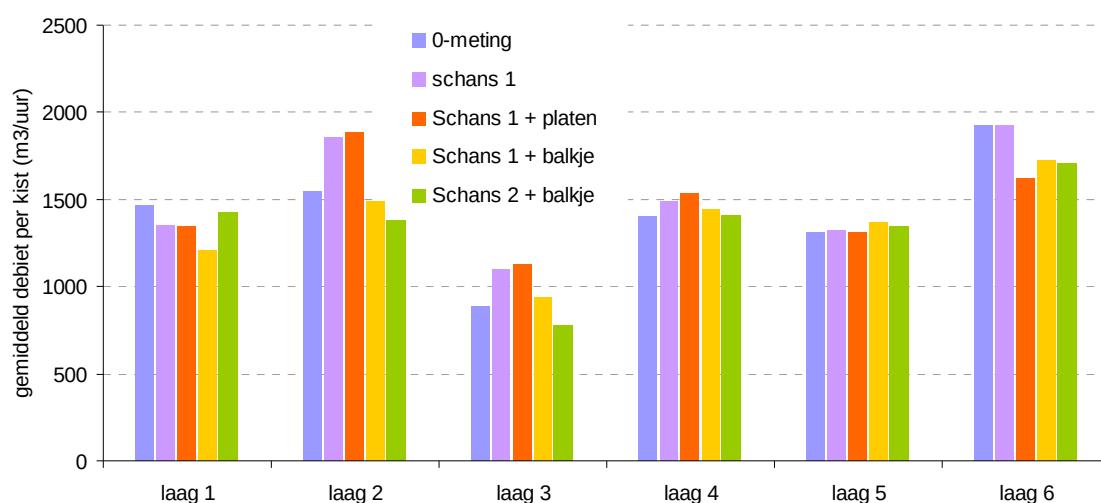
Uit de berekeningen blijkt dus een betere luchtverdeling gerealiseerd te kunnen worden door het plaatsen van een schans van 40 cm breed, onder een hoek van 47°, 70 cm (of 100 cm) van de uitblaasopening, *plus* het verkleinen van de bovenste uitblaasopening.

4.5 Toepassing schans e.a. aanpassingen in een éénlaagssysteem

Hoe de schans en het verkleinen van de bovenste uitblaasopening in de praktijk uitpakken is uitgebreid getest op Bedrijf 2. In een eerste test is bij een kistenstapeling van 6 hoog x 3 diep eerst de luchtverdeling gemeten in de oorspronkelijke situatie. De metingen zijn uitgevoerd met een hete-draad luchtsnelheidsmeter in het palletkanaal halverwege de eerste kist, zie foto. Na het meten van de oorspronkelijke situatie zijn de kisten weggehaald, is de schans op 70cm van de uitblaasopening geplaatst, en zijn de kisten weer teruggezet. Vervolgens is gemeten na het afdekken van de bovenste kistenlaag met platen, na het verkleinen van de bovenste uitblaasopening door een rechte balk (zonder de platen), en na het verplaatsen van de schans naar 100 cm van de uitblaasopening (met verkleinde bovenste uitblaasopening). De resultaten zijn samengevat in figuur 15 en in tabel 8.



De figuur laat zien dat zonder schans de bovenste laag de meeste lucht krijgt, gevolgd door de onderste 2 lagen. In laag 3 is het gemiddelde debiet per kist het laagst. Plaatsing van de schans op 70 cm van de uitblaasopening vermindert het debiet in de onderste laag en vergroot het debiet in laag 2, 3 en 4. Het afdekken met platen verlaagt het debiet in de bovenste laag. Het verkleinen van de uitblaasopening met een balkje lijkt het debiet in de bovenste laag iets minder te verkleinen. Het totale debiet, tabel 8, is nu wel lager. Het plaatsen van de schans op 100 cm van de uitblaasopening verkleint het debiet in laag 1 minder dan plaatsing op 70 cm van de uitblaasopening.



Figuur 15: Resultaten 1ste test schans en verkleinen bovenste uitblaasopening.

Om de aanpassingen aan te kunnen brengen zijn de kisten telkens weg- en teruggezet (behalve bij het afdekken met platen). De kisten komen niet in exact dezelfde positie terug, waardoor het percentage lucht

dat tussen de kisten lekt ook telkens anders is. Een hoger lekpercentage betekent minder weerstand en dus op het meetpunt een hogere lichtsnelheid. Hierdoor worden de verschillen tussen de aanpassingen beïnvloed en moet aan kleine verschillen geen aandacht besteed worden. In grote lijnen kan uit de metingen worden geconcludeerd dat:

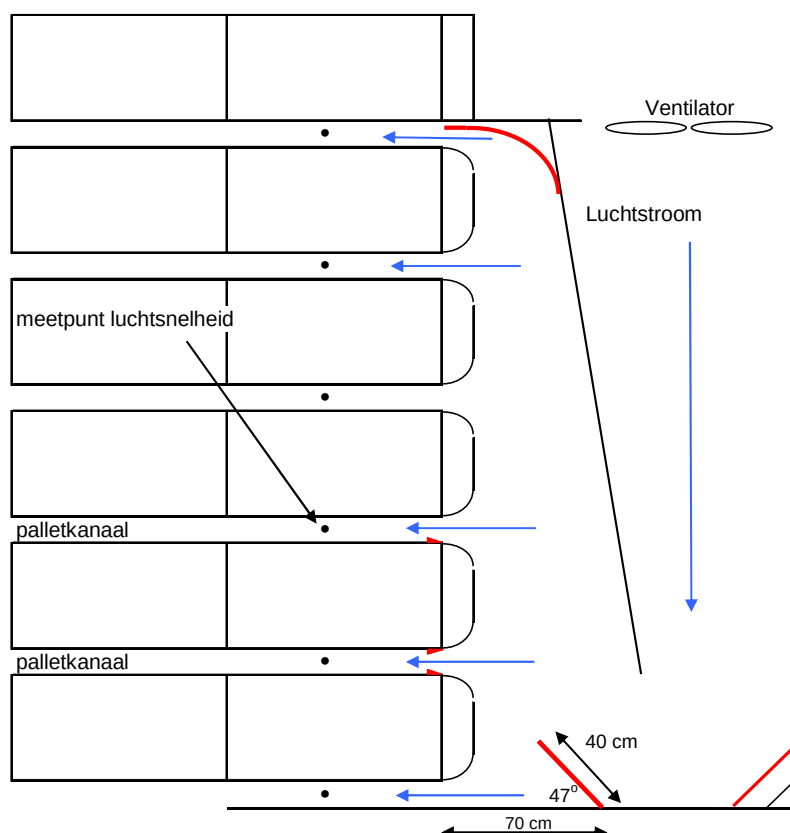
- De beste positie van de schans op 70 cm van de uitblaasopening is (schans 2d in § 4.4)
- Dit het debiet in de minst beluchte laag (laag 3) fors verbetert
- De verdeling over de lagen verder wordt verbeterd door de bovenste laag met platen af te dekken

Tabel 8: Samenvatting resultaten 1^{ste} test.

	m3 totaal	meer opbrengst lucht	spreiding	gemiddeld per kist	minste kist	Max terugtoeren mogelijk	besparing max
Oorspronkelijke situatie	25619		36%	1423	889		
schans 1	27134	6%	27%	1507	1098	19%	47%
Schans 1 + platen	26466	3%	25%	1470	1132	21%	52%
Schans 1 + balkje	24538	-4%	29%	1363	935	5%	14%
Schans 2 + balkje	24136	-6%	35%	1341	781	-14%	-47%

Een 2^{de} test is uitgevoerd aan een volledige stapeling van 6 hoog x 10 diep. Hiertoe is door het bedrijf in de zijwand van de drukwand een deur gemaakt waardoor voor het aanbrengen van aanpassingen geen kisten meer hoeften worden verplaatst. Een telkens ander lekpercentage speelt in deze meetopstelling dus geen rol.

Eerst is de luchtstroom per laag weer gemeten zonder aanpassingen, vervolgens is steeds een aanpassing toegevoegd (in onderstaand schema in rood gekleurd):



Meting 1: Zonder schans is de spreiding (maximum – minimum)/(2 x gemiddelde) het grootst: 40%. De meeste lucht komt door laag 1, de lagen er boven krijgen steeds minder, laag 5 is het minst belucht, laag 6

krijgt weer meer.

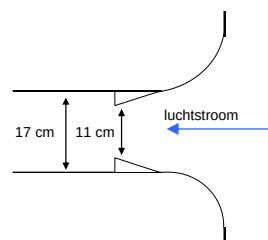
Meting 2: Door de plaatsing van de schans krijgt laag 1 bijna 40 % minder lucht. Een groot deel daarvan komt nu ten goede van de andere lagen. Door de totale kistenstapeling gaat 5% minder lucht. De spreiding is nu 31%.

Meting 3: Door daarnaast ook met een gekromde plaat de bovenste uitblaasopening te verkleinen naar 12 cm stroomt door laag 6 nu 14% minder lucht. Dit komt ten goede aan alle lagen eronder. De spreiding is met 30% vrijwel gelijk gebleven.

Meting 4: Het toevoegen van een extra grote plaat in de achterhoek van de wand heeft nauwelijks effect. De meeste lucht komt door laag 2.

Meting 5: Plaatsing van een afgeschuind balkje onderin de uitblaasopening van laag 2 (zie plaatje) verdeelt de lucht iets beter (de spreiding wordt 25%).

Meting 6: Door ook bovenin de uitblaasopening een afgeschuind balkje te plaatsen wordt de beste verdeling verkregen: de spreiding wordt nu 14%.



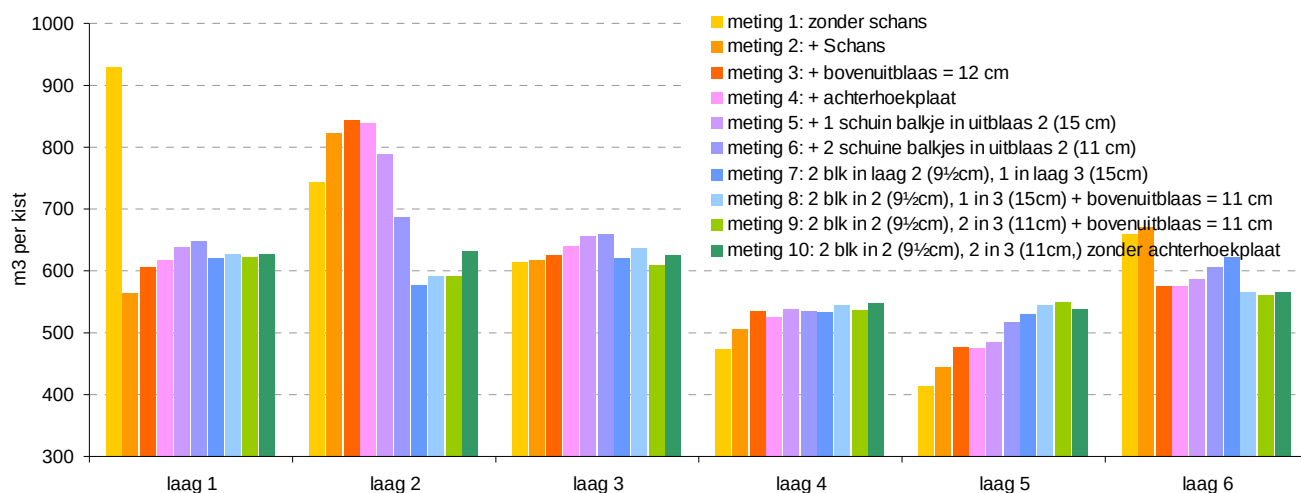
Meting 7: Het bovenste balkje wordt omgedraaid waardoor de uitblaasopening 9.5 – 10 cm wordt, en in laag drie wordt een bovenste balkje geplaatst. De spreiding wordt nu 8%.

Meting 8: De bovenste uitblaas wordt nog iets smaller: van 12 naar 11 cm. Er komt daardoor iets minder lucht door laag 6, de spreiding blijft gelijk.

Meting 9: In laag 3 wordt ook een onderste balkje geplaatst: dit heeft nauwelijks effect.

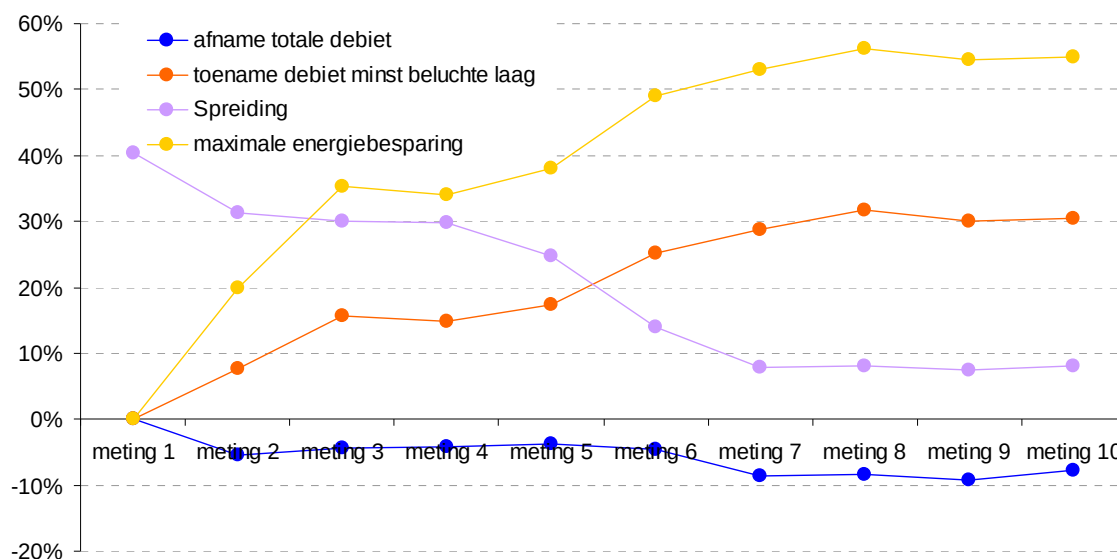
Meting 10: De plaat in de achterhoek wordt weggehaald. Laag 2 krijgt weer meer lucht, de spreiding verandert nauwelijks.

Deze resultaten zijn samengevat in figuur 16. In de meeste gevallen gaat laag 5 er steeds iets op vooruit.



Figuur 16: Resultaten van aanpassingen aan de drukwand

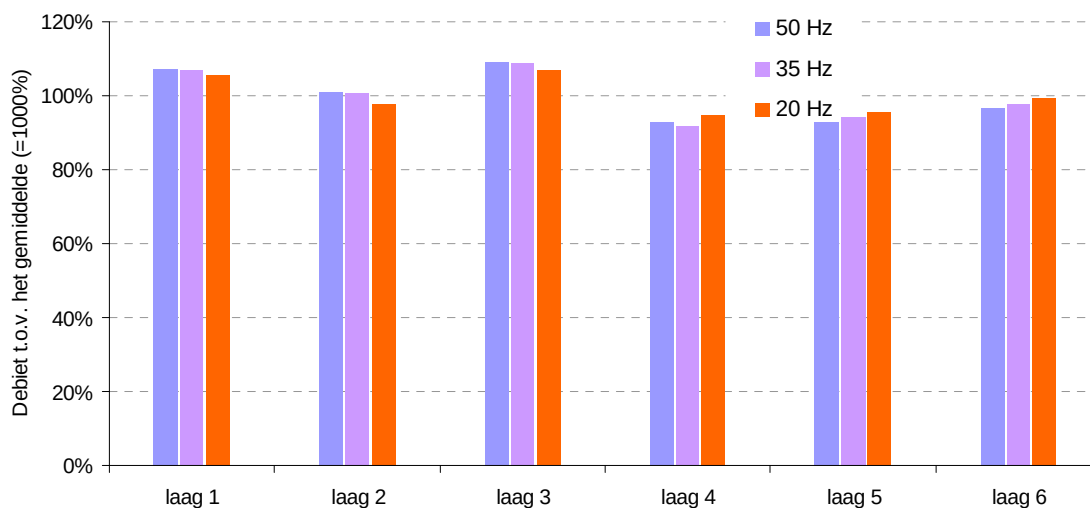
De totale luchtopbrengst vermindert rond de 5% bij metingen 2 t/m 6, en rond de 8% bij meting 7 t/m 10. De toename van de luchtopbrengst voor de minst beluchte laag is tot boven de 30% (meting 8). De spreiding zakt van 40% naar rond de 7%, figuur 17.



Figuur 17: Effecten van aanpassingen op debiet, spreiding en energie.

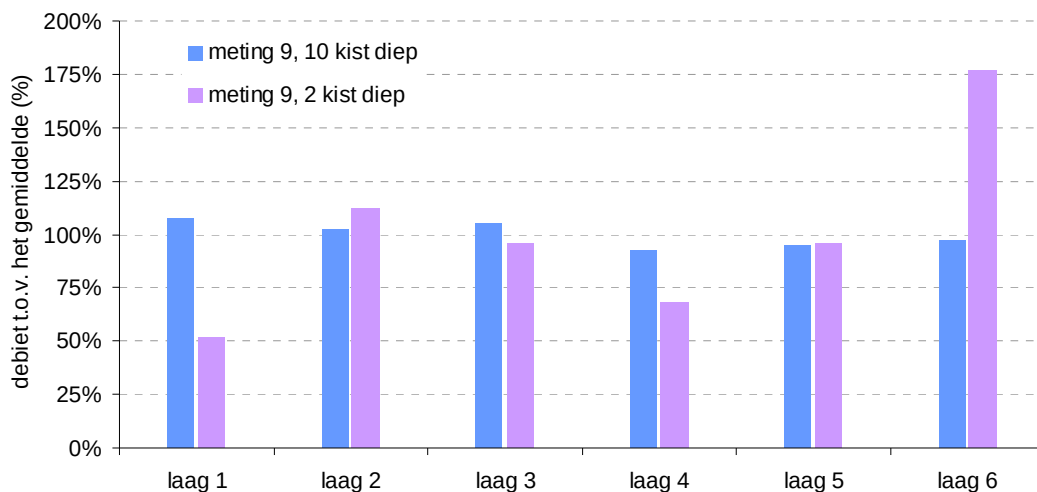
Indien de luchthoeveelheid van de minst beluchte laag in meting 1 (413 m³/uur gemiddeld per kist) voldoende is, kan tot 23% worden teruggetoerd om een gelijk debiet te geven. De energiebesparing is dan ongeveer 55% (meting 8).

Meting 8 is herhaald bij 35 Hz en bij 20 Hz, resultaten in figuur 18: Bij terugtoeren blijft de verdeling over de lagen vrijwel constant.



Figuur 18: Luchtverdeling bij verschillende frequenties, meting 8

Meting 9 is herhaald met een kistenstapeling van slechts 2 diep (6 hoog x 2 diep). De totale luchthoeveelheid bij 50 Hz is dan afgenomen van 34730 m³/uur bij 10 kisten diep naar 15691 m³/uur bij 2 kisten diep. De toename van de weerstand is dus heel fors. De spreiding is ook sterk toegenomen: van 7% naar 62 – 68%. Dat komt vooral door een relatieve afname van de luchthoeveelheid door laag 1 en een toename door laag 6, figuur 19.

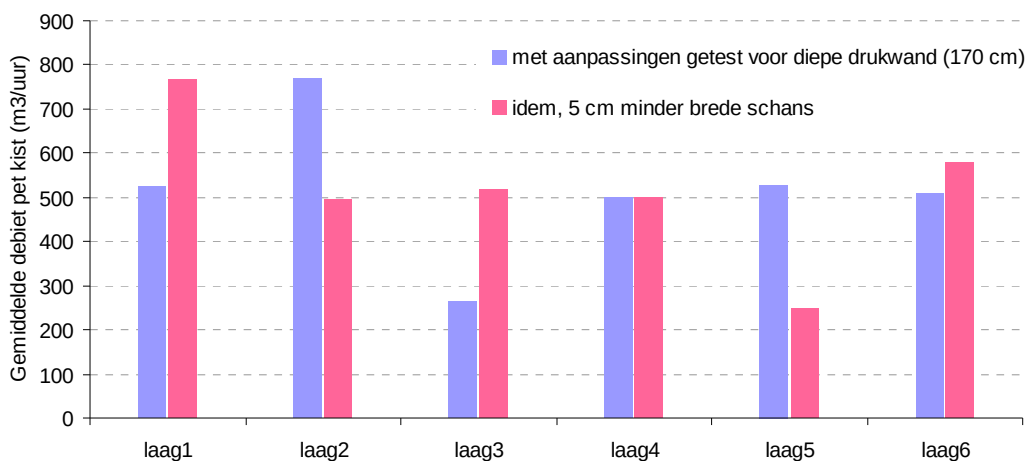


Figuur 19.: Relatieve verdeling bij 10 en bij 2 diep gestapelde kisten.

Achtergrond hierbij is dat voor alle lagen, behalve laag 6, de verhouding tussen het totale oppervlak van de uitblaasopeningen van de kisten in een laag (de 2 spleten aan de zijkant van de kist samen, per kist ongeveer 0.053 m²) en het oppervlak van de uitblaasopening van de drukwand (0.2124 m²) bij een afnemend aantal kisten voor de wand steeds kleiner wordt. Bij 10 diep gestapeld is oppervlak van de uitblaasopening van de drukwand minder dan de helft van het gezamenlijke oppervlak van de zijspalten (=0.53 m²) per laag. Bij 4 diep gestapeld is het even groot, bij 2 diep gestapeld is het 2 maal zo groot. Een belangrijk deel van de weerstand zit dan in de zijspalte van de kist. Bij laag 6 stroomt de lucht echter vrijuit waardoor deze laag bij een 2 diep stapeling relatief veel minder weerstand heeft en dus flink meer lucht krijgt dan de andere lagen. Dit verklaart ook het verschil in luchtverdeling tussen de eerste metingen bij 6 hoog x 3 diep (meeste lucht door laag 6), figuur 15, en de metingen bij 6 hoog x 10 diep (meeste lucht door laag 1), figuur 16.

De door de aanpassingen gerealiseerde verbetering van de luchtverdeling is dus niet universeel geldig, maar hangt o.a. af van het aantal kisten voor de wand. Het ontwerpen van verbeteringen zou echter gebaseerd moeten zijn op de meest voorkomende situatie bij de bewaring: een vol gestapelde drukwand. Er zou mogelijk nog wel onderscheid gemaakt kunnen worden voor drukwanden in cellen voor plantgoed (kleine bollen) en cellen voor leverbaar/broeibollen (grote bollen).

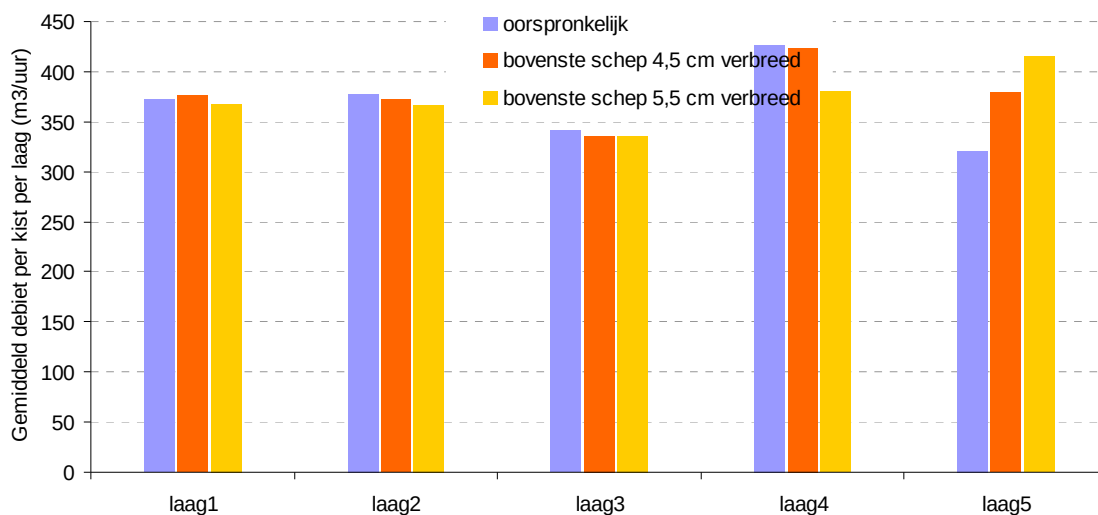
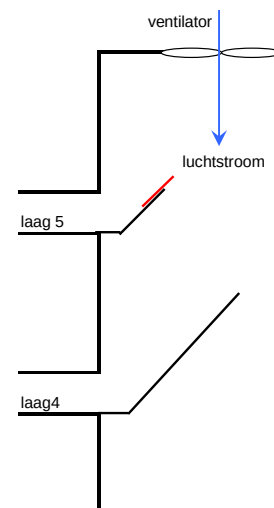
De aanpassingen zijn ook niet direct copieërbaar naar drukwanden met andere afmetingen. Metingen aan een minder diepe drukwand (120 cm), maar wel met een interne schuine wand, waarin de schans en de andere aanpassingen op dezelfde wijze waren toegepast gaven duidelijk een minder gunstig resultaat, figuur 20. Laag 2 krijgt nu te veel lucht, laag 3 te weinig. Een smallere schans (40 cm ipv. 45 cm) geeft minder lucht aan laag 2, maar ook aan laag 5, terwijl laag 1 nu te veel krijgt. Bij een ondiepe drukwand met



Figuur 20: Effect van aanpassingen bij ondiepe wand (120 cm).

een daardoor anders geplaatste interne schuine wand is de optimale positie van de schans dus ook anders. Met CFD-modellering zouden er voor die gevallen richtlijnen kunnen worden aangegeven hoe die positie zich verhoudt tot anders gedimensioneerde drukwanden.

Op bedrijf 2 is ook een oudere drukwand, 5 hoog, minder diep (120 cm) en zonder een interne schuine wand, maar met scheppen voor de bovenste twee uitblaasopeningen (zie schema) doorgemeten. De luchtverdeling bleek opvallend goed, figuur 21. Laag 4 krijgt hier de meeste lucht, laag 5 het minst. Door de schep bij laag 5 te verbreden kon de luchtverdeling nog iets verbeterd worden. Met CFD-modellering zou de optimale verhouding van de schepbreedtes bepaald kunnen worden en zo de beste luchtverdeling.



Figuur 21: Luchtverdeling bij een ondiepe wand met scheppen

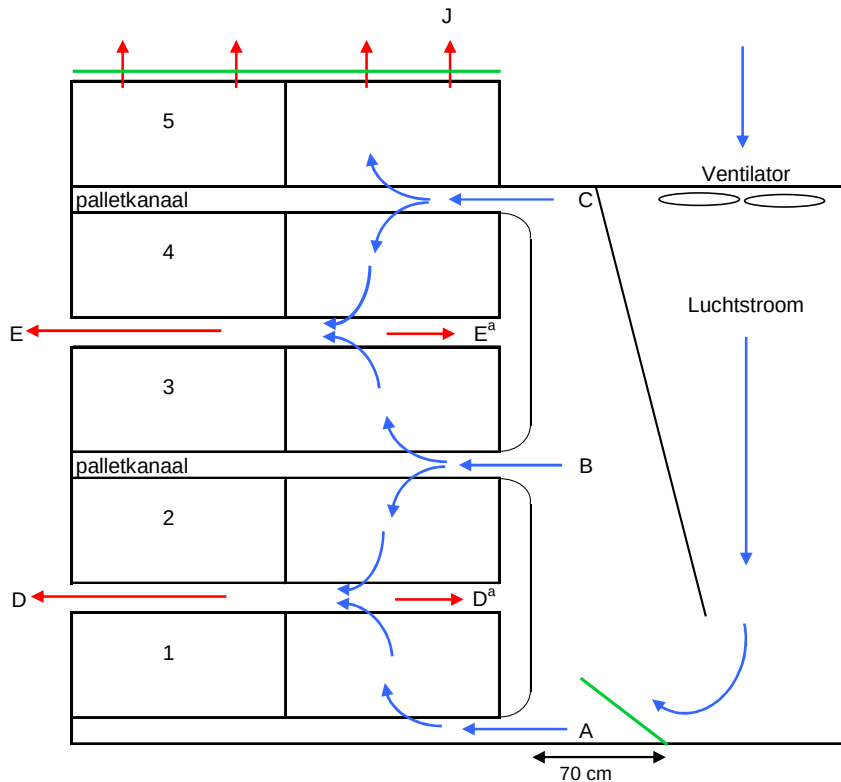
Samenvattend: De luchtverdeling over de kistenlagen van een gegeven drukwand + kistenstapeling (i.d.g. éénlaags, 10 diep x 6 hoog) is met eenvoudige aanpassingen sterk te verbeteren. Hierdoor kan flink worden teruggetoerd wat een energiebesparing tot meer dan 50% kan opleveren.

De aanpassingen zijn echter niet direct copieërbaar naar een drukwand met andere afmetingen. Ook de diepte van de stapeling speelt een rol: Tussen 10 diep en 8 of 7 diep gestapeld zal vermoedelijk niet veel verschil zijn, 4 diep of minder geeft wel een andere verdeling van de lucht over de lagen.

Het optimale ontwerp van een drukwand is dus maatwerk. Per bewaarcel moet bij het optimaliseren van de drukwand worden uitgegaan van de meest gangbare stapeling. Ook zou nog onderscheid gemaakt kunnen worden voor drukwanden in cellen voor plantgoed (kleine bollen) en cellen voor leverbaar/broeibollen (grote bollen).

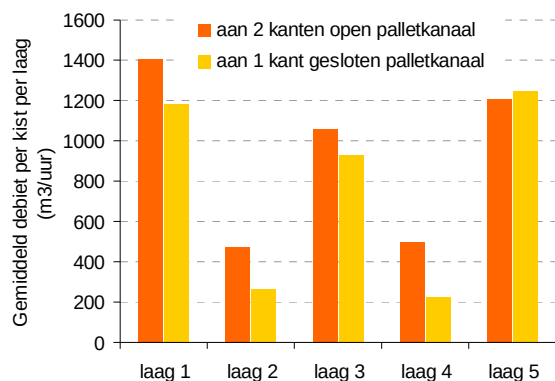
4.6 Luchtverdeling in een twee-laagssysteem

De droogwand op bedrijf 5 is een tweelaagssysteem, met 3 uitblaasopeningen. De kistenstapeling is 5 hoog en maximaal 8 diep, zie onderstaand schema.

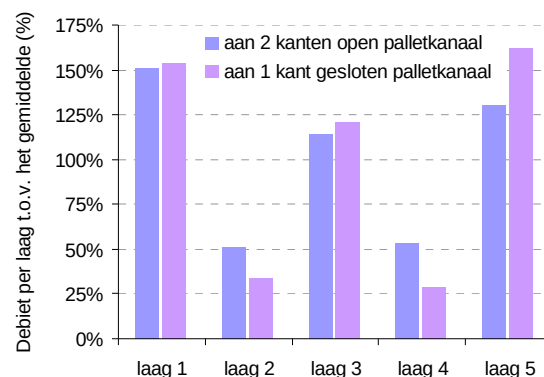


Anders dan bij een éénlaagssysteem kan de luchtstroom per laag in een tweelaagssysteem meestal niet direct gemeten worden. De luchtstroom door laag 1 wordt gemeten bij de uitblaasopening van de drukwand (A). De luchtstroom door laag 2 is dan de luchtstroom gemeten in de uitstroom van het palletkanaal ($D + D^a$) *minus* de luchtstroom door A. De luchtstroom door laag 3 is de luchtstroom door uitblaasopening B *minus* de luchtstroom door laag 2. De luchtstroom door laag 4 is dan de luchtstroom gemeten in de uitstroom van het palletkanaal ($E + E^a$) *minus* de luchtstroom door laag 3, enz.. Tussen de uitblaasopening van de drukwand en de uitstroomopening van het palletkanaal lekt echter tussen de kisten nog een zeker percentage van de bij de uitblaasopeningen van de drukwand gemeten luchtstroom weg. Deze is geschat op 5 – 10%.

Bij een eerste meting aan een kistenstapeling van 5 hoog x 5 diep, bij 20, 90 en 250 Pa ingestelde druk en bij een aan twee kanten open palletkanaal (D en D^a, en E en E^a open), bleek de luchtverdeling over de lagen erg ongelijk. Bij een één kant gesloten palletkanaal (D^a en E^a dicht) is de verdeling nog ongelijkmatiger, zie figuren 22 en 23 voor de resultaten bij 250 Pa.



Figuur 22: Luchtverdeling tweelaagsysteem



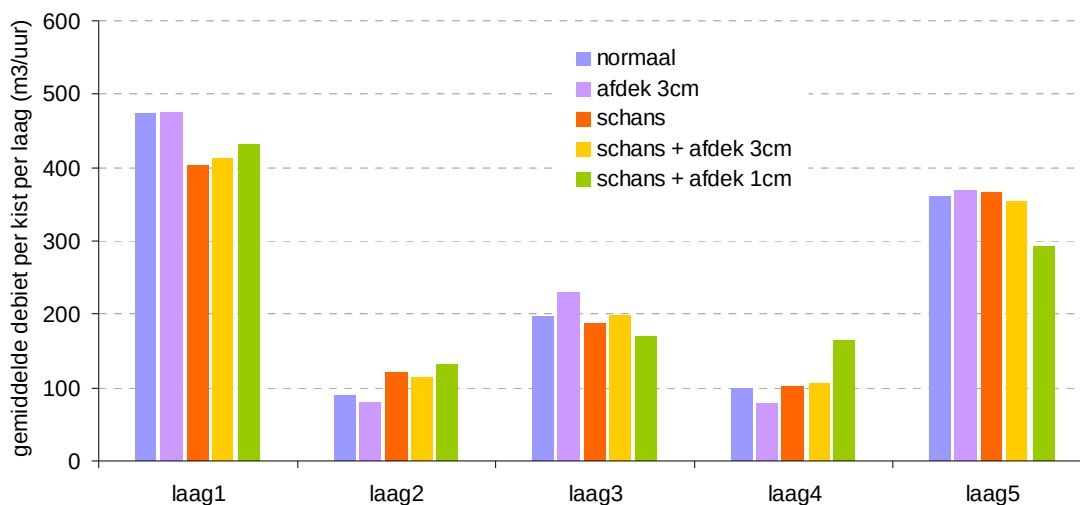
Figuur 23: Relatieve luchtverdeling 2 laagssysteem

Laag 2 en 4 krijgen het minst, laag 1 en 5 het meest. De spreiding is 38% rond het gemiddelde. Door het afsluiten van de openingen D^a en E^a gaat het totale debiet met 17% naar beneden en wordt de verdeling nog slechter. Nu krijgt laag 5 het meest (de enige laag waarvan de uitblaasopening niet is verkleind omdat de lucht direct vrij uit elke kist stroomt). De spreiding is nu 66% rond het gemiddelde.

Bij een tweede meting is geprobeerd de verdeling te verbeteren. Er is gemeten aan een stapeling van 8 diep, 5 hoog, bij een toerental van rond de 700 t/min en bij de volgende opstellingen:

- 1 De oorspronkelijke situatie, (normaal)
- 2 De bovenste laag afgedekt met platen met een forse spleetopening rondom van 3 cm.
- 3 Een schans geplaatst onder een hoek van 45 graden, 40 cm breed op 70 cm v.d. uitblaasopening (zie schema systeemwand).
- 4 Schans + afgedekt met platen
- 5 Schans + afgedekt met platen met een spleet van slechts 1 cm.

De resultaten zijn samengevat in figuur 24.



Figuur 24: luchtverdeling 2 laagssysteem

De verdeling is opnieuw erg ongelijk. In de normale situatie gaat de meeste lucht door de onderste laag, gevolgd door laag 5. Het afdekken met platen met een spleetopening van 3 cm heeft geen effect op het debiet in laag 5 en in laag 1. Het plaatsen van een schans verlaagt het debiet in laag 1 en verhoogt het debiet iets in laag 2, maar heeft geen effect op het debiet in laag 5.

Het hieraan toevoegen van het afdekken van laag 5 heeft pas effect wanneer de spleetopening verkleind wordt tot 1 cm. Dan neemt het debiet in laag 4 ook duidelijk toe.

Achtergrond hierbij is dat bij een spleetopening van 3 cm het totale oppervlak van de spleten in laag 5 ($1.20 \times 0,03 \times 2 \times 8 = 0,576 \text{ m}^2$) fors groter is dan het oppervlak van de doorsnede van het palletkanaal ($0,2176 \text{ m}^2$). Bij een spleet van 1 cm is het oppervlak van de spleten $1/3 \times 0,576 = 0,192 \text{ m}^2$. Bij een minder diepe stapeling van bv. 3 diep zal een spleetopening van 3 cm wel effect hebben: het gezamenlijk oppervlak is dan $0,216 \text{ m}^2$.

De spreiding is afgenomen van 79% bij opstelling 1 tot 63% bij opstelling 5. Het debiet in de minst beluchte lagen is toegenomen met 47% bij laag 2 en 66% bij laag 4.

Conclusies: de verdeling over de lagen is erg ongelijk. Met een schans en afdekken kan dit verbeterd worden. Voor het verminderen van het debiet in laag 1 is de schans onvoldoende en is het vermoedelijk beter om ook de uitblaasopening te verkleinen.

4.7 RV- en temperatuurmetingen tussen de bollen

Achtergronden bij de circulatie zijn afvoer van ethyleen, water, warmte en CO_2 en het minimaliseren van temperatuurs- en RV-verschillen tussen kisten. In de vorige paragraaf bleek dat in het tweelaagssysteem door de onderste laag ruim 4 keer zoveel lucht gaat als door de 2^{de} laag. Daar komt nog bij dat door de kisten het verst van de wand meer lucht gaat dan door kisten aan de wand. Op Bedrijf 5 zijn om temperatuurs- en RV-verschillen tussen kisten te meten in vrijwel elke kist van de onderste laag en van de 2^{de} laag RV- en temperatuursensoren ongeveer 30 cm diep tussen de bollen geplaatst. Gedurende 19 dagen (van 26/8 t/m/ 13/9) zijn elk kwartier de data gelogd en samengevat in de figuren 25 en 26. In deze figuren zijn ook de metingen aan de cellucht via de klimaatcomputer verwerkt. De kistnummering is als volgt: het 1ste cijfer geeft de laag aan, het 2de cijfer de positie vanaf de wand.

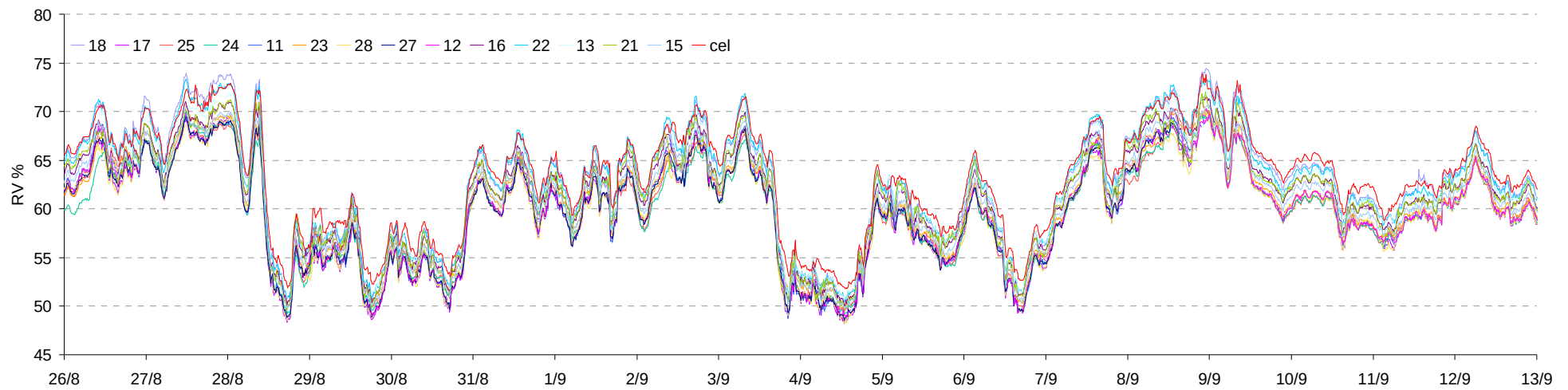
Zowel RV als temperatuur volgen voor elke kist precies de cellucht en verschillen tussen kisten zijn op geen enkele manier te herleiden tot de positie in de stapeling (onderste of 2^{de} laag) of de positie in de laag (aan de wand of het verst van de wand), zie ook tabel 9.

Tabel 9: Gemiddelde RV en temperatuur (T) per kist, van 26/8 t/m 13/9.

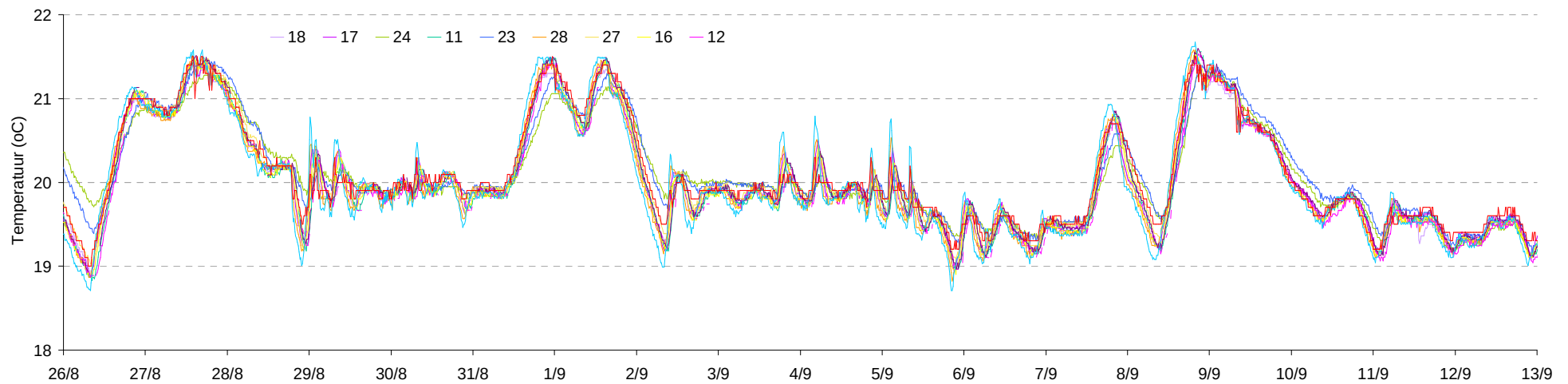
laag 1			laag 2		
kist	RV	T (°C)	kist	RV	T (°C)
11	60,2%	19,96	21	61,8%	19,93
12	60,3%	19,82	22	63,0%	19,88
13	62,7%	19,96	23	60,9%	20,03
15	61,3%	19,98	24	60,2%	20,00
16	61,9%	19,94	25	60,5%	19,95
17	60,2%	19,97	27	59,7%	20,13
18	63,1%	19,94	28	60,2%	19,94
gemiddeld	61,4%	19,94		60,9%	19,98

Deze resultaten wijzen er op dat om temperatuurs- en RV-verschillen tussen kisten te minimaliseren een veel lagere circulatienorm dan 500 m³/uur per m³ bollen voldoende is.

De metingen zouden nog eens herhaald moeten worden in het begin van het bewaar seizoen, direct na het drogen en/of pellen.



Figuur 25: RV in de cel en tussen de bollen in vrijwel elke kist in laag 1 en laag 2, gedurende een periode van 19 dagen.

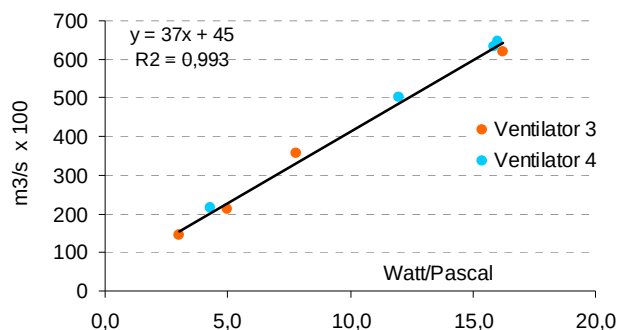


Figuur 26: Temperatuur in de cel en tussen de bollen van vrijwel elke kist in laag 1 en laag 2, gedurende een periode van 19 dagen.

4.8 Computergestuurde circulatie

Op bedrijf 5 in cel 12 wordt de circulatie gestuurd op basis van het drukverschil tussen de systeemwand en de cel. Het drukverschil wordt continu gemeten door een druksensor en de ventilator wordt op- of teruggetoerd wanneer het drukverschil niet overeenkomt met een vooraf ingesteld drukniveau. Doel hiervan is dat wanneer kisten uit een stapeling worden weggereden of bijgezet, waardoor de weerstand van de stapeling verandert en dus ook het drukverschil, automatisch het toerental van de ventilator via de frequentieregelaar wordt aangepast zodat het debiet per kist constant blijft. Uit metingen in 2007 bleek dit niet te werken. De regeling houdt wel het drukverschil keurig constant, maar het debiet per kist is telkens anders. Achtergrond hierbij is dat het drukverschil niet rechtevenredig is met het aantal kisten voor de wand en dat het drukverschil, per situatie (aantal kisten, mate van vulling, bolmaat), niet rechtevenredig is met het toerental, maar met het kwadraat van het toerental. Ter illustratie: wanneer bij een stapeling van 8 kisten diep x 5 hoog de druk is ingesteld is op 100 Pa, is het totale debiet dan bv. 20.000 m³/uur en dus per kist 500 m³/uur. Vervangen van de helft van het aantal kisten door kisten met veel kleinere bollen (bolmaat 8 ipv. 12), betekent een hogere weerstand, waardoor het drukverschil toeneemt naar bv. 125 Pa en het totale debiet vermindert. De regeling zorgt er dan voor dat de ventilator wordt teruggetoerd zodat het drukverschil weer 100 Pa wordt. Dit lagere toerental betekent een nog lager debiet terwijl de ventilator juist opgetoerd had moeten worden om het debiet op 500 m³/kist te houden.

De druksensor, in combinatie met metingen van het energieverbruik van de ventilator (E), kan echter wel gebruikt worden voor een circulatieregeling op basis van debiet. Het totale debiet is nl. evenredig met E gedeeld door het drukverschil: $\text{Debiet} = f \times E/P$. Op bedrijf 5 is daarom in cel 12 voor 2 ventilatoren het verband bepaald tussen totaaldebiet ↔ E/P, bij een verschillend aantal kisten voor de wand en verschillend toerental, figuur 27.



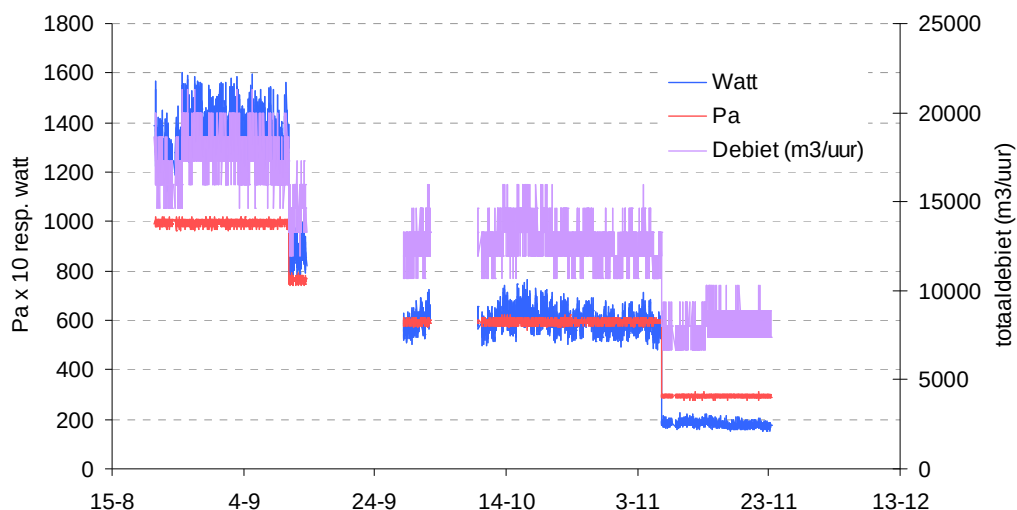
Figuur 27: Verband debiet en watt/Pa.

Het gevonden verband bleek: $\text{totale debiet (100xm³/s)} = 37 \times (\text{watt/Pa}) + 45$, of $= 41 \times (\text{watt/Pa})$ indien ook nul-waarden worden meegerekend. Hierop is door Polytechniek de software voor het touchscreen aangepast zodat $f=37$ als evenredigheidsfactor kon worden ingevoerd en op het display het totale debiet in m³/uur kon worden afgelezen. Verificatie later in het seizoen leek aan te geven dat op het display toch te lage waarden werden afgelezen, tabel 11, en is de factor veranderd van 37 naar 41.

Tabel 10: Gemeten en afgelezen debiet.

Ventilator	gemeten	touchscreen	verschil
1	10946	8658	-21%
2	14547	12654	-13%
3	15661	13986	-11%
4	14135	9990	-29%
gemiddeld	13822	11322	-18%

Aan het eind van het bewaarseizoen zijn de data uitgelezen en deze gaven het volgende resultaat: figuur 28.



Figuur 28: Energieverbruik (watt), drukverschil (Pa) en totaal debiet (m3/uur).

De spreiding in de metingen van het energieverbruik (watt) bleek flink groter dan de spreiding in het gemeten drukverschil, met als resultaat een nog grotere spreiding in debiet van rond de 20%, tabel 11.

Tabel 11: Gemiddelden en spreiding van de parameters voor debietbepaling

periode		Hz	Pa	Watt	m3/uur	Watt/Pa
21/8 tm 10/9	gemiddeld	39	99	1361	17549	13,7
	Spreiding	4,6%	3,0%	17,7%	19,0%	19,7%
10/10 tm 6/11	gemiddeld	30	60	597	12720	10,0
	Spreiding	4,3%	5,0%	23,5%	20,9%	24,3%
idem, 29,7<Hz<30,3	gemiddeld	30	60	594	12658	10,0
	spreiding	0,7%	3,4%	23,2%	21,0%	22,4%
7/11 tm 24/11	gemiddeld	20	30	181	8005	6,1
	Spreiding	7,6%	5,1%	20,4%	22,9%	23,9%

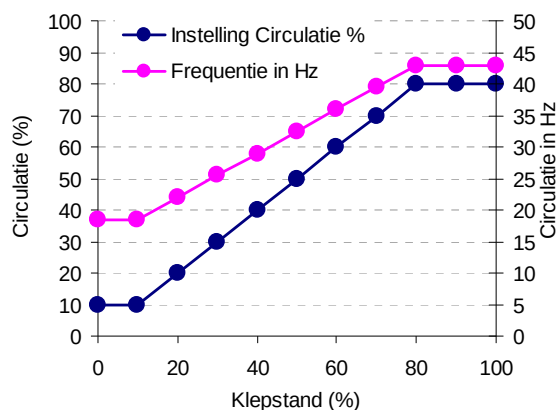
Voor een deel zou de hogere variatie in energieverbruik bij de verschillende drukinstellingen te verklaren zijn uit de variatie in Hz. Immers, als de frequentie bv. van 30 naar 32 Hz toeneemt (een toename van 6.7%), neemt het energieverbruik toe met 21.4%. Wanneer in de periode 10/10 t/m 6/11 voor de berekening van de spreiding rond de gemiddelden alleen die momenten worden meegenomen dat de frequentie tussen de 29,7 en 30,3 Hz ligt, is de spreiding in Hz slechts 0,7%. De spreiding in de waarden voor druk (Pa) is dan 3,4% en voor energieverbruik (watt) 23.2%. Dit is vrijwel even hoog als wanneer alle momenten in de berekening werden meegenomen. Dit geldt ook voor de spreiding in debiet.

De conclusie is dat op deze manier het elektraverbruik te onzuiver wordt gemeten om in combinatie met drukmeting een betrouwbare debietmeting te geven.

Een alternatief voor het sturen van de circulatie op basis van debiet is het sturen van de frequentieregelaar op de circulatieventilatoren gedeeltelijk evenredig met de klepstand. Het idee is dat als er weinig ethyleen geproduceerd wordt er minder geventileerd wordt en er ook minder gecirculeerd hoeft te worden. Als de ethyleenproductie in de kist met de meeste zure bollen niet extreem veel afwijkt van de gemiddelde ethyleenproductie per kist dan gaat dit op. Extreem is bv. een 5 tot 10 maal hogere ethyleenproductie.

In de loop van het bewaar seizoen is door Sercom een regeling geïnstalleerd die als volgt werkt: Per ventilator in de cel kan een minimum en een maximum frequentie-instelling ingevoerd worden. Deze instellingen liggen meestal op een schaal van 0 tot 100%, waarbij 0% de laagst mogelijke frequentie instelling is (vaak 15 tot 25 Hz) en 100% de hoogst mogelijke frequentie instelling, maximum toeren dus (bijna altijd 50 Hz).

Is de klepstand onder de minimum instelling van de circulatie dan geldt de minimum circulatie, daarboven gaat de circulatie mee met de klepstand, tot het ingestelde maximum wordt bereikt, zie figuur 29 voor een voorbeeld: De minimum frequentie van de ventilator is 15 Hz en het maximum 50 Hz. De instelbare schaal loopt van 0% (= 15 Hz) naar 100% (= 50 Hz). Als minimum circulatie is 10% (in dit geval gelijk aan 18,5 Hz) ingesteld, als maximum 80% (in dit geval = 43 Hz). Bij een klepstand van 50% wordt er dan gecirculeerd met 50% (25 Hz).



Figuur 29: Circulatie evenredig aan de klepstand.

Een maximum circulatie bleek nog niet in te stellen en de software hiervoor kon op korte termijn niet worden aangepast. Wordt er dan teveel gecirculeerd dan moet de regeling voor ethyleengestuurde circulatie uitgezet worden. De frequentie-instelling blijft door de klimaatcomputer wel geregistreerd worden.

Omdat de regeling pas gedurende het bewaar seizoen geïnstalleerd is, hebben de telers ondanks een door Sercom georganiseerde informatieavond het niet aangedurfd met de regeling te experimenteren.

In tegenstelling tot sturing op ethyleen, die alleen bij tulp toegepast kan worden, zouden de geautomatiseerde circulatieregelingen gebaseerd op debietmetingen toepasbaar zijn voor alle bolgewassen. De impact van computergestuurde circulatie op het energieverbruik van de bloembollensector kan daarmee heel groot zijn. Computergestuurde circulatie blijkt echter te veelomvattend (verschillende regelingen mogelijk, verschillende type sensoren, combineren van meerdere computersystemen, etc.) om als onderdeel van het StArt-project meegenomen te kunnen worden. Daarom wordt deze ontwikkeling in een nieuw project voortgezet: Computergestuurde Circulatieregelingen.

5 Communicatie

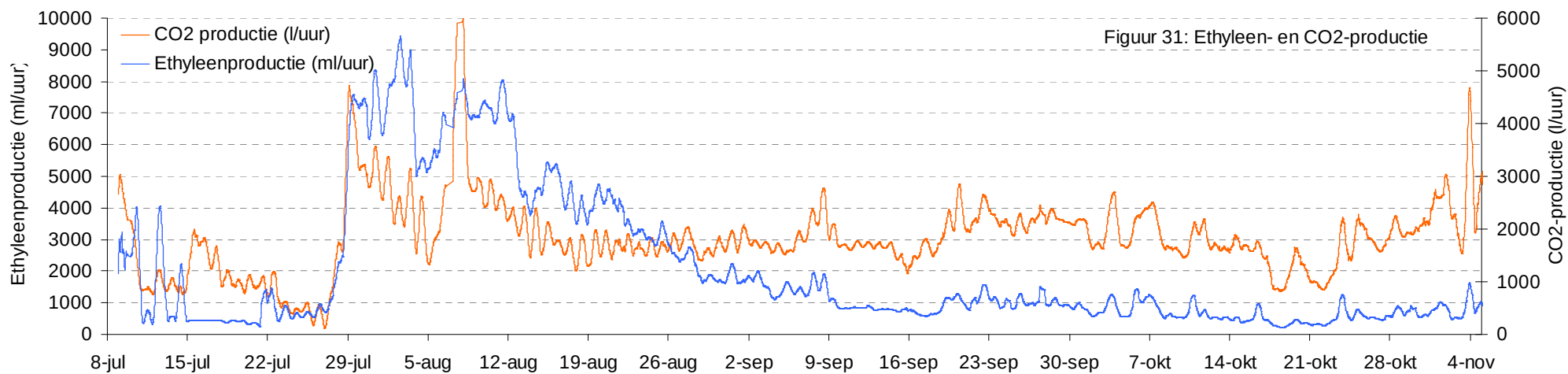
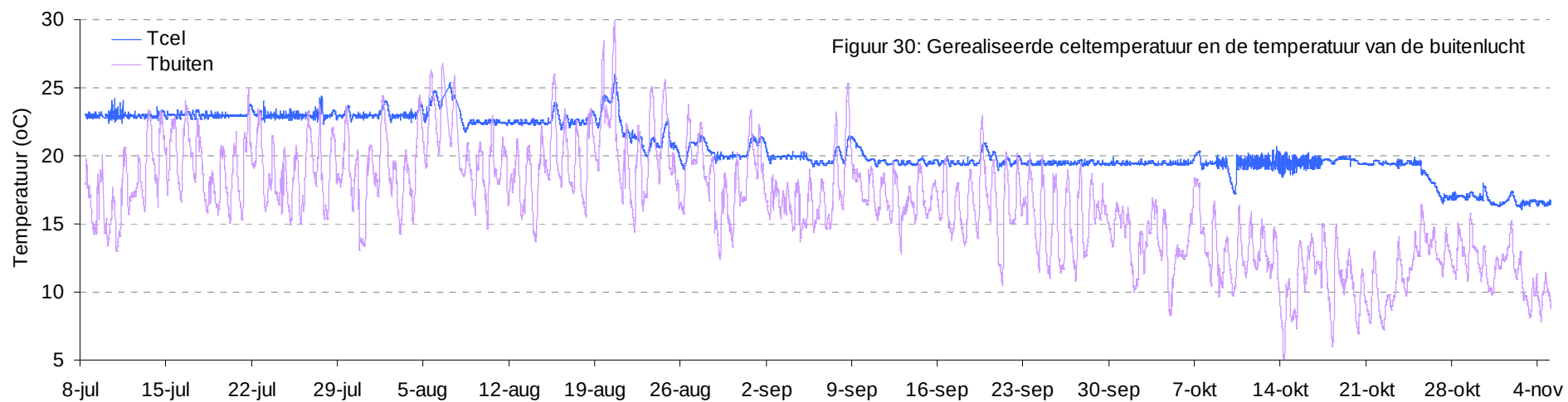
De resultaten van het StArt project zijn op verschillende bijeenkomsten, lezingen en open dagen naar buiten gebracht dmv. PowerPoint presentaties, posters & hand-outs en een brochure. Een overzicht hiervan is samengevat in tabel 12. Ook is een artikel verschenen in het blad Nieuwe Oogst (juli 2010) en in het blad Vakwerk (oktober 2009).

Tabel 12: Overzicht lezingen, bijeenkomsten, opendagen.

Gelegenheid	Spreker(s)	Datum	Plaats	Publiek	Aantal aanwezigen
presentatie	J Wildschut	4-1-2010	Bovenkarspel	studieclub tulp	20
Mechanisatiebeurs	allen	5t/m9-1-2010	Lisse	telers e.a.	>500
presentatie	M Kok	20-1-2010	Espel	studieclub tulp	10
presentatie	M Kok	11-2-2010	Lisse	studieclub tulp	12
Open dag PPO Lisse (posters)	J Wildschut	12-2-2010	Lisse	telers/broeiers	250
Bijeenkomst	J Wildschut/M Kok/Th. V.d. Gulik	3-3-2010	Callantsoog	Bedrijven StArt	8
Lezing	H Gude	31-3-2010	Groningen	studieclubs	30
presentatie	M Kok	14-4-2010	Dronten	studieclub tulp	18
Open dag PPO Lisse (posters)	J Wildschut	28-5-2010	Lisse	telers e.a.	200
Lezing	H Gude	4-6-2010	Julianadorp	telers e.a.	200
Open dag Duurzame bollenteelt	J Wildschut	4-6-2010	Julianadorp	telers e.a.	200

Daarnaast is een interactief simulatieprogramma ontwikkeld, waarmee telers het energieverbruik en de besparingen hierop bij de bewaring van plantgoed gedemonstreerd wordt. In dit programma zijn de basisgegevens zoals de celgrootte, de hoeveelheid bewaarde bollen, de ventilatie bij 100% klepstand, aantal en vermogen van de circulatieventilatoren, de bewaarperiode, etc., gebruikt van een bewaarcel op één van de deelnemende bedrijven. De in die cel tijdens de bewaarperiode gerealiseerde bewaartemperatuur, de ethyleen- en CO₂-productie en de temperatuur van de buitenlucht zijn in figuur 30 en 31 samengevat.

Door het percentage zure bollen, de ethyleengrens, de minimale- en maximale klepstand en door voor 4 vrij te kiezen deelperiodes de frequentie-instelling van de circulatieventilatoren in te stellen kan voor verschillende scenario's het energieverbruik worden berekend en dmv. van grafieken en tabellen vergeleken met het bewaren volgens de norm, zie pagina 37.



Simuleer het effect van ethyleensturing & frequentiegeregelde circulatie

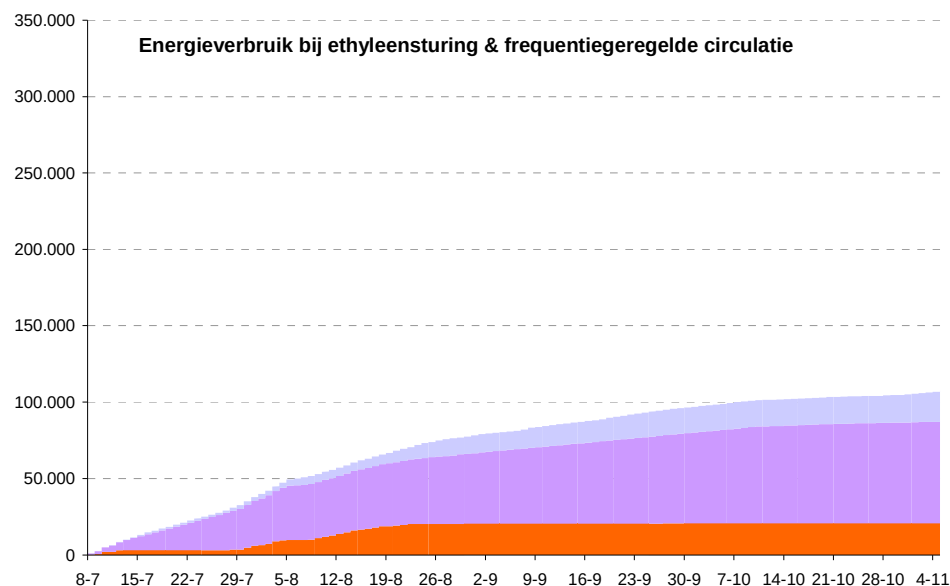
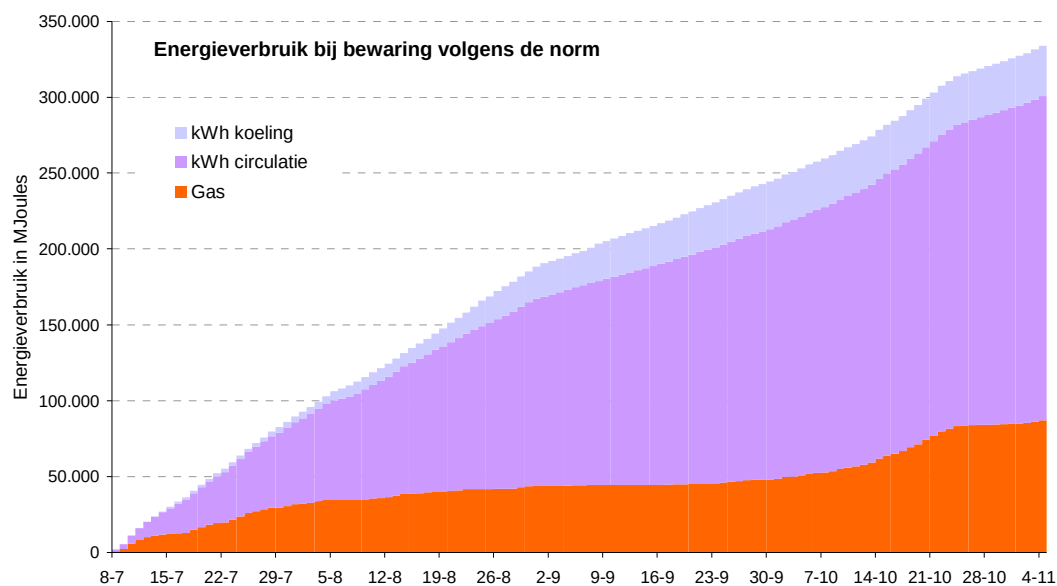
percentage zure bollen		2%		
Ethyleengrens		100	ppb	
minimum klepstand		5	%	
maximum klepstand		80	%	

dgn	Frequentieinstellingen	tot	FRQ		(m ³ /uur/kist)
29	1ste periode	6-aug	40	Hz	400
66	2de periode	11-okt	25	Hz	250
12	3de periode	23-okt	15	Hz	150
14	4de periode	6-nov	10	Hz	100
120					

kWh-prijs	€ 0,10
gasprijs	€ 0,30

Per cel met 180 kisten à 1200 liter		
Volgens norm bewaard		kosten
	MJ	€
kWh koeling	3684	33.155 € 368
kWh circulatie	23907	215.165 € 2.391
Gas m ³	2487	87.464 € 746
totaal	335.783	€ 3.505
	per kist	1865 € 19

StArt Simulatie			kosten	
		MJ	bespaard	€
kWh koeling	2236	20.126	39%	€ 224
kWh circulatie	7385	66.461	69%	€ 738
Gas m ³	590	20.739	76%	€ 177
totaal		107.326	68%	€ 1.139
	per kist	596		€ 6
				€ 13



6 Conclusies & Aanbevelingen

Conclusies:

Voor het 3de jaar op rij hebben de deelnemende bedrijven t.o.v. het energieverbruik bij bewaren volgens de norm, fors op energie bespaard: 4 – 88% (gemiddeld 42%) op gas, 3 – 67% (gemiddeld 45%) op elektra en 3 – 76% (gemiddeld 44%) in totaal.

De besparingen op gas hadden nog groter kunnen zijn wanneer alle bedrijven de ventilatie gedurende de gehele bewaarperiode op 100 ppb ethyleen gestuurd hadden en daarbij de minimum klepstand niet hoger dan 15 – 20 % hadden ingesteld.

Ook het elektraverbruik had nog lager kunnen zijn wanneer alle bedrijven de frequentie van de circulatieventilatoren net zo laag hadden ingesteld als de bedrijven 7, 8 en 9.

Het zonnedak dat bedrijf 9 in gebruik heeft, heeft gedurende het bewaar seizoen de ventilatielucht gemiddeld met 1,5 °C voorverwarmd. Dit resulteerde in een energiebesparing van 40%.

Door besmetting van het proefveld met de bodemschimmel *Rhizoctonia* kon uit de opplant van in 2008 bewaard plantgoed niet de conclusie getrokken worden dat bij State-of-the-Art bewaard plantgoed de verklisting hoger of lager is. De data geven wel een indicatie dat bij langdurige blootstelling aan een ethyleengehalte > 100 ppb (idg. 35 dagen) de verklisting iets toeneemt.

Uit de broei van in 2009 bewaarde broeibollen kan geconcludeerd worden dat deze zonder uitzondering alle van goede kwaliteit waren, en goed op lengte en gewicht. Er bleek ook dat veel ventileren tot meer uitdroging leidt en dat meer uitdroging tot iets kortere tulpen leidt. Op het plantgewicht had de uitdroging geen effect.

Het is van belang goed na te gaan of ethyleen niet in de ventilatiekanalen terecht komt. Hiermee wordt onnodig ventileren voorkomen. Het ethyleengehalte van de buitenlucht is, zoals al eerder werd gemeten, zeer zelden hoger dan 100 ppb.

Berekeningen met CFD-modellen en testen in de praktijk gaven aan dat bij een 6 hoog x 10 diep éénlaagssysteem de schans met een breedte van 40 cm, en 70 cm van de onderste uitblaasopening onder een hoek van 47 graden geplaatst, het meest effectief is. Als dan de bovenste uitblaasopening ook nog verkleind wordt verbetert de luchtverdeling sterk.

De luchtverdeling over de kistenlagen van een gegeven drukwand + kistenstapeling (idg. éénlaags, 10 diep x 6 hoog) is met eenvoudige aanpassingen (een schans voor de onderste uitblaasopening, 2 driehoekige latjes in de 2^{de} en één in de 3^{de} uitblaasopening, plus een door een gekromde plaat verkleinde bovenste uitblaasopening) sterk te verbeteren. Hierdoor kan flink worden teruggetoerd. Uit de berekeningen van het energieverbruik volgt dat hierdoor een energiebesparing tot meer dan 50% gerealiseerd kan worden.

De aanpassingen zijn echter niet direct copieërbaar naar een drukwand met andere afmetingen. Ook de diepte van de stapeling speelt een rol: Tussen 10 diep en 8 of 7 diep gestapeld zal vermoedelijk niet veel verschil zijn, 4 diep of minder geeft wel een andere verdeling van de lucht over de lagen.

Het optimale ontwerp van een drukwand is dus maatwerk. Per bewaarcel moet bij het optimaliseren van de drukwand worden uitgegaan van de meest gangbare stapeling.

De luchtverdeling in een tweelaagssysteem (5 hoog x 8 diep) is moeilijker precies te meten, blijkt zeer ongelijkmatig en is ook moeilijker te verbeteren. De schans zoals getest in het éénlaagssysteem is hier minder effectief. Het met platen afdekken van de bovenste kistenlaag met een uitblaaspleet van slechts 1 cm breedte blijkt het debiet in laag 4 flink te verbeteren. Om de luchtstroom in de onderste laag te verminderen en dit ten goede van de lagen erboven te laten komen, is het aerodynamisch verkleinen van de onderste uitblaasopening vermoedelijk het meest effectief.

In het 5 hoog x 8 diep tweelaagssysteem heeft de 2^{de} laag een veel kleiner debiet dan de eerste laag. Dit kan een factor 4 – 5 schelen. Ondanks dit verschil traden er gedurende een meetperiode van 19 dagen tussen kisten van de verschillende lagen geen verschillen op in RV en temperatuur. Deze resultaten wijzen er op dat om temperatuurs- en RV-verschillen tussen kisten te minimaliseren een veel lagere circulatienorm

dan 500 m³/uur per m³ bollen voldoende is.

Bij de ontwikkeling van computergestuurde circulatie is nog onvoldoende bereikt om deze te kunnen toepassen. In tegenstelling tot sturing op ethyleen, die alleen bij tulp toegepast kan worden, zouden de geautomatiseerde circulatieregelingen gebaseerd op debietmetingen toepasbaar zijn voor alle bolgewassen. De impact van computergestuurde circulatie op het energieverbruik van de bloembollensector kan daarmee heel groot zijn. Computergestuurde circulatie blijkt echter te veelomvattend (verschillende regelingen mogelijk, verschillende type sensoren, combineren van meerdere computersystemen, etc.) om als onderdeel van het StArt-project meegenomen te kunnen worden. Daarom wordt deze ontwikkeling in een nieuw project voortgezet: Computergestuurde Circulatieregelingen.

Aanbevelingen:

In de bloembollensector worden verschillende bewaarsystemen toegepast: Naast het doorgemeten éénlaagssysteem zijn er éénlaagssystemen met een minder diepe wand (≤ 120 cm), zonder interne schuine wand en soms met zgn. scheppen om de bovenste kistenlagen meer lucht te geven. De kistenstapelingshoogte varieert van 4 tot 6 hoog en van 6 tot 10 diep. Daarnaast zijn er tweelaagssystemen in gebruik die in te delen zijn in oneven gestapeld (5 hoog, 3 uitblaasopeningen) en even gestapeld (4 of 6 hoog, resp. 2 of 3 uitblaasopeningen). Ook hierbij komen diepe droogwanden met interne schuine wand en ondiepe zonder schuine wand voor, en kan de stapeling in diepte variëren van 6 tot 10 diep.

De aanpassingen die de luchtverdeling van de éénlaagsdroogwand van 170 cm diep, 150 cm breed, met intern een schuine wand en een kistenstapelingshoogte van 6 hoog X 10 diep sterk verbeterden, zijn niet één op één toe te passen bij een ondiepere droogwand. De dimensie van de schans moet o.a. aangepast worden aan de diepte van de wand. Zonder een interne schuine wand is het plaatsen van scheppen mogelijk een betere optie. Voor het breder toepassen van de aanpassingen aan de éénlaagswand waarmee de luchtverdeling verbeterd wordt en veel energie bespaard kan worden, worden de volgende activiteiten aanbevolen:

1) CFD-modellering

Het huidige CFD-model voor éénlaagsbeluchting aanpassen zodat simulaties overeenkomen met de meetresultaten van de toepassing van de schans *plus* de andere aanpassingen. Hieruit richtlijnen afleiden mbt. de optimale dimensionering van schans en andere aanpassingen bij éénlaags-droogwanden van andere afmetingen (minder diep, minder hoog, en/of zonder schuine interne wand maar met scheppen).

2) Resultaten van 1) toepassen en monitoren in de praktijk op één of meer StArt-bedrijven.

In 2009 is ook een tweelaagssysteem (oneven: 3 uitblaasopeningen, 5 hoog) doorgemeten en zijn verbeteringen getest (afdekken bovenste laag, schans voor de onderste laag). Vergeleken met het éénlaagssysteem is de luchtverdeling ongelijkmatiger en ook minder goed te verbeteren. Een kleinere onderste uitblaasopening is bij een oneven systeem vermoedelijk een betere oplossing dan de schans. Voorgesteld wordt daarom om:

3) Voortzetten van het onderzoek naar verbeterde luchtverdeling bij een tweelaagssysteem bij een nieuwe droogwand met een kleinere onderste uitblaasopening.

4) Doormeten van een even tweelaagssysteem (4 of 6 hoog, 2 of 3 uitblaasopeningen), en mogelijke verbeteringen testen.

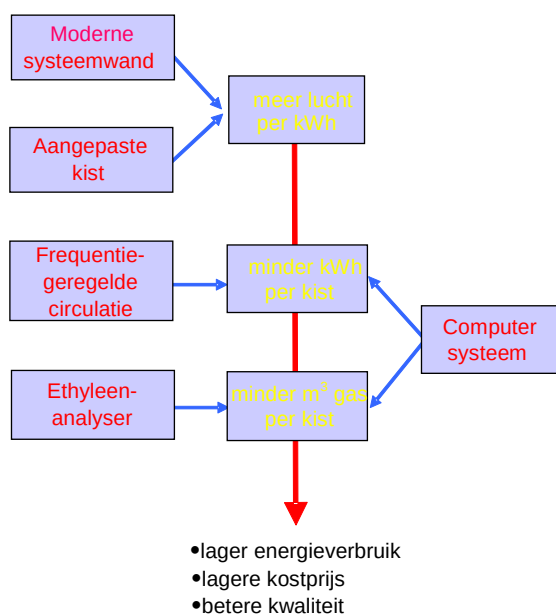
5) Om overtuigend aan te tonen/te demonstreren dat zelfs net na het drogen de circulatienorm van 500 m³/uur te hoog is wordt voorgesteld om met RV x T –sensoren direct na het drogen een aantal strategisch gekozen kisten te loggen.

6) Om van de State-of-the-Art resultaten de uitstraling naar en impact in de sector te vergroten wordt voorgesteld om naast de lezingen voor studieclubs e.d. open middagen te organiseren waarop het StArt-bedrijf zelf de bevindingen toelicht en demonstreert.

Verder wordt voorgesteld het energieverbruik op State-of-the-Art bedrijven, en de kwaliteit van broeibollen en plantgoed, zoals gebruikelijk te monitoren.

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 bodemplanken) 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".

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

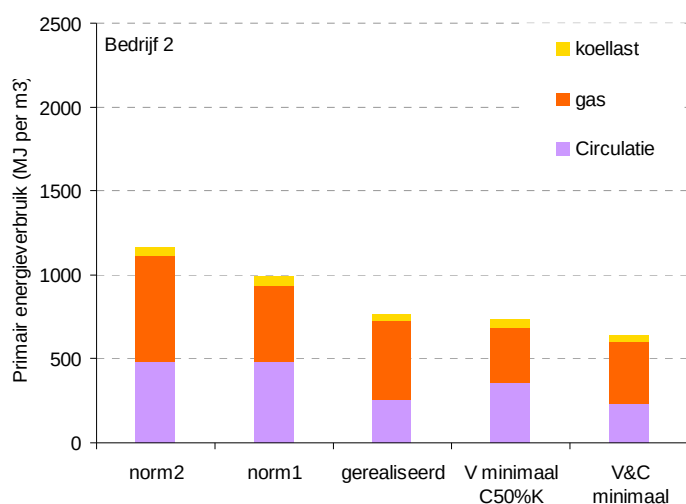
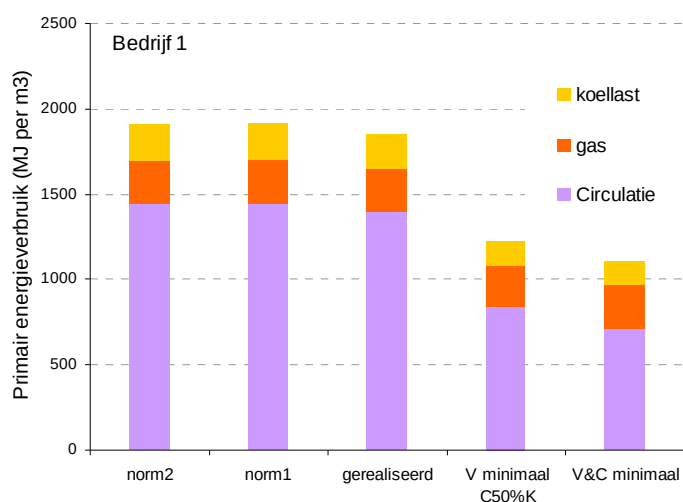
Het kWh- verbruik neemt dan af met de 3de macht van het toerental.

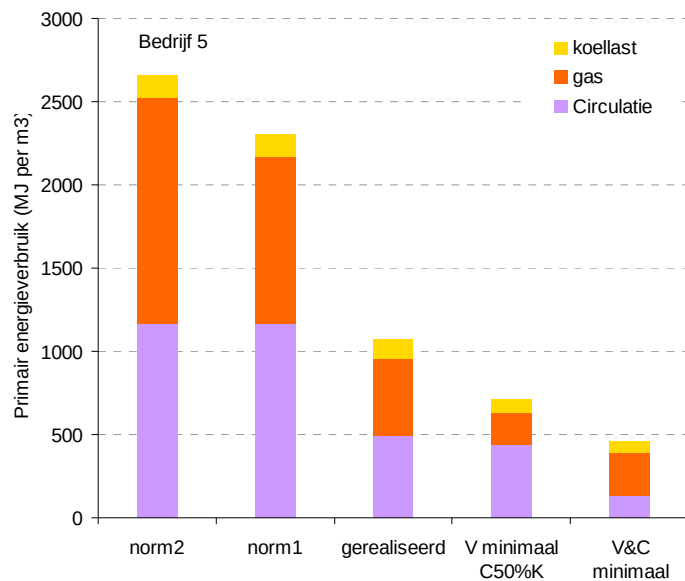
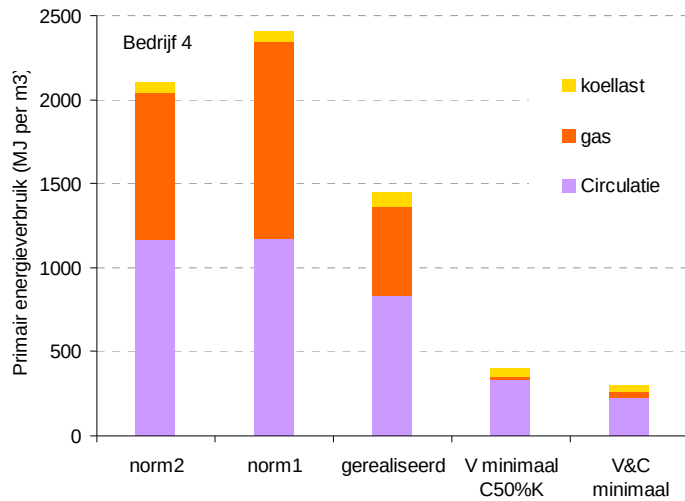
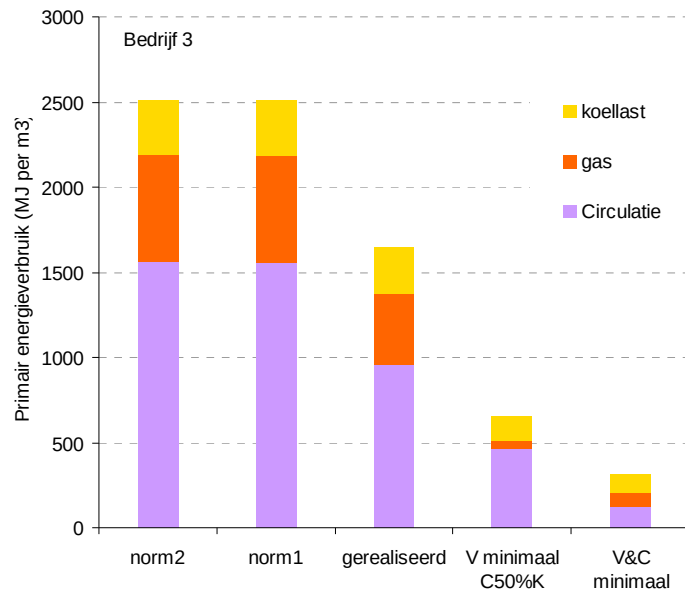
Met de **ethyleenanalyser** wordt het ethyleengehalte van de cellucht continu gemeten. Op basis hiervan wordt via de klimaatcomputer de ventilatie gestuurd. Bij de sturing wordt bij bewaartemperaturen tussen de 20 en 25 °C een schadedrempel van 100 ppb aangehouden. Stijgt het ethyleengehalte tot boven 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.

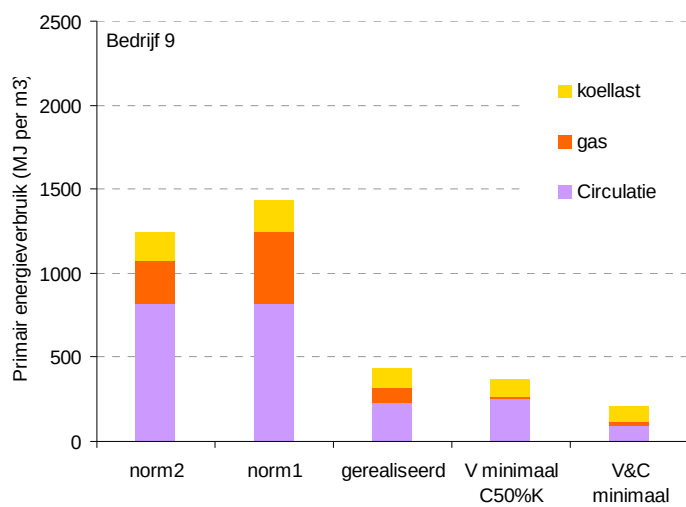
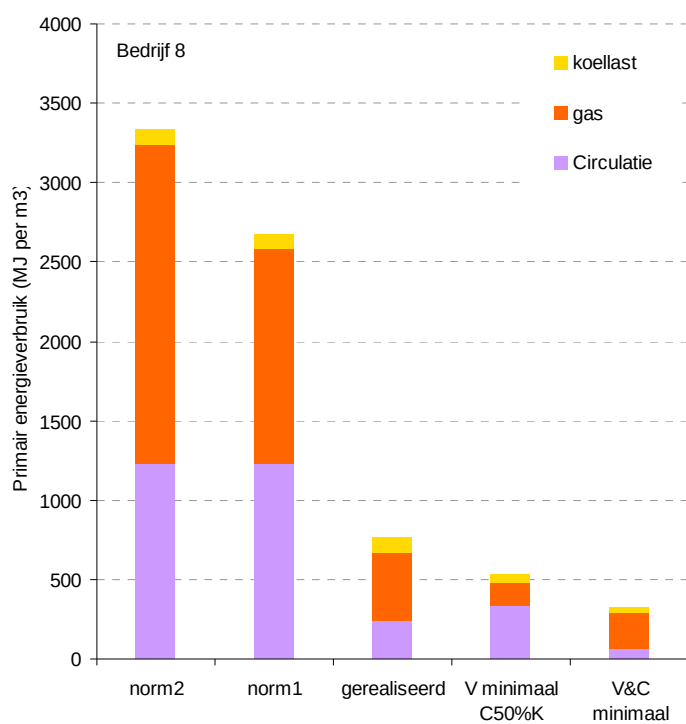
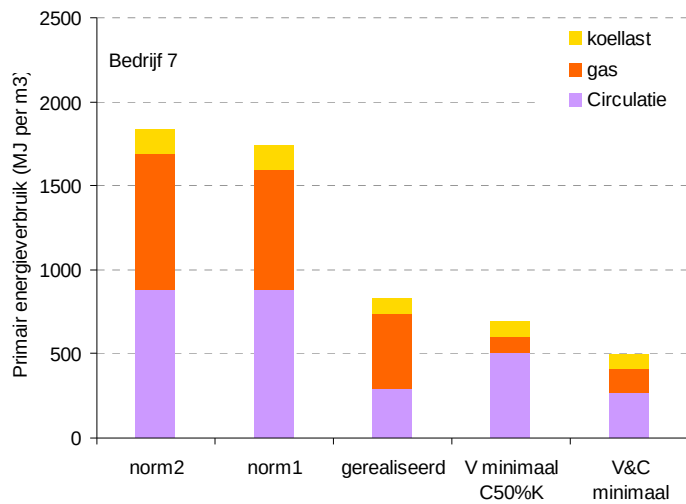
De klimaatcomputer registreert daarnaast de voor de berekeningen van het energieverbruik relevante gegevens.

Bijlage 2: Energieverbruik per m³ bollen volgens 5 verschillende scenario's

Norm1:	Ventileren met 100 m ³ lucht/m ³ bollen/uur tot 1 september, daarna met 60 m ³ . Circuleren met 50 Hz tot 1 september, daarna op 50% lucht met aan/uit.
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. (Bij een cel met een forse overcapaciteit voor ventilatoren betekent dit een flink hoger energieverbruik dan volgens norm1)
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%), frequentiegeregeld 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%, frequentiegeregeld circuleren voor 50% evenredig aan de klepstand, maar met een minimum frequentie van 15 - 20 Hz.







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

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	1422	7,4	7,9	1361	7,1	7,5	4%	1415	7,4	7,8	10%
Bedrijf 2	8701	26,9	25,4	8233	25,4	24,0	5%	6526	20,1	19,0	25%
Bedrijf 3	2401	17,9	19,4	1606	11,9	13,0	33%	333	2,5	2,7	86%
Bedrijf 4	4771	33,4	32,0	2122	14,9	14,2	56%	145	1,0	1,0	97%
Bedrijf 7	6944	20,1	22,5	4328	12,5	14,0	38%	1340	3,9	4,3	81%
Bedrijf 5	6214	28,8	25,9	2794	12,9	11,6	55%	1592	7,4	6,6	74%
Bedrijf 8	8889	38,6	32,5	2879	12,5	10,5	68%	1474	6,4	5,4	83%
Bedrijf 9	1998	12,2	14,3	241	2,3	2,7	88%	53	0,5	0,6	97%
gemiddeld	5168	23,1	22,5	2945	12,4	12,2	43%	1610	6,1	5,9	69%
Elektra (kWh)											
Bedrijf 1	35345	184,1	196,0	34250	178,4	189,9	3%	18074	94,1	100,2	49%
Bedrijf 2	38517	118,9	112,4	22443	69,3	65,5	42%	19591	60,5	57,2	49%
Bedrijf 3	28087	209,0	226,6	18314	136,3	147,7	35%	3333	24,8	26,9	88%
Bedrijf 4	19571	137,0	131,3	14714	103,0	98,7	25%	4247	29,7	28,5	78%
Bedrijf 7	39625	114,7	128,6	14873	43,0	48,3	62%	13789	39,9	44,7	65%
Bedrijf 5	31083	143,9	129,4	14703	68,1	61,2	53%	4783	22,1	19,9	85%
Bedrijf 8	33708	146,3	123,2	8529	37,0	31,2	75%	2657	11,5	9,7	92%
Bedrijf 9	10821	101,7	119,2	3609	33,9	39,8	67%	1780	16,7	19,6	84%
gemiddeld	29595	144,4	145,8	16429	83,6	85,3	45%	8532	37,4	38,3	74%
Totaal energieverbruik (MJ)											
Bedrijf 1	368126	1917	2041	356103	1855	1974	3%	212420	1106	1178	42%
Bedrijf 2	652652	2014	1905	491538	1517	1435	25%	405847	1253	1184	38%
Bedrijf 3	337244	2509	2721	221299	1647	1785	34%	41712	310	337	88%
Bedrijf 4	343947	2409	2307	207065	1450	1389	40%	43312	303	291	87%
Bedrijf 7	600859	1739	1950	286080	828	928	52%	171236	495	556	72%
Bedrijf 5	498296	2307	2074	230597	1068	960	54%	99047	459	412	80%
Bedrijf 8	616019	2674	2251	178018	773	651	71%	75752	329	277	88%
Bedrijf 9	167658	1576	1848	40956	385	451	76%	17891	168	197	89%
gemiddeld	448100	2143	2137	251457	1190	1197	44%	133402	553	554	73%

