

State-of-the-Art bewaarsysteem tulpenbollen

Naar een maximale energie-efficiëntie

J. Wildschut (PPO)

M. Kok en N. Kreuk (DLV Plant)

© 2007 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, SenterNovem en telers).



Projectnummer: 32 360 451 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

0	SAMENVATTING.....	5
1	INLEIDING	7
2	WERKWIJZE.....	8
3	RESULTATEN	9
3.1	Realisatie van het State-of-the-Art bewaarsysteem	9
3.2	Energieverbruik	10
3.2.1	Besparingen op gas.....	12
3.2.2	Besparing op elektra.....	12
3.2.3	Totale energiebesparing.....	13
3.3	Achtergronden.....	14
3.4	Aanvullende metingen en registraties	16
3.4.1	Debietregeling op basis van de druksensor.....	16
3.4.2	Het effect van “de Druppel”	18
3.4.3	Metingen in de kist.....	19
4	COMMUNICATIE EN KENNISOVERDRACHT	22
5	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	23
	BIJLAGEN: Posters	27

0 Samenvatting

Het State-of-the-Art systeem voor het bewaren van tulpenbollen bestaat uit 4 componenten waarvan in eerder onderzoek is aangetoond dat deze ieder afzonderlijk veel energie kunnen besparen: 1) De moderne systeemwand met afgeronde uitblaasopeningen en een interne schuine wand en 2) de aangepaste kuubskist met afgeschuinde hoekbalken en smallere bodemlatten reduceren de luchtweerstand en verhogen daardoor het debiet, 3) verminderde circulatie met frequentieregelaars vermindert het kWh-verbruik van de ventilatoren en 4) ethyleengestuurde ventilatie vermindert het gasverbruik en verbetert daarnaast de kwaliteit van de bollen.

Doelstelling van het State-of-the-Art project is om te onderzoeken hoe op praktijkbedrijven de combinatie van deze componenten *plus* sturing door de klimaatcomputer, uitpakt in termen van energie- en kostenbesparing *en* om het 'State-of-the-Art'-systeem te demonstreren aan de doelgroep: telers en broeiers van tulpenbollen.

Hiertoe zijn 4 bedrijven geselecteerd waar het systeem van bewaren van tulpenbollen zoveel mogelijk het voor ogen staande State-of-the-Art systeem benaderde. Een combinatie met de aangepaste kuubskist kon niet gevonden worden. Ontbrekende componenten zijn t.b.v. het project aangevuld: op 2 bedrijven zijn de zg. druppels geplaatst als alternatief voor de afgeronde uitblaasopening, op één bedrijf een ethyleensensor. De voor de berekening van het energieverbruik relevante data zijn aan het eind van het bewaarstadium uit de klimaatcomputer uitgelezen. Daarnaast zijn aanvullende metingen verricht o.a. ethyleenconcentraties tussen de bollen en debiet-, en drukmetingen in de bewaarwand.

De gerealiseerde energiebesparingen t.o.v. ventileren en circuleren volgens de norm zijn aanzienlijk: 41 tot 66% op gas, 48 tot 65% op elektra en 54 tot 56% op het totale energieverbruik. Achtergrond hierbij is o.a. dat de percentages zure bollen erg laag waren: 0,5%, 0,6% en 1,6%.

De twee scenario's waarbij de klepstand volledig op het ethyleengehalte wordt gestuurd (maar met een minimum klepstand van 15%), en waarbij de frequentieregelaar voor 100% of voor 50% de klepstand volgt (maar met een minimum frequentie-instelling van 15 Hz), laten zien dat de besparingen nog forsler hadden kunnen zijn: 77 tot 95% op gas, 32 tot 82% op elektra en 56 tot 87% op het totale energieverbruik.

De warmteproductie van de bollen plus die van de ventilatoren is een belangrijke energiepost in de warmtebalans van de bewaarcel. Bij ventileren en circuleren volgens de norm voorziet de warmteproductie van bollen en ventilatoren in ongeveer 40% van de warmtevraag.

Bij de scenario's waarbij de klepstand volledig op het ethyleengehalte wordt gestuurd en wanneer in de cellen de ethyleenproductie heel laag is, wordt de warmtevraag bijna volledig door de warmteproductie van de bollen en de ventilatoren geleverd en is het gasverbruik bijna nihil.

De koellast neemt bij deze scenario's iets toe, maar het netto energieverbruik neemt sterk af.

De debietmetingen aan de door de druksensor geregelde systeemwand geven de volgende resultaten: Bij vermindering van het aantal kisten voor de wand neemt de weerstand toe, de druksensor houdt de druk dan perfect constant en het totale debiet wordt dan teruggeregeld. Het debiet per kist neemt dan echter wel toe, maar minder dan zonder druksensor.

Koppeling van deze metingen aan het energieverbruik laat zien dat het energieverbruik alleen bepaald wordt door het toerental: meer weerstand (bv. minder kisten) verhoogt niet het energieverbruik, maar vermindert het totale debiet.

De debietmetingen vóór en na het aanbrengen van de druppels gaven uiteenlopende resultaten: Bij laag toerental werd een kleine toename van het debiet gemeten ($\pm 2\%$), bij hoog toerental is de toename van het debiet groter ($\pm 5\%$). Bij een meting in de uitblaasopeningen aan een andere droogwand, zonder kisten, werd een gemiddelde toename van 13% gemeten.

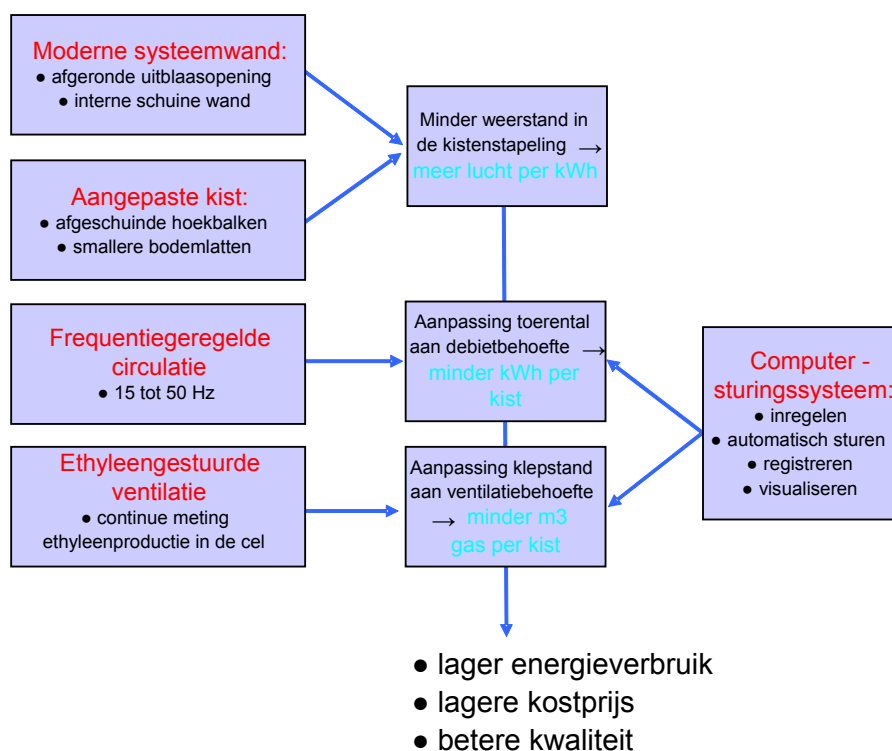
Aan dit project is deelgenomen door de bloembollenbedrijven Karel Bolbloemen B.V., Fa. W. Meskers, Ebbers-Creil V.O.F. en Gebroeders Van Ruiten B.V met hun installatiebedrijven, respectievelijk Polytechniek, Kaandorp-Wijker, Omnivent en Eval. Het project is gefinancierd door de MJA-e (KAVB, LNV en telers) en met bijdragen en ondersteuning van Sercom, Hatech, Environmental Monitoring Systems (EMS) B.V., OmniVent en OmniHout. Organisatie, onderzoek en analyse zijn uitgevoerd door PPO in samenwerking met DLV-Plant.

1 Inleiding

In de laatste jaren van de MJA-e is met proeven op semi-praktijkschaal aangetoond dat aanpassingen aan droog- en bewaarsystemen, zoals de afgeronde uitblaasopening en een nieuw ontwerp kuubkist, de weerstand in het systeem flink verlagen. Daardoor wordt het debiet per ventilator verhoogd, zodat forse energiebesparingen gerealiseerd kunnen worden. Ook is aangetoond dat de circulatienorm sterk verlaagd kan worden zonder negatieve effecten van temperatuur, CO₂, RV en ethyleen op de bollen. Vooral wanneer dit door middel van frequentieregelaars wordt gerealiseerd, is de besparing aanzienlijk. In ander onderzoek is aangetoond dat ook ethyleengestuurde ventilatie fors bijdraagt aan energiebesparing en aan kwaliteitsbehoud.

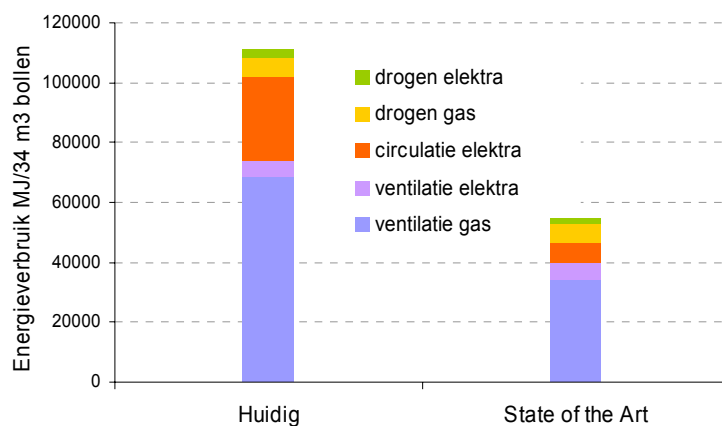
Tot nu toe zijn de genoemde aspecten in afzonderlijke proeven onderzocht. De combinatie van deze energiebesparende maatregelen bij het drogen en bewaren van tulpenbollen wordt gezien als het "State-of-the-Art bewaarsysteem", schematisch samengevat in onderstaande figuur.

State-of-the-Art Bewaarsysteem tulp



Van dit State-of-the-Art systeem wordt geschat dat de gemiddelde energiebesparing tov. het gangbare droog- en bewaarsysteem ongeveer 50 procent zal zijn, figuur 1. Het is daarom gekozen als één van de speerpunten van de 2^{de} ronde van de MJA-e.

Doelstelling van dit project is om te onderzoeken hoe op praktijkbedrijven de combinatie van de verschillende State-of-the-Art systeemcomponenten uitpakt in termen van energie- en kostenbesparing *en* om het 'State-of-the-Art'-systeem te demonstreren aan de doelgroep: telers en broeiers van tulpenbollen.



Figuur 1: Geschatte energiebesparing State of the Art Systeem

2 Werkwijze

De eerste stap bij het opstarten van dit project was het inventariseren en identificeren van bedrijven die drogen en bewaren volgens het State-of-the-Art systeem. Hiertoe werden met Omnivent en Omnihout de bedrijven geïnventariseerd waarbij een moderne droogwand is geïnstalleerd, waar aangepaste kisten worden gebruikt, en waarbij de circulatie dmv. frequentieregelaars gereguleerd wordt. Met Sercom en Hatech/EMS is geïnventariseerd welke bedrijven de ventilatie met de klimaatcomputer sturen op basis van de ethyleenanalyse.

Geen enkel geïnventariseerd bedrijf bleek de aangepaste kist in gebruik te hebben. Er kon één bedrijf geïdentificeerd worden dat de drie overige systeemcomponenten gecombineerd toepast. De rest van de bedrijven bleek er hoogstens 2 te combineren: a) wel ethyleengestuurde ventilatie plus frequentiereguleerde circulatie, maar geen afgeronde uitblaasopening, of b) wel afgeronde uitblaasopeningen plus frequentiereguleerde circulatie, maar geen ethyleengestuurde ventilatie.

Het groene licht voor het project is relatief laat gegeven en het bewaar seizoen ging dit jaar zo'n 2 weken eerder van start dan normaal. Om toch met een voldoende aantal bedrijven dit project op te kunnen starten is daarom voor de twee bedrijven met combinatie a) gekozen voor de eenvoudige te plaatsen zg. druppels als alternatief voor de afgeronde uitblaasopening. Dit is uitgevoerd door Omnihout/Omnivent. Voor het bedrijf met combinatie b) is door Hatech/EMS een ethyleenanalyseur geïnstalleerd.

Op deze wijze zijn 4 bedrijven gevonden waarmee het project van start is gegaan: Karel Bolbloemen B.V., Fa. W. Meskers, Ebbers-Creil V.O.F. en Gebroeders Van Ruiten B.V., met hun installatiebedrijven, respectievelijk Polytechniek, Kaandorp-Wijnker, Omnivent en Eval.

Gedurende de bewaarperiode zijn voor de bewaring belangrijke gegevens verzameld/geregistreerd zoals de ethyleenconcentratie in de cel, de klepstand, de temperatuur in de cel en van de buitenlucht, de ingestelde frequentie van de frequentieregelaar en het kWh verbruik van de circulatieventilatoren. Daardoor is het

mogelijk om aan het eind van het bewaarperiode te analyseren welke energiebesparing bereikt is ten opzichte van het standaard bewaarsysteem. Ook is te berekenen wat er nog meer aan besparing mogelijk zou zijn geweest. Op alle vier bedrijven is een extra ethyleenanalyser in de cel geplaatst om ook metingen tussen de bollen in de kist te kunnen doen. Waar mogelijk is tevens de RV en de temperatuur tussen de bollen gemeten. Daarnaast zijn er aanvullende metingen gedaan mbt. debiet en druk.

3 Resultaten

3.1 Realisatie van het State-of-the-Art bewaarsysteem

Op de bedrijven Fa. W. Meskers en Ebbers-Creil V.O.F. zijn door Omnivent en Omnihout zg. druppels ter beschikking gesteld en op het bedrijf Gebroeders Van Ruiten B.V is door Hatech/EMS een ethyleenanalyser geïnstalleerd. Op het bedrijf Karel Bloembollen B.V. zijn door het installatiebedrijf Polytechniek ook druksensoren in de systeemwand geplaatst waarmee de circulatie op druk geregeld kan worden, en zijn frequentie en stroomverbruik van de ventilatoren met een datalogger daarna continue geregistreerd. Op het bedrijf Fa. W. Meskers is door het installatiebedrijf Kaandorp/Wijnker voor elke ventilator een kWh-meter geplaatst en op het bedrijf Ebbers-Creil V.O.F. is door de Omnivent het stroomverbruik per ventilator gemeten bij de verschillende frequentie-instellingen. De realisatie van de State-of-the-Art systeemcomponenten is samengevat in tabel 1.

Tabel 1: Gerealiseerde State of the Art Systeemcomponenten

Systeemcomponenten	Bloembollenbedrijven			
	Karel Bolbloemen B.V.	Ebbers-Creil V.O.F.	Fa. W. Meskers	Gebr. Van Ruiten B.V
Moderne systeemwand				
• afgeronde uitblaasopening	ja	druppel	druppel	ja
• interne schuine wand	ja	ja	-	ja
Aangepaste kist	-	-	-	-
Frequentiereguleerde circulatie				
• 50 → 15 Hz	ja	tot 25 Hz	tot 25 Hz	ja
Ethyleengestuurde ventilatie	ja	ja	ja	ja
Computer sturingssysteem	Sercom	Omnicom	Sercom	Sercom
Aanvullende metingen/registraties				
• Klepstanden	ja	ja	ja	-
• druk in de systeemwand	ja	-	-	-
• CO ₂ in de cel	ja	ja	-	-
• Temp in de cel	ja	ja	ja	ja
• RV in de cel	ja	ja	ja	ja
• Temp in de kist	-	ja	-	-
• RV in de kist	-	ja	-	-
• Ethyleenmeting in de kist	ja	ja	ja	ja
• Debietmetingen systeemventilator	ja	deels	ja	-
• Meteo buiten	ja	ja	ja	ja
• kWh verbruik systeemventilator	ja	ja	ja	-
• registratie frequentie-instelling	deels	-	handmatig	-

Zoals eerder opgemerkt: aangepaste kisten worden op geen enkel bedrijf gebruikt. Op twee bedrijven bleken de frequentieregelaars niet verder terug te kunnen regelen dan tot 25 Hz. De computersystemen van de 4 bedrijven waren niet uitgerust om ook de ingestelde frequentie van de frequentieregelaars, het resulterende debiet (totaal of per kist) en het kWh-verbruik van de ventilatoren te registreren, en dit bleek ook niet op tijd aangepast te kunnen worden.

Op één bedrijf is bleek het mogelijk de ingestelde frequentie en het kWh-verbruik van de circulatieventilatoren via een ander systeem te loggen. Op 2 andere bedrijven is het verband tussen frequentie en kWh-verbruik gemeten, en bij één daarvan zijn de standen van de bij elke ventilator geplaatste kWh-meter handmatig genoteerd na elke nieuwe frequentie-instelling. Op het 4^{de} bedrijf was er door de verbouwing geen tijd voor metingen. Ook bleek de cel al vroeg op 9 °C gezet te zijn zodat de analyse van het energieverbruik geen zin meer had. De debietmetingen zijn uitgevoerd bij drie bedrijven. De gegevens per cel zijn samengevat in tabel 2.

Tabel 2: Gegevens per cel

Gegevens cel	Bloembollenbedrijven			
	Karel Bolbloemen B.V.	Ebbers-Creil V.O.F.	Fa. W. Meskers	Gebr. Van Ruiten B.V
Cel nr.	12	4	11	1
aantal rijen	4	6	6	4
aantal kisten diep	9	8	7	8
aantal kisten hoog	5	6	4	5
maximaal aantal kisten per cel	180	288	168	160
inhoud kist (liter)	1200	1200	850	1200
maximaal volume bollen per cel (m3)	216	346	143	192
hoogte palletopening (cm)	17	17	17	17
afmeting droogwand (lxbxh)	6,4 x 1,5 x 4,5	9,6 x 1,75 x 5,0	8 x 0,9 x 3,8	7,4 x 1,2 x 4,5
aantal ventilatoren circulatie	4	6	3	2
kW per ventilator*	2,68	2,67	2,66	3,2
totaal vermogen ventilatoren	10,72	16,02	7,98	6,4
vermogen per m3 bollen	49,6	46,4	55,9	33,3
minimum instelling frequentieregelaar	15	25	25	15
debiet ventilatie-ventilator bij 100% klepstand	25000	37500	12000	16500

*Gemeten, incl. verbruik frequentieregelaar

3.2 Energieverbruik

Het energieverbruik in een bewaarcel gedurende het bewaar seizoen wordt in hoofdzaak bepaald door de volgende posten (zie ook het rapport "Deskstudy koeling met minimaal energiegebruik bij bewaring van bloembollenplantgoed"):

$$\text{Energiegebruik} = \text{Warmteproductie Bollen} + \text{Warmteproductie Ventilatoren} + \text{Verwarming Buitenlucht}$$

De warmteproductie van de bollen kan worden afgeleid uit de CO₂-productie in de cel. Deze kan worden berekend uit:

$$\text{CO}_2 \text{ concentratie} = \text{CO}_2\text{-productie}/(\text{V} \times \text{K}) + \text{CO}_2 \text{ concentratie in de buitenlucht} (= 368 \text{ ppm}).$$

- Hierbij is V=ventilatie-debiet (m3/uur) en K=Klepstand (%).
- Per liter geproduceerd CO₂ komt 21 kJ aan warmte vrij.
- De CO₂ concentratie wordt gedurende de bewaarperiode elke 15 minuten geregistreerd.

De warmteproductie van de ventilatoren kan worden berekend uit:

Warmteproductie ventilatoren (MJ) = kWh verbruik x 3,6

- kWh verbruik = Maximale vermogen ventilator x (aHz + b)³
- Hz is de ingestelde frequentie
- a en b zijn regressiecoëfficiënten van de gemeten relatieve afname van het opgenomen vermogen bij frequenties < 50 Hz (zie figuur 5 en tabel 9)

Voor plantgoed wordt de cel de eerste 4 tot 6 weken op 25 °C gehouden, vervolgens op 20 °C, voor leverbaar wordt continu 20 °C aangehouden. Uit het verschil tussen de celtemperatuur en de temperatuur van de buitenlucht, en uit het ventilatiedebiet (V x K) kan de bruto benodigde warmte worden berekend:

Warmtebehoefte cel (MJ) = (T^{cel} - T^{buiten}) x (V x K) x Sw, Sw = de soortelijke warmte van lucht

Het netto gasverbruik (bij een ketelrendement van 90%) kan dan worden berekend uit de bruto warmtebehoefte minus de warmteproductie van de bollen minus de warmteproductie van de ventilatoren. Bij hogere buitenluchttemperaturen kan worden berekend wat de koellast is en hoeveel energie (kWh en MJ primair) voor terugkoelen nodig is. Wanneer CO₂ niet gemeten is wordt gerekend met een gemiddelde CO₂ productie van 5 liter per m³ bollen.

Netto Warmtebehoefte = Warmtebehoefte cel – Warmteproductie bollen – Warmteproductie Ventilatoren

Op basis van bovenstaande formules, en de gedurende het bewaarperiode geregistreerde gegevens, is het energieverbruik bij 4 scenario's doorberekend:

1) Verbruik volgens de norm: hier wordt berekend wat het energieverbruik zou zijn indien er volgens de norm wordt geventileerd (tot 1 september met 100 m³ lucht/uur/m³ bollen, daarna met 60 m³), en gecirculeerd (500 m³ lucht/uur/m³ bollen tot 1 september, daarna met de aan/uit regeling 300 m³). Ook het elektraverbruik voor eventuele koeling is berekend.

2) Gerealiseerd verbruik: hier wordt het gerealiseerde gasverbruik berekend, het elektraverbruik voor eventuele koeling en het elektraverbruik door de circulatie-ventilatoren. Deze laatste post is berekend op basis van het bepaalde verband tussen frequentie (toerental) en energieverbruik, en een instelling op 40 Hz tot 1 september en op 25 Hz daarna. De werkelijke frequentie-instellingen zijn niet consequent geregistreerd. In cel 4 op het bedrijf Ebbers-Creil V.O.F. is de frequentie vanaf het begin van de bewaarperiode op 25 Hz ingesteld.

3) Het minimaal mogelijke verbruik: hier wordt het energieverbruik berekend indien de ventilatie volledig op de ethyleenconcentratie gestuurd wordt (zodat de ethyleenconcentratie precies op 100 ppb blijft), maar waarbij een minimum klepstand van 15% wordt aangehouden. Het elektraverbruik voor de circulatie wordt berekend door de frequentie (het toerental) evenredig met de klepstand (die dus gestuurd wordt op basis van de ethyleenconcentratie) af te laten nemen. Uitgangspunt hierbij is dat circulatie en ventilatie hetzelfde doel hebben: afvoer van ethyleen en CO₂, toevoer van zuurstof en een gelijkmatige temperatuur en RV.

4) 50% evenredig: Tot slot is een 4^{de} scenario doorberekend waarbij de frequentie niet voor 100% evenredig met de klepstand afneemt maar met 50% (voorbeeld: als de klepstand naar 50% gaat, gaat de frequentie naar 37,5 Hz ipv. naar 25 Hz).

Voor alle scenario's is er van uitgegaan dat de frequentie niet lager ingesteld kan worden dan 15 Hz (of 25 Hz bij de bedrijven Fa. Meskers en Ebbers-Creil V.O.F.).

3.2.1 Besparingen op gas

Het volgens de norm berekende gasverbruik per kist is voor de eerste 2 bedrijven van dezelfde orde. Op het derde bedrijf ligt dit verbruik lager, omdat de geïnstalleerde maximale ventilatiecapaciteit lager is. Het gerealiseerde gasverbruik per kist per week ligt echter in dezelfde orde en betekent een aanzienlijke besparing: 41 -66%, tabel 3. Het meest gasbesparende scenario is in alle gevallen niet scenario "minimaal", maar het scenario waarin de frequentie voor 50% ipv. 100% door de ethyleensensor gestuurd wordt. Dit komt door een in dit scenario iets hogere warmteproductie van de ventilatoren. De besparingen uitgedrukt in € zijn berekend met een gasprijs van € 0,38.

Tabel 3: besparingen op gasverbruik (m3)

Bedrijf	Scenario	cel	per kist	per m3/week	bespaard	€
Ebbers-Creil V.O.F.	Verbruik volgens de norm	5092	15	1.30		
	Gerealiseerd	2794	8	0.71	45%	€ 873
	50% evenredig	1045	3	0.27	79%	€ 1,538
	minimaal	1190	3	0.30	77%	€ 1,483
Karel Bolbloemen B.V.	Verbruik volgens de norm	5078	24	1.38		
	Gerealiseerd	1713	8	0.47	66%	€ 1,279
	50% evenredig	129	0.60	0.04	97%	€ 1,881
	minimaal	267	1.24	0.07	95%	€ 1,828
Fa. W. Meskers	Verbruik volgens de norm	1581	11	0.78		
	Gerealiseerd	938	6.6	0.46	41%	€ 244
	50% evenredig	92	0.64	0.05	94%	€ 566
	minimaal	130	0.91	0.06	92%	€ 552

3.2.2 Besparing op elektra

Het elektraverbruik (in kWh) is voor de 3 bedrijven samengevat in de tabellen 4 t/m 6. Vooral uitgedrukt in kWh per m³ bollen per week zijn de verbruiken volgens de norm voor de 3 bedrijven van dezelfde orde. De gerealiseerde besparingen op het totale kWh-verbruik variëren van 45% tot 65%. Bij dit scenario is slechts een klein deel van het energieverbruik voor koeling, nl. 3 tot 7%. Bij het scenario "50% evenredig" is koeling 15 tot 19% van het totale kWh-verbruik. Het meest besparende scenario is scenario "minimaal", waarmee 46 tot 81% op elektra bespaard wordt. De besparingen uitgedrukt in € zijn berekend met een kWh-prijs van € 0,12. In cel 4 op het bedrijf Ebbers-Creil V.O.F. is de frequentie vanaf het begin van de bewaarperiode op 25 Hz ingesteld, reden waarom de gerealiseerde besparing op elektra hier hoger is dan in de scenario's "50% evenredig" en "minimaal".

Tabel 4: besparingen op kWh-verbruik

Bedrijf	Scenario	cel	per kist	per m3/week	bespaard	€	
Ebbers-Creil V.O.F.	circulatie						
	Verbruik volgens de norm	24035	70	6.1			
	Gerealiseerd	7995	23	2.0	67%	€ 1,925	
	50% evenredig	12496	36	3.2	48%	€ 1,385	
	minimaal	9559	28	2.4	60%	€ 1,737	
	koeling						
	Verbruik volgens de norm	1764	5	0.4			
	Gerealiseerd	1879	5	0.5	-7%	-€ 14	
	50% evenredig	4996	14	1.3	-183%	-€ 388	
	minimaal	4441	13	1.1	-152%	-€ 321	
	totaal						
	Verbruik volgens de norm	25799	75	6.6			
	Gerealiseerd	9874	29	2.5	62%	€ 1,911	
50% evenredig	17492	51	4.5	32%	€ 997		
minimaal	14000	41	3.6	46%	€ 1,416		

Tabel 5: besparingen op kWh-verbruik

Bedrijf	Scenario	cel	per kist	per m3/week	bespaard	€
Karel Bolbloemen B.V.	circulatie					
	Verbruik volgens de norm	24089	112	6.6		
	Gerealiseerd	12232	57	3.3	49%	€ 1,423
	50% evenredig	7176	33	2.0	70%	€ 2,030
	minimaal	2004	9	0.5	92%	€ 2,650
	koeling					
	Verbruik volgens de norm	1662	8	0.5		
	Gerealiseerd	2002	9	0.5	-20%	-€ 41
	50% evenredig	4158	19	1.1	-150%	-€ 299
	minimaal	2838	13	0.8	-71%	-€ 141
	totaal					
	Verbruik volgens de norm	25751	119	7.0		
Gerealiseerd	14233	66	3.9	45%	€ 1,382	
50% evenredig	11334	52	3.1	56%	€ 1,730	
minimaal	4842	22	1.3	81%	€ 2,509	

Tabel 6: besparingen op kWh-verbruik

Bedrijf	Scenario	cel	per kist	per m3/week	bespaard	€
Fa. W. Meskers	circulatie					
	Verbruik volgens de norm	12626	88	6.2		
	Gerealiseerd	4339	30	2.1	66%	€ 994
	50% evenredig	4522	32	2.2	64%	€ 973
	minimaal	2933	21	1.4	77%	€ 1,163
	koeling					
	Verbruik volgens de norm	540	4	0.3		
	Gerealiseerd	428	3	0.2	21%	€ 13
	50% evenredig	1982	14	1.0	-267%	-€ 173
	minimaal	1564	11	0.8	-190%	-€ 123
	totaal					
	Verbruik volgens de norm	13166	92	6.5		
Gerealiseerd	4766	33	2.3	64%	€ 1,008	
50% evenredig	6503	46	3.2	51%	€ 800	
minimaal	4497	31	2.2	66%	€ 1,040	

3.2.3 Totale energiebesparing

Het totale energieverbruik (gas *plus* elektra uitgedrukt in MJ primaire energie) is voor de 3 bedrijven samengevat in tabel 7. De gerealiseerde besparingen variëren van 54 tot 56%. Netto is het scenario "minimaal" het meest besparend (59 – 87%), maar het verschil met "50% evenredig" is klein.

Tabel 7: totale energiebesparingen (MJ)

Bedrijf	Scenario	cel	per kist	per m3/week	bespaard	€
Ebbers-Creil V.O.F.	Verbruik volgens de norm	411289	1190	15.0		
	Gerealiseerd	187138	541	6.8	54%	€ 2,784
	50% evenredig	194180	562	7.1	53%	€ 2,535
	minimaal	167833	486	6.1	59%	€ 2,899
Karel Bolbloemen B.V.	Verbruik volgens de norm	410367	1900	16.0		
	Gerealiseerd	188350	872	7.3	54%	€ 2,661
	50% evenredig	106538	493	4.1	74%	€ 3,611
	minimaal	52973	245	2.1	87%	€ 4,337
Fa. W. Meskers	Verbruik volgens de norm	174115	1219	12.2		
	Gerealiseerd	75903	532	5.3	56%	€ 1,252
	50% evenredig	61760	432	4.3	65%	€ 1,366
	minimaal	45040	315	3.2	74%	€ 1,592

De financiële besparingen per cel per jaar zijn aanzienlijk: tot maximaal €4.337 per jaar. De investeringen voor een ethyleensensor plus frequentieregelaars lopen uiteen van ongeveer €10.400 tot €13.400 (afhankelijk van het aantal circulatieventilatoren per cel). Bij de huidige energieprijzen (€0.38/m³ gas en €0.12/kWh elektra) liggen de terugverdientijden bij de gerealiseerde energiebesparingen tussen de 4,3 en 8,3 jaar.

De huidige energieprijzen zijn het dubbele van die van 5 jaar geleden. Dit betekent een gemiddelde prijsstijging van 15% per jaar. Blijven de energieprijzen de komende jaren met 15% stijgen dan is over een periode van 5 jaar de gemiddelde gasprijs €0.55/m³, en de gemiddelde prijs voor elektra €0.18/kWh. De terugverdientijden liggen dan tussen 2,9 en 5,7 jaar, tabel 8.

Tabel 8: Terugverdientijden bij huidige, en bij gemiddelde prijzen tot 2012 met jaarlijkse prijsstijgingen van 7,5 en 15%.

Bedrijf	Scenario	investeringen	energieprijs	jaarlijkse prijsstijging	
			2007	7,5%	15%
		gasprijs:	€ 0,38	€ 0,46	€ 0,55
		elektra:	€ 0,12	€ 0,14	€ 0,18
Ebbers-Creil V.O.F.	Verbruik volgens de norm				
	Gerealiseerd	€ 13.400	4,8	4,0	3,3
	50% evenredig		5,3	4,4	3,6
	minimaal		4,6	3,8	3,2
Karel Bolbloemen B.V.	Verbruik volgens de norm				
	Gerealiseerd	€ 11.400	4,3	3,5	2,9
	50% evenredig		3,2	2,6	2,2
	minimaal		2,6	2,2	1,8
Fa. W. Meskers	Verbruik volgens de norm				
	Gerealiseerd	€ 10.400	8,3	6,9	5,7
	50% evenredig		7,6	6,3	5,2
	minimaal		6,5	5,4	4,5

3.3 Achtergronden

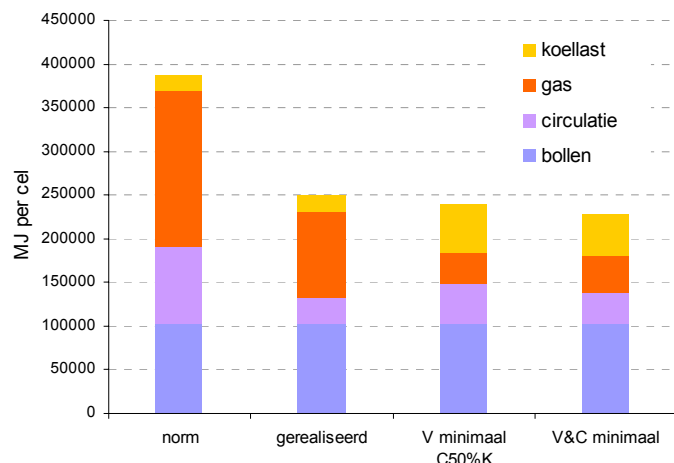
Enkele verklarende verschillen tussen de bewaarcellen zijn samengevat in tabel 9. Belangrijke punten hierin zijn o.a. de bewaarduur en periode, het percentage zure bollen, het gemiddelde verschil tussen de temperatuur in de cel en van de buitenlucht en de ventilatiecapaciteit bij maximale celvulling.

Tabel 9: Enkele verschillen tussen de bedrijven.

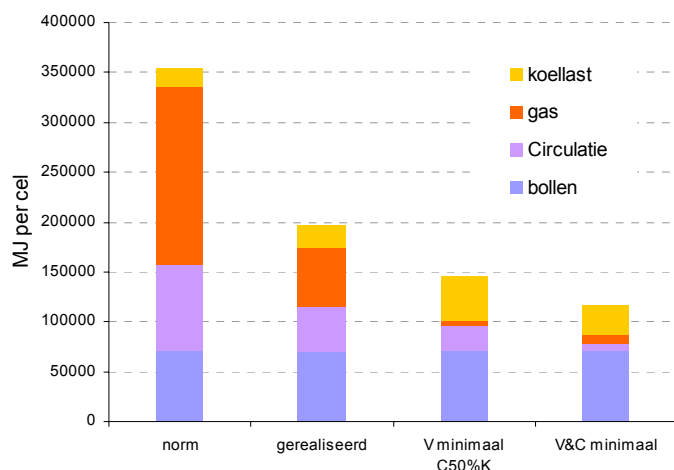
Gegevens cel	Bloembollenbedrijven			
	Karel Bolbloemen B.V.	Ebbers-Creil V.O.F.	Fa. W. Meskers	Gebr. Van Ruiten B.V.
Cel nr.	12	4	11	1
start monitoring	15-jun-07	19-jul-07	5-aug-07	28-aug-07
einde monitoring	11-okt-07	6-okt-07	13-nov-07	24-okt-07
duur monitoringsperiode (dgn)	119	80	100	57
percentage zure bollen	0,5%	1,6%	0,6%	nvt*
gemiddeld verschil T _{cel} - T _{buiten} (°C)	4,7	5,2	5,9	-6,7
Minimum instelbare frequentie	15	25	25	15
Verband Hz ↔ kWh	(0,016Hz + 0,160) ³	(0,014Hz + 0,302) ³	(0,019Hz + 0,059) ³	
ventilatiecapaciteit (m ³ /u/m ³)	116	109	84	86
gemiddelde klepstand volgens norm	86	82	73	nvt*
gemiddelde klepstand gerealiseerd	44	45	46	nvt*
gemiddelde klepstand minimaal (ondergrens 15%)	16	27	21	nvt*

*deze cel is uiteindelijk niet meer voor warme bewaring gebruikt

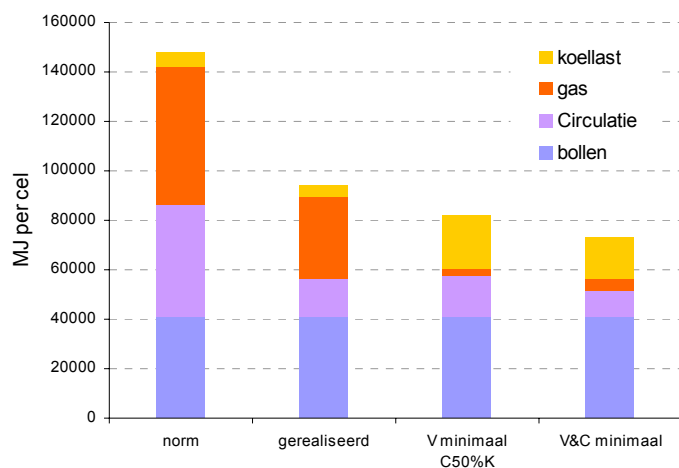
De totale warmtevraag en koellast gedurende het geregistreerde bewaar seizoen voor de 3 beschouwde cellen en de 4 scenario's zijn samengevat in de figuren 2 t/m 4. De warmtevraag wordt bepaald door de duur van de bewaarperiode, het gemiddelde temperatuurverschil met de buitenlucht en de mate waarin er geventileerd moet worden om ethyleen af te voeren.



Figuur 2: Warmtelevering cel 4, Ebbers-Creil V.O.F.



Figuur 3: Warmtelevering cel 12, Karel Bloembollen B.V.



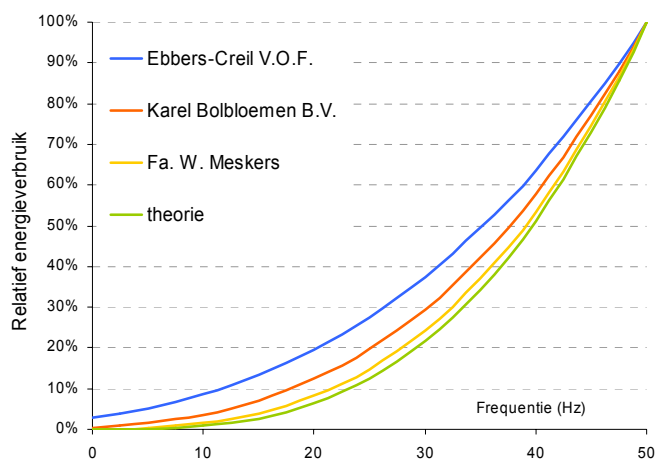
Figuur 4: Warmtelevering cel 11, Fa. W. Meskers

Bij ventilatie en circulatie volgens de norm wordt een aanzienlijk deel van de warmtevraag geleverd door de warmteproductie van de bollen en van de ventilatoren, het grootste deel door verwarming met gas. Bij het gerealiseerde energieverbruik gaan zowel het aandeel voor verwarming met gas en de warmteproductie door de ventilatoren omlaag. De warmteproductie door de bollen blijft gelijk. Bij het scenario “50% evenredig” is het gasverbruik minimaal, omdat de warmteproductie van de bollen en de ventilatoren in het grootste deel, of zelfs bijna volledig, in de warmtevraag voorzien. De koellast is in dit scenario ook het grootst: het aantal dagen dat bollen en ventilatoren meer dan in de warmtevraag van de cel voorzien is dus toegenomen. In scenario “minimaal” wordt iets minder warmte geleverd door de ventilatoren waardoor iets meer gas moet worden verbruikt en de koellast iets lager is.

Verschillen tussen de cellen zijn o.a. te verklaren door het gemiddelde percentage zure bollen. Berekend volgens een gemiddelde ethyleenproductie per bol van 0.15 ml/dag (dit kan per cultivar sterk verschillen), komt dit in cel 4 op 1,6%, reden waarom hier de klepstand minder teruggezet kan worden dan voor de andere cellen. Voor deze cel is ook het gemiddelde temperatuurverschil met de buitenlucht het grootst, tabel 8. In cel 11 werden op 13 november nog bollen warm bewaard en vooral in die maand wordt veel energiewinst geboekt.

In de berekende scenario's waarin de frequentie aan de ethyleengestuurde klepstand gekoppeld is, is het effect het grootst bij een lage ethyleenproductie en wanneer de frequentie verder terug geregeld kan worden dan 25 Hz: cel 12.

In figuur 5 is voor de drie cellen het resultaat van de metingen aan kWh-verbruik in relatie tot de frequentie weer gegeven. Hierin is het kWh-verbruik weergegeven als percentage van het maximaal opgenomen vermogen van de ventilator *plus* het opgenomen vermogen van de frequentieregelaar (5 tot 10% van het totaal). De regressievergelijkingen van deze verbanden zijn weergegeven in tabel 8. In de figuur is ook het theoretisch verband weergegeven, zonder rekening te houden met het vermogen van de frequentieregelaar. De verbanden zijn op verschillende manieren bepaald en het geheel is dus vooral indicatief voor het 3^{de} machtsverband. Het laat zien dat vooral van 50 naar 30 Hz de afname van het energieverbruik zeer sterk is. In de berekeningen sorteert de steilere afname in het geschatte energieverbruik voor circulatie wel een evenredig groot effect (zie cel 11 in figuur 4).



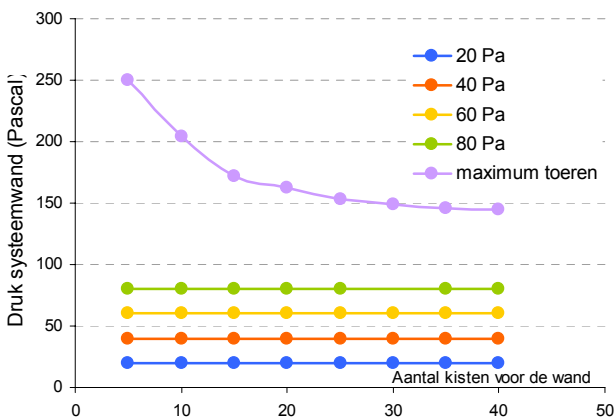
Figuur 5: Verband frequentie (Hz) en energieverbruik.

3.4 Aanvullende metingen en registraties

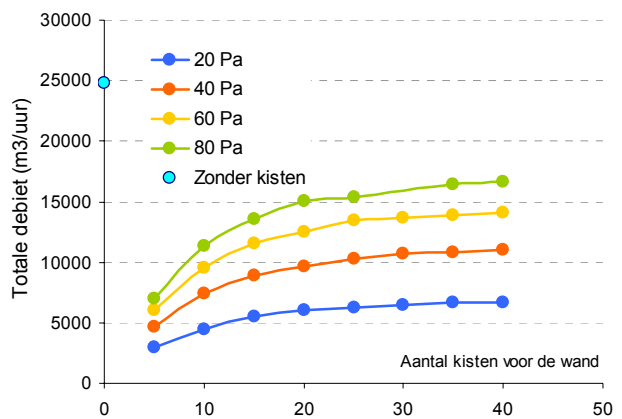
3.4.1 Debietregeling op basis van de druksensor

In de cel op het bedrijf Karel Bloembollen B.V. is bij wijze van proef door Polytechniek dmv. van een druksensor in de systeemwand de circulatie op druk gereguleerd. De gewenste druk kan worden ingesteld, waarna bij verandering van het aantal kisten voor de wand het toerental automatisch wordt bijgesteld zodat de druk constant blijft. Doelstelling hiervan is dat het debiet per kist dan gelijk blijft. Om dit te verifiëren is het totale debiet in de droogwand gemeten in de ventilatoringang, telkens bij minder kisten voor de wand en bij een ingestelde druk van 20, 40, 60, en 80 Pascal, en bij het maximale toerental (dus zonder drukregeling). Hierbij zijn ook de het toerental en het energieverbruik genoteerd.

In figuur 6 is de gemeten druk weergegeven bij een verschillend aantal kisten voor de wand. De druksensor stelt het toerental goed in zodat bij alle stapelingen (40, 35, etc. t/m 5. kisten voor de wand) de druk perfect constant blijft. Zonder drukregeling, bij het maximum aantal toeren (1450 t/m 5. kisten voor de wand) neemt de druk af met toenemend aantal kisten → naarmate er meer kisten voor de wand staan neemt de weerstand af. Als er meer dan 20- 25 kisten voor de wand staan maakt het niet veel meer uit. Een kistenstapel is op te vatten als een stapeling van parallelle weerstanden (openingen en lekkage) *plus* seriële weerstanden (palletkanaal). Parallel geschakelde weerstanden laten evenredig meer lucht door, seriële weerstanden verminderen het debiet. Figuur 7 laat zien hoe het totale debiet bij elke drukinstelling dan ook toeneemt naarmate er meer kisten voor de wand staan. Of anders gesteld, naarmate de tegendruk (weerstand) toeneemt (minder kisten voor de wand) wordt het toerental middels de druksensor teruggeregeld zodat de druk weer afneemt en het totale debiet bij minder kisten verminderd.



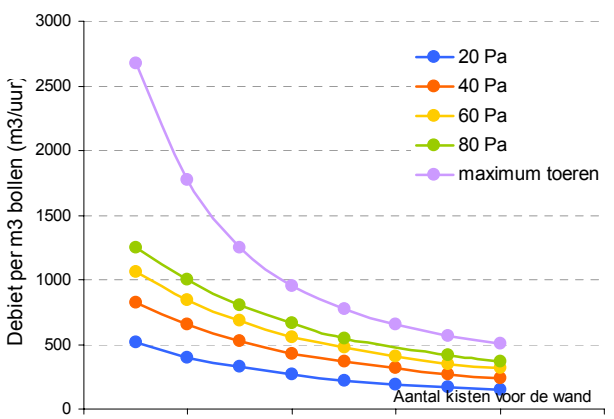
Figuur 6: Automatische drukregeling.



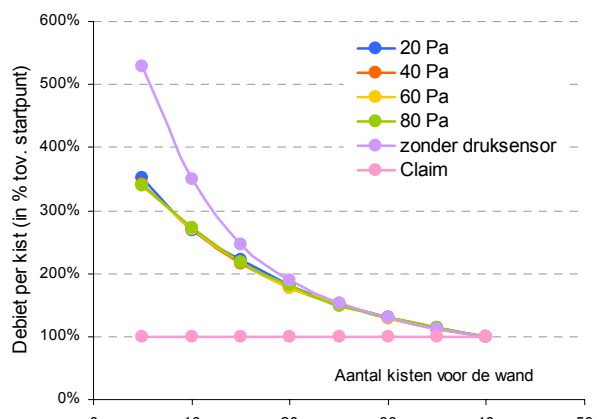
Figuur 7: Verband debiet en het aantal kisten.

De belangrijkste vraag bij dit onderzoek was natuurlijk: blijft de hoeveelheid lucht per kubieke meter bollen (m³/uur/m³) per drukinstelling ook gelijk? In figuur 8 is het debiet per m³ bollen aangegeven. Uit de figuur blijkt dat de terugregeling op druk niet voldoende is om het debiet *per kist* constant te houden. Het debiet per kist neemt nl. toe naarmate er minder kisten voor de wand staan. Zonder deze regeling zou het debiet per kist bij een lager aantal kisten echter nog veel hoger worden, zie de lijn voor “maximum toeren”. In figuur 9 is de toename van het debiet per kist uitgedrukt in procenten.

Mogelijk is een debietmeter in combinatie met bv. een infraroodsensor die kisten kan tellen hier een oplossing voor. Overigens blijft het bij deze regeling dan noodzakelijk om handmatig de maximale circulatie in te stellen. Met een koppeling met de ethyleensensor, zoals in de scenario’s 3 en 4 is dit vml. niet meer nodig.

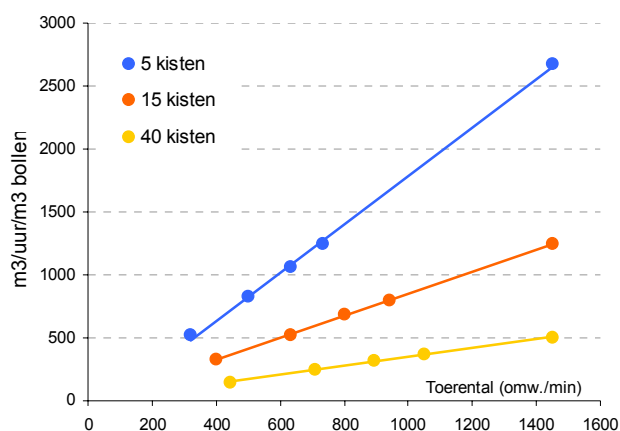


Figuur 8: Verband debiet per m³ en het aantal kisten.



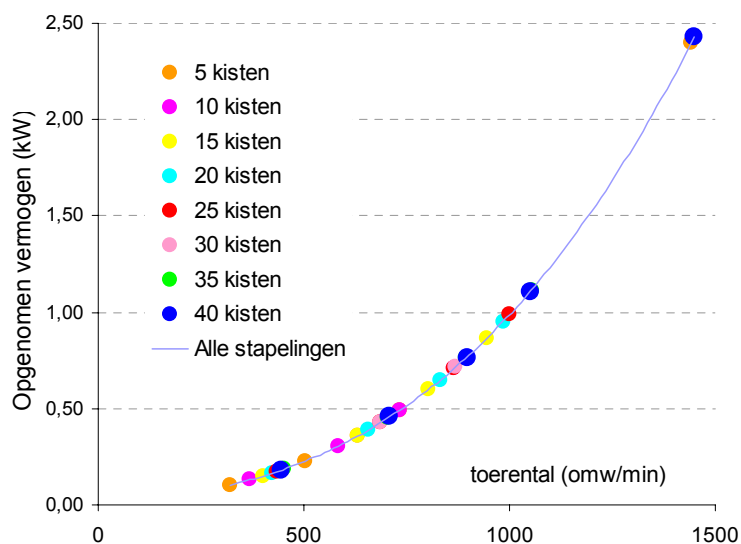
Figuur 9: Relatieve terugregeling debiet per kist

In figuur 10 is het verband tussen toerental en debiet per kist aangegeven. Evenredig met het toerental neemt het debiet per kist af, en naarmate er minder kisten voor de wand staan is het debiet per kist hoger.



Figuur 10: Verband toerental en debiet per kist.

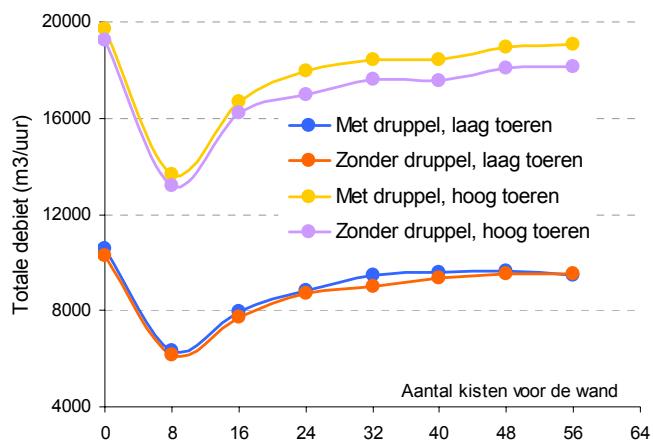
In figuur 11 is hetzelfde verband tussen Hz=toerental en energieverbruik weergegeven als in figuur 5, maar nu per aantal kisten voor de wand. De figuur laat duidelijk zien dat het energieverbruik niets met het aantal kisten voor de wand (de weerstand) te maken heeft, maar dat alleen het toerental het energieverbruik bepaalt. Minder weerstand verlaagt niet het energieverbruik, maar verhoogt de hoeveelheid lucht (het debiet). Dat is dan ook het effect van de afgeronde uitblaasopening: het energieverbruik van de ventilator blijft gelijk, maar per kWh wordt er meer lucht door de stapeling geblazen. In een moderne systeemwand kunnen dan ook ventilatoren met een lager vermogen geïnstalleerd worden. Ongeacht de hoeveelheid kisten voor de wand betekent terugregelen van het toerental eenzelfde afname in energieverbruik.



Figuur 11: Verband toerental en energieverbruik.

3.4.2 Het effect van “de Druppel”

Op de bedrijven Fa. W. Meskers en Ebbers-Creil V.O.F. zijn als alternatief voor de afgeronde uitblaasopening “druppels” aangebracht. De resultaten van debietmetingen vóór en na de plaatsing op het bedrijf Fa. W. Meskers zijn samengevat in figuur 12.



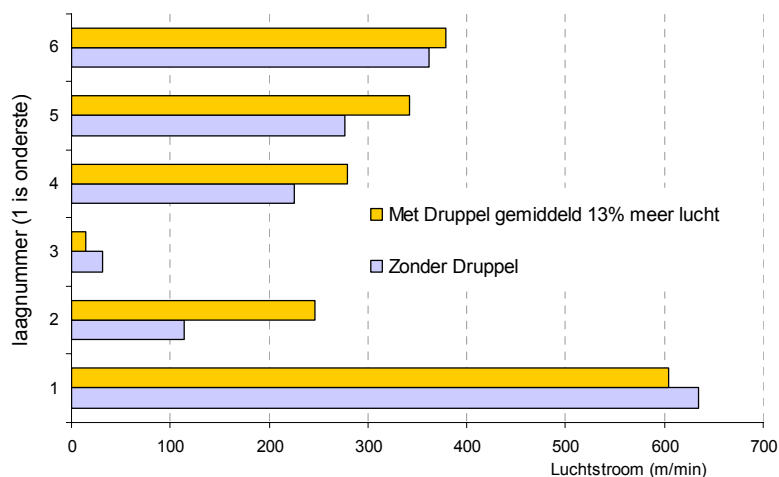
Figuur 12: Effect van de druppel, Fa. W. Meskers

Zonder kisten is het debiet ongeveer 20.000 m³/uur bij hoog toerental (50 Hz) en ongeveer 10.000 bij laag toerental (25 Hz). De weerstand is bij één dubbele kolom (2 x 4 kisten) het hoogst, neemt dan tot de 4^{de} kolom af en blijft daarna ongeveer gelijk.

Bij laag toerental is het effect van de druppel gemiddeld 2.2%, bij hoog toerental 4,7%. Dit kan met meetfouten te maken hebben maar kan ook betekenen dat hoe groter de luchtstroom, hoe groter het effect van de druppel. De maximale energiebesparing door het terugregelen van het toerental tot het niveau waarbij er met druppels evenveel lucht door de wand gaat als zonder druppels, is bij laag toerental ongeveer 6,5%, bij hoog toerental ongeveer 13 %.

Metingen op het bedrijf Ebbers-Creil V.O.F. aan een wand zonder kisten, vóór en na het plaatsen van de druppels, gaven een groter verschil in debiet, nl. 13 %, figuur 13. Opvallend is ook de geringe luchtstroom door de 3^{de} uitblaasopening. De metingen waren echter zeer variabel en zouden nog eens systematisch herhaald moeten worden om dit resultaat te bevestigen.

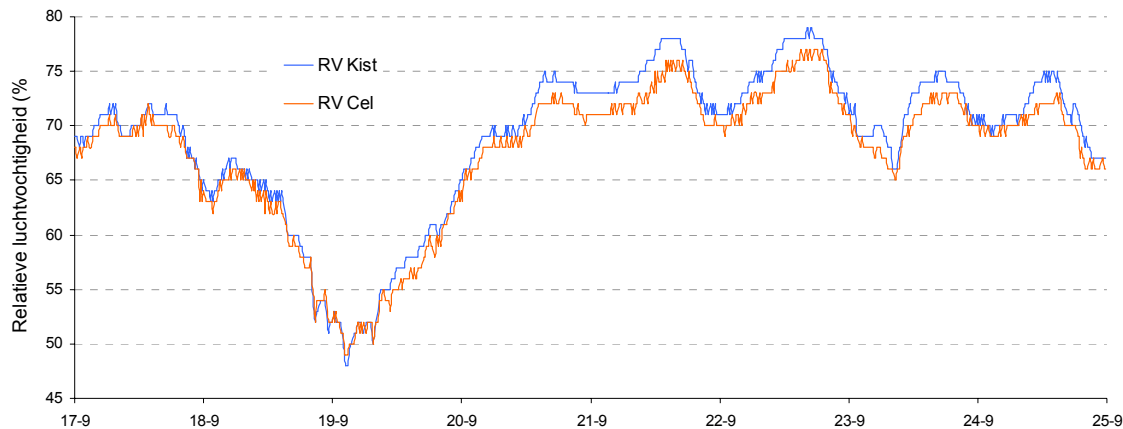
Resultaten van deze metingen zullen meegenomen worden in het project "Verder ontwikkelen Droog & Bewaarsysteem".



Figuur 13: Luchtstroommetingen zonder kisten.

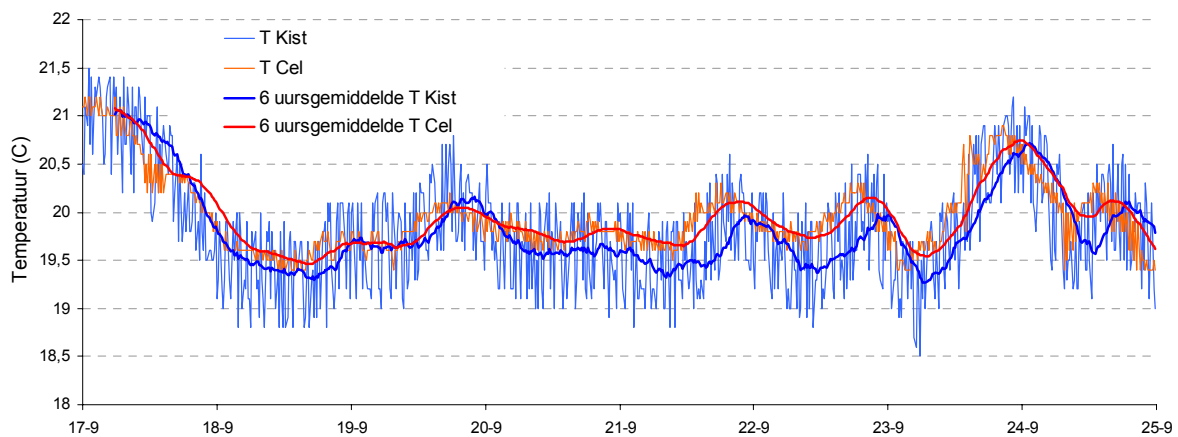
3.4.3 Metingen in de kist

Op het bedrijf Ebbers-Creil V.O.F. zijn vanaf 15 augustus tussen de bollen in een kist de RV, de temperatuur, en het ethyleengehalte gemeten. Over de gehele gemeten periode ligt de RV in de kist gemiddeld 1,6 % hoger dan in de cel. Dit is maar een klein verschil dat ook door verschillen in meetapparatuur veroorzaakt kan worden. Voor de periode van 17/9 t/m 25/9 is dit geïllustreerd in figuur 14.



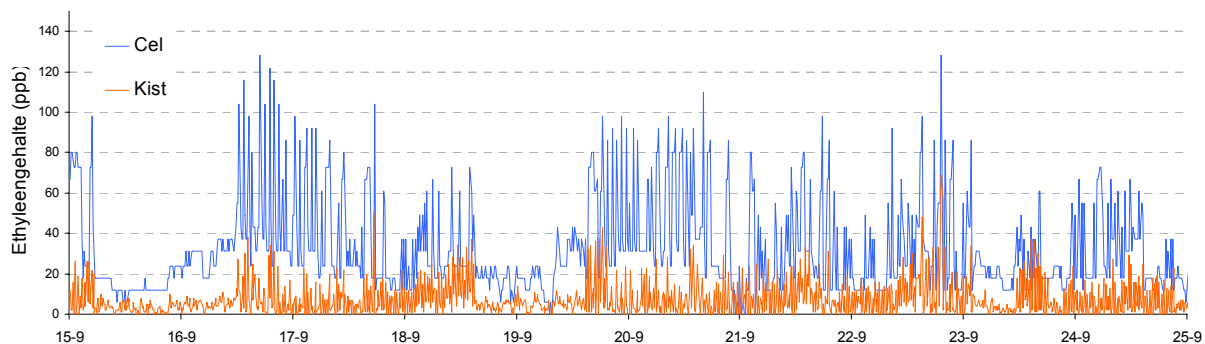
Figuur 14: Relatieve luchtvochtigheid in de cel en in een kist

Ook de temperatuursverschillen tussen kist en cel zijn minimaal. Het gemiddelde verschil is $-0.11\text{ }^{\circ}\text{C}$, bij 53% van de metingen is de celtemperatuur hoger dan de kisttemperatuur, in 40% van de metingen is de celtemperatuur lager. Opvallend is de hogere fluctuatie van de temperatuur in de kist, figuur 15. Hierin is ook te zien dat de temperatuur in de kist de celtemperatuur volgt.



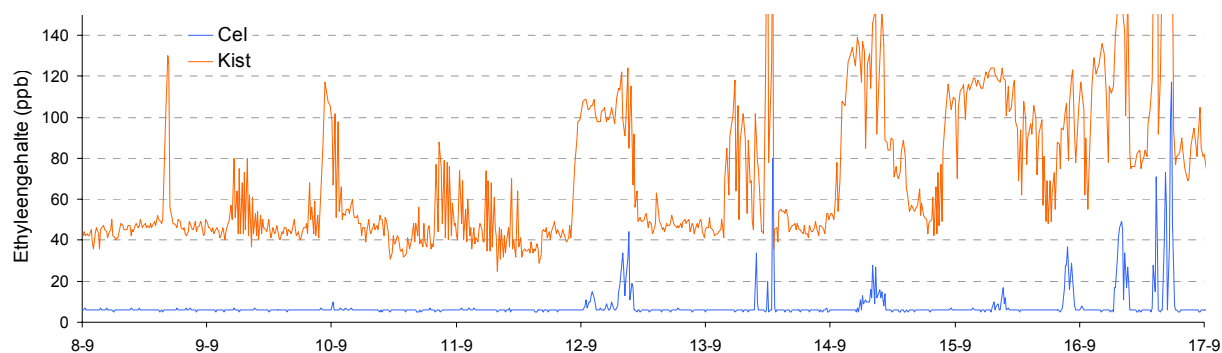
Figuur 15: Temperatuur in de cel en in een kist

De ethyleenmetingen tussen de bollen zijn op alle drie bedrijven gedaan. Op het bedrijf Ebbers-Creil V.O.F. bleef het ethyleengehalte gemiddeld onder het gemeten ethyleengehalte van de cel, figuur 16. Dit is feitelijk niet te verklaren: de lucht tussen de bollen in de kist wordt ververst met lucht uit de cel. Als er geen enkele zure bol in de kist is, zou het ethyleengehalte in de kist even hoog als in de cel moeten zijn, met zure bollen in de kist zou het ethyleengehalte in de kist hoger dan in de cel moeten zijn.



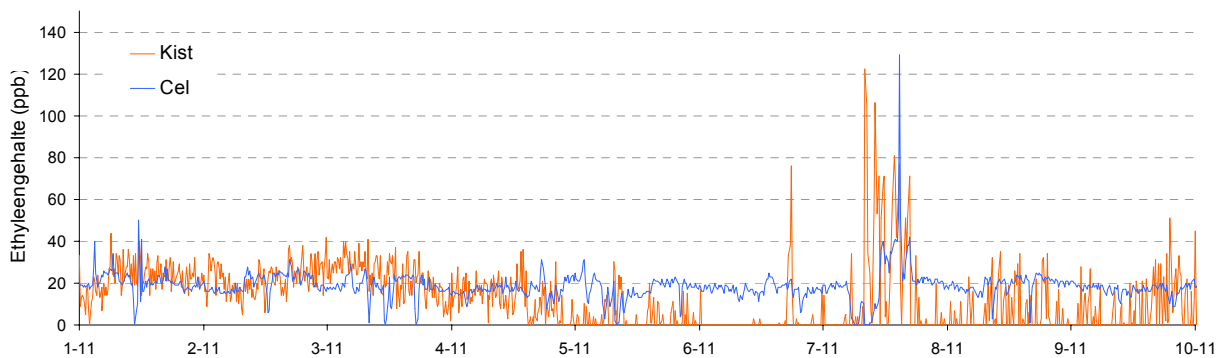
Figuur 16: Ethyleengehalte in de cel en in een kist.

Op het bedrijf Karel Bloembollen B.V. ligt het ethyleengehalte van de lucht tussen de bollen in de gemeten kist wel ruim boven dat van de cel, figuur 17. Hier is duidelijk sprake van een kist met een hoger percentage zure bollen dan het gemiddelde in de cel.



Figuur 17: Ethyleengehalte in de cel en in een kist.

De metingen in de kist bij Fa. W. Meskers gaven een tussenbeeld: sommige perioden is het ethyleengehalte in de kist ongeveer gelijk aan dat in de cel, andere perioden duidelijk lager, figuur 18. De fluctuatie is in de kist altijd groter dan in de cel.



Figuur 18: Ethyleengehalte in de cel en in een kist.

4 Communicatie en kennisoverdracht

Tot nu toe zijn er 3 lezingen/bijeenkomsten gehouden waarvan 2 op de betrokken bloembollenbedrijven (waarbij 40 resp. 10 telers aanwezig waren). Het streven is een bijeenkomst op het 3^{de} bedrijf half april of na half mei te organiseren. DLV heeft de resultaten op 2 energielezingen besproken (in Dronten en met studieclub Onderdijk). Daarnaast zijn op de Kennismarkten Energie (Mechanisatiebeurs te Lisse, Agribeurs te Zwaagdijk en de Lentetuin te Breezand) de resultaten met 2 posters (zie bijlage) toegelicht. Ook op de komende bedrijvenmarkt op de laatste dag van het "Xth International Symposium on Flower Bulbs and Herbaceous Perennials" te Lisse, zullen de resultaten met posters worden toegelicht.

De resultaten van het project werden goed ontvangen. De gerealiseerde energiebesparingen in procenten en in Euro's zijn indrukwekkend.

Steeds terugkerende vragen/opmerkingen zijn o.a.:

- Er is veel op energie bespaard, maar gaat dit niet ten koste van de kwaliteit?

Ondanks alle onderzoeksresultaten is toch het "zien = geloven" het meest overtuigend. Bij een vervolg van het State-of-the-Art project is het daarom belangrijk om dmv. van monsternamen de bollen van het begin van de bewaring tot in de broei en op het veld te volgen. Ook is het van belang van het project uit te voeren met telers die al meer dan één seizoen ervaring met de ethyleensensor en frequentiegeregelde verminderde circulatie hebben.

- Is het niet veel goedkoper op CO₂ ipv. ethyleen te sturen?

Ook hier geldt "zien = geloven": met datasets van telers die zowel een ethyleensensor als een CO₂ meter in de cel hebben kan gedemonstreerd worden dat, ondanks dat er soms wel enig verband tussen ethyleen- en CO₂-productie is, om ethyleen onder de 100 ppb te houden het sturen van de klepstand op CO₂ riskant is en nauwelijks tot energiebesparing leidt.

Na afronding van dit rapport zal een artikel in de vakbladen verschijnen.

5 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies:

Het State-of-the-Art bewaarsysteem zoals voorgesteld (moderne droogwand plus aangepaste kisten, *plus* frequentiegeregelde circulatie *plus* ethyleengestuurde circulatie *plus* een computersturingssysteem dat ook alle voor energieverbruik relevante parameters registreert) is nog niet voor 100% gerealiseerd:

- De aangepaste kist wordt vrijwel niet gebruikt.
- De gecombineerde toepassing van de overige 3 systeemcomponenten is nog zeldzaam.
- De computersturingssystemen zijn nog niet uitgerust om ook de instelling van de frequentieregelaars en het kWh-verbruik te registreren.
- Debietmeters worden niet gebruikt.

De gerealiseerde energiebesparingen t.o.v. ventileren en circuleren volgens de norm zijn aanzienlijk:

- 41 tot 66% op gas
- 48 tot 65% op elektra
- 54 tot 56% op het totale energieverbruik

Achtergrond hierbij is o.a. dat de percentages zure bollen erg laag waren: 0,5%, 0,6% en 1,6%.

De twee scenario's waarbij de klepstand volledig op het ethyleengehalte wordt gestuurd (maar met een minimum klepstand van 15%), en waarbij de frequentieregelaar voor 100% of voor 50% de klepstand volgt (maar met een minimum frequentie-instelling van 15 Hz), laten zien dat de besparingen nog fors hadden kunnen zijn:

- 77 tot 95% op gas
- 32 tot 82% op elektra
- 56 tot 87% op het totale energieverbruik

De warmteproductie van de bollen plus die van de ventilatoren is een belangrijke energiepost in de warmtebalans van de bewaarcel. Bij ventileren en circuleren volgens de norm voorziet de warmteproductie van bollen en ventilatoren in ongeveer 40% van de warmtevraag.

Bij de scenario's waarbij de klepstand volledig op het ethyleengehalte wordt gestuurd en wanneer in de cellen de ethyleenproductie heel laag is, wordt de warmtevraag bijna volledig door de warmteproductie van de bollen en de ventilatoren geleverd en is het gasverbruik bijna nihil.

De koellast neemt bij deze scenario's iets toe, maar het netto energieverbruik neemt sterk af.

De debietmetingen aan de door de druksensor geregelde systeemwand geven de volgende resultaten:

- Bij vermindering van het aantal kisten voor de wand neemt de weerstand toe.
- De druksensor houdt de druk dan perfect constant.
- Het totale debiet wordt dan teruggeregeld.
- Het debiet per kist neemt dan echter wel toe.
- Maar minder dan zonder druksensor.

Koppeling van deze metingen aan het energieverbruik laat zien dat het energieverbruik alleen bepaald wordt door het toerental: minder weerstand (meer kisten) verlaagt niet het energieverbruik, maar verhoogt het totale debiet. Dit totale debiet gedeeld door het aantal kisten voor de wand betekent wel een afname in het debiet per kist.

De debietmetingen vóór en na het aanbrengen van de druppels gaven uiteenlopende resultaten:

- Bij laag toerental werd een kleine toename van het debiet gemeten ($\pm 2\%$).
- Bij hoog toerental is de toename van het debiet groter ($\pm 5\%$).
- Bij een meting in de uitblaasopeningen aan een andere droogwand, zonder kisten, werd een gemiddelde toename van 13% gemeten.

De temperatuur- en RV-metingen in de kist lieten slechts kleine afwijkingen zien van metingen in de cellucht.

De ethyleenmetingen in de kist gaven in één geval waarden onder het ethyleengehalte van de cel. Hiervoor is (nog) geen verklaring.

Aanbevelingen:

Het State-of-the-Art project zou de komende jaren moeten worden voortgezet. Er is dan voldoende tijd om aanpassingen en aanbevelingen die uit de resultaten van 2007 volgen toe te passen. Het accent kan dan meer op demonstratie en voorlichting komen te liggen.

De klimaatcomputer is essentiële systeemcomponent. Geautomatiseerd regelen levert op zich al energiewinst, daarnaast kan het energieverbruik (momenteel en cumulatief) worden gevisualiseerd hetgeen bewustwording stimuleert. Klepstand wel, frequentie niet. Het wordt aanbevolen de koppeling van de circulatie aan de klepstand te onderzoeken. Zelfs als deze voor maar 50% gekoppeld is leidt dit al tot extra forse besparing. Dit aspect kan in een volgende State of Art onderzocht worden waarbij o.a. nagegaan moet worden of de temperatuur, de RV en het ethyleengehalte in de kisten voldoende gelijkmatig blijven bij lage circulatie-debietten.

Een aantal mogelijke verbeteringen voor de computersystemen:

- Koppeling frequentie-instelling en klepstand (scenario's 3 en 4).
- Registratie frequentie-instelling, kWh-verbruik.
- Registratie debietmetingen.
- Modules voor het visualiseren van het gerealiseerde energieverbruik en de warmtebalans van de cel:
 - Gasverbruik berekend uit de CO₂ concentratie (warmteproductie van de bollen), het temperatuursverschil met de buitenlucht, de ventilatiehoeveelheid en het elektraverbruik van de ventilatoren.
 - Elektraverbruik op basis van kWh-meters of het eenmalig vastgestelde verband tussen kWh-verbruik en frequentie-instelling.

De State-of-the-Art cel zou ook uitgerust moeten zijn met debietmeters. Dit geeft meer inzicht, zekerheid en controle voor de telers.

Bijlagen

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

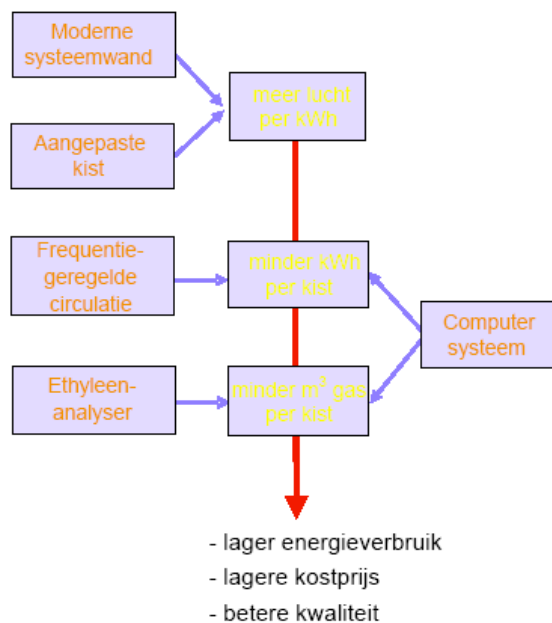
Poster 2: Debiet en Energieverbruik, Metingen in de praktijk



State-of-the-Art bewaren van tulpenbollen

Jeroen Wildschut, Henk Gude (PPO), Maurice Kok, Niels Kreuk (DLV Plant)
Jeroen.wildschut@wur.nl

State-of-the-Art systeem samengevat:



Meer lucht per kist per kWh

- afgeronde uitblaasopening (19% meer lucht)
- alternatief ontwerp kuubskist (17% meer lucht)
- verbetering van de verdeling over de kisten
- schuine wand in het systeem
- minder lekkage
- één-laags ↔ twee-laags ?? → lopend onderzoek

Minder kWh per kist

- Terugregelen toerental met frequentieregelaar
- kWh-verbruik neemt dan af met de 3^{de} macht
- lagere circulatienorm

Lager gasverbruik door ethyleengestuurde klepstand

- Niet meer ventileren dan nodig om ethyleen onder de 100 ppb te houden

Computersysteem

- Sturen klepstand op basis van ethyleensignaal
- Terugregelen toerental evenredig aan klepstand ook mogelijk
- Registreren en visualiseren energieverbruik

Gerealiseerde energiebesparingen:

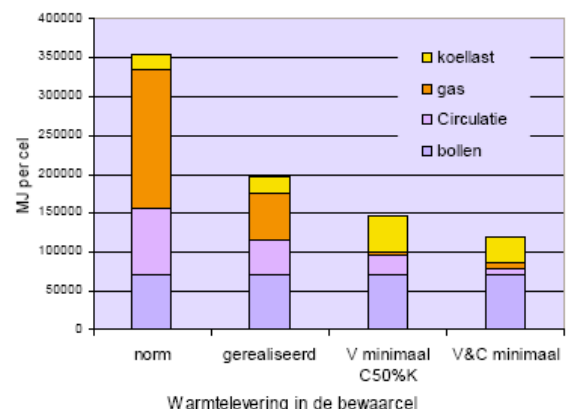
- 31 tot 66% op gas
- 38 tot 65% op elektra
- 42 tot 56% op het totale energieverbruik (percentage zure bollen was laag: 0.5 – 2%)

Mogelijke energiebesparingen:

- 73 tot 95% op gas
- 38 tot 82% op elektra
- 56 tot 87% op het totale energieverbruik

Achtergronden:

- Een deel van de warmte wordt geleverd door de ademende bollen
- Een deel door warmteafgifte van de ventilatoren
- De rest door gasverwarming
- State-of-the-Art realiseert een lager gas en elektraverbruik
- Volledig op ethyleen sturen verlaagt het netto energieverbruik nog verder
- Maar de koellast neemt iets toe



Praktijkonderzoek Plant & Omgeving
Prof. Van Slogterenweg 2
Postbus 85, 2160 AB Lisse
Tel.: 0252 462 121
Fax: 0252 462 100
E-mail: infobollen.ppo@wur.nl
Internet: www.ppo.wur.nl

Dit project is uitgevoerd in opdracht van en gefinancierd door de partijen in de Meerjarenafspraken Energie Bloembollen (KAVB, PT, Min. v. LNV, SenterNovem en telers)





Debiet en Energieverbruik

Metingen in de praktijk

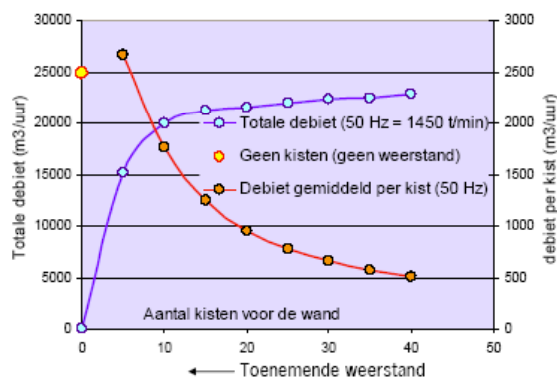
Jeroen Wildschut, Henk Gude (PPO), Maurice Kok (DLV Plant)
Jeroen.wildschut@wur.nl

Uitvoering metingen

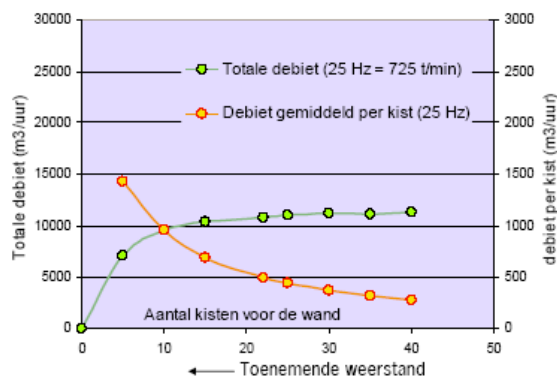
- Bij 0 tot 40 kisten (5 hoog, 8 diep) voor de wand
- Bij verschillend toerental (van 300 – 1450 t/m)

Debiet

- Zonder kisten voor de wand geen weerstand
- Bij 1450 t/min is het debiet dan 25000 m³/uur
- Hoogste weerstand bij 5 kisten voor de wand
- Totale debiet is dan 15000 m³/uur
- Bij toenemend aantal kisten neemt de weerstand af
- Totale debiet neemt dan toe
- Per kist neemt het debiet echter af

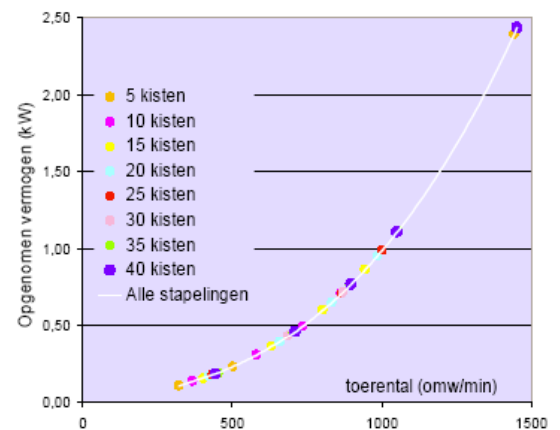


- Bij een 2 x zo laag toerental is het debiet de helft
- Debiet wordt bepaald door weerstand en toerental



Energieverbruik

- Bij verschillend toerental is ook het opgenomen vermogen gemeten
- Dit is uitgevoerd bij 0 tot 40 kisten



- Bij afnemend toerental neemt het kWh-verbruik af met de 3^{de} macht
- Ongeacht het aantal kisten voor de wand
- Dus ongeacht de weerstand (tegendruk)
- Minder weerstand verlaagt NIET het energieverbruik,
- Maar verhoogt het debiet

Kortom:

Bij een gegeven systeemwand geldt:

- Het debiet per kist wordt bepaald door het toerental en de weerstand
- Het energieverbruik wordt alleen bepaald door het toerental

of:

- Meer weerstand betekent dus minder lucht bij hetzelfde energieverbruik



