

Computergestuurde Circulatie

Regelingen in de praktijk

Jeroen Wildschut (WUR/PPO Bloembollen)
H.J.J. Janssen en R. Barth (WUR Glastuinbouw)

© 2014 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 Stuurgroep Schone en Zuinige Bloembollen / Meerjarenafspraken energie Bloembollen (KAVB, PT, min. EZ, RVO.nl (voorheen Agentschap NL) en telers.



Projectnummer: 32 361 682 13

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	6
2 WERKWIJZE.....	6
3 RESULTATEN	7
3.1 Regelsystemen.....	7
3.2 Kistentelling.....	9
3.3 Statische drukmeting	10
3.4 Dynamische drukmeting	14
3.5 Regelingen vergeleken	14
4 CONCLUSIES	19
5 DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN.....	20
BIJLAGE 1: INVENTARISATIE SENSORTECHNIEKEN POSITIEDETECTIE	23

Samenvatting

In tegenstelling tot computergestuurde ventilatie wordt de circulatie handmatig ingesteld. In de praktijk betekent dit dat gedurende het bewaarseizoen het toerental van de circulatieventilator slechts zelden wordt aangepast aan het aantal kisten voor de wand en/of aan de kistinhoud (bolmaat en vulling). Een regeling waarbij het toerental van de ventilator op basis van debietmeting door de klimaatcomputer gestuurd wordt, zodat er gemiddeld altijd exact het door de teler ingestelde debiet door de kisten stroomt, kan echter heel veel elektra besparen en zo de kosten verlagen.

Doelstelling van dit project is het ontwikkelen en testen van dergelijke regelingen die bij de bewaring van alle bolgewassen toepasbaar zijn. Op sectorniveau zal hiermee zeer veel energie bespaard kunnen worden.

Er zijn verschillende regelingen mogelijk, gebaseerd op kistentelling en/of debietmeting. In samenwerking met Agratechniek BV heeft Automated4u een interface gecreëerd tussen de Bulb Store Manager en de ABC klimaatcomputer van Agratechniek BV. Voor een systeem gebaseerd op uitsluitend kistentelling is door Automated4u een interface gecreëerd met de Sercom klimaatcomputer.

Systemen voor computergestuurde circulatie, die gebaseerd zijn op sorteertechnieken voor positiedetectie van kuubskisten, gecombineerd met debietmeting, worden nu (nog) door fabrikanten van klimaatcomputers en installateurs als te duur gezien om de ontwikkeling ervan op te starten.

Op drie bloembollenbedrijven zijn de gerealiseerde regelingen getest en zijn bewaarwanden doorgemeten op debiet als functie van het aantal kisten voor de wand.

Met systemen die uitsluitend gebaseerd zijn op kistentelling blijkt ook veel energie te besparen. De ventilator wordt dan teruggetoerd op basis van een formule. De simpelste formule regelt de ventilatorstand in procenten evenredig met het aantal kisten voor de wand. Nadeel van deze regeling is dat als er weinig kisten voor de wand staan, en er sprake is van frequentiegeregelde ventilatoren begrensd op een minimum van 15 – 25 Hz, de kisten toch een overmaat aan lucht krijgen. Bij gelijkstroomventilatoren die tot bijna 0% teruggetoerd kunnen worden, is er dan echter het risico dat met de simpele formule juist te weinig lucht per kist wordt gegeven, omdat bij weinig kisten voor de wand de weerstand groter is en het totale debiet dus kleiner. Een terugtoerformule kan hiermee rekening houden, maar voor het verschil in debiet tussen kisten met bolmaat 3/4 en bv. bolmaat 7/9, zal de formule weer aangepast moeten worden.

Met systemen waarbij het debiet door luchtsnelheidssensoren in de ventilator wordt bepaald, wordt fors *meer* energie bespaard, vooral wanneer de eerste stapels weggehaald worden. Bij de begrensde frequentiegeregelde ventilatoren neemt de energiebesparing niet meer toe wanneer er wat debiet betreft verder dan de begrenzing teruggetoerd had kunnen worden. Het debiet per kist wordt daarbij dus ook niet constant gehouden worden. Bij de gelijkstroomventilatoren kan het debiet *we*/constant gehouden worden en kan de energiebesparing tot boven de 90% oplopen.

De pitotbuis in de ventilatorring gecombineerd met een drukverschilmeter blijkt een goede sensor om de dynamische druk te meten en hieruit kan eenvoudig het debiet worden afgeleid. De buis waarmee de statische druk wordt gemeten is in principe ook geschikt, zeker bij niet al te hoge weerstand. Nadeel is dat het verband tussen statische druk en luchtsnelheid in de ventilatorring voor elk ventilatortype anders is. De pitotbuis heeft dit nadeel niet en is daarom direct geschikt voor elke ventilator.

Wanneer er twee rijen kisten voor één ventilator staan is het debiet bij asymmetrische stapeling ongelijk over de rijen verdeeld. Terugtoeren op grond van een formule of debietmeting in de ventilatorring leidt er dan toe dat er voor de rij waar per kist de meeste lucht door gaat onvoldoende wordt teruggetoerd en waar het minst door gaat teveel wordt teruggetoerd.

Als beste systeem is aan te bevelen om de pitotbuis (plus differentiële drukmeter) te combineren met de gelijkstroom ventilator. Dan wordt maximaal energie besparen gecombineerd met optimaal (dwz. niet te veel en niet te weinig) circuleren. Het gewenste gemiddelde debiet kan altijd nauwkeurig ingesteld worden.

Een goedkope oplossing is het gebruik van de simpele formule in bewaarsystemen met begrensde frequentiegeregelde ventilatoren. Hoewel het gemiddelde debiet hiermee niet constant gehouden wordt, maar bij ontstapelen toeneemt, wordt toch flink op energie bespaard.

1 Inleiding

In tegenstelling tot de computergestuurde ventilatie (d.i. verversen met buitenlucht) van tulpenbollen op basis van ethyleenmeting, wordt de circulatie (d.i. lucht door de bollen in de kuubskist blazen) handmatig ingesteld. In de praktijk betekent dit dat gedurende het bewaar seizoen het toerental van de circulatieventilator slechts zelden wordt aangepast aan het aantal kisten voor de wand en/of aan de kistinhoud (bolmaat en vulling). Wel wordt de ventilator in de loop van het bewaar seizoen teruggevoerd wanneer de bollen gepeld, gesorteerd en tot rust zijn gekomen.

Het gemiddelde debiet (m³ lucht/uur) per kist wordt niet (continue) gemeten en is daarom onbekend. Dit debiet hangt af van de ventilatorstand, het aantal kisten voor de bewaarwand en de kistinhoud (bolmaat, vulling, type product).

Sturing van het toerental van de ventilator zodat er gemiddeld altijd exact het door de teler ingestelde debiet door de kisten stroomt kan echter heel veel elektra besparen en zo de kosten verlagen.

Doelstelling van dit project is het ontwikkelen en testen van een regeling waarbij het toerental van de ventilator van de bewaarwand door de klimaatcomputer wordt aangestuurd met behulp van een sensor die het debiet meet, *plus* informatie waardoor de klimaatcomputer weet hoeveel kisten er voor de bewaarwand staan. Het door de teler ingestelde setpoint voor het debiet per kist bepaalt dan het toerental van de ventilator. De ventilator wordt hiermee automatisch teruggevoerd wanneer het gemiddelde debiet per kist boven het setpoint komt. Hierdoor wordt nooit *meer* gecirculeerd dan nodig en door het derde machtsverband tussen toerental en energieverbruik wordt hierdoor heel veel elektra bespaard. Deze regeling is, in tegenstelling tot b.v. ethyleengestuurde ventilatie die alleen bij tulp zinvol is, toepasbaar bij de bewaring van alle bolgewassen en zal daardoor op sectorniveau zeer veel energie gaan besparen.

2 Werkwijze

In fase 1 van dit project zijn o.a. sensoren geïdentificeerd waarmee de luchtsnelheid in bijvoorbeeld de ventilatorring direct gemeten kan worden zoals een hete draad meter, keramische plaat, vortex meter, etc., of indirect gemeten via drukverschillen (Pitotbuis), zie “Computergestuurde Circulatieregelingen”, PPO, 2011. Dit signaal wordt aan de klimaatcomputer doorgegeven zodat het totale debiet bekend is. Daarnaast is het in principe noodzakelijk om de klimaatcomputer te laten weten hoeveel kisten er voor de bewaarwand staan zodat deze het gemiddelde debiet per kist uit kan rekenen. Hiervoor zijn twee soorten regelingen mogelijk: 1) op basis van een sensor die kisten telt, bv. op basis van afstandsmeting en 2) op basis van integratie met een digitaal administratief magazijnsysteem zodat de klimaatcomputer op deze wijze weet hoeveel kisten er voor de wand staan. De 2^{de} regeling vereist complexere software (communicatie tussen twee systemen), maar is interessant voor grote bedrijven met veel verschillende bolgewassen.

In dit project is begonnen om bij leveranciers en/of fabrikanten van sensoren te inventariseren welke mogelijke detectietechnieken voor kistentelling toepasbaar zijn. Resultaten hiervan zijn samengevat in Bijlage 1: Inventarisatie sensortechnieken positiedetectie. Daarnaast is met enkele leveranciers van klimaatcomputers nagegaan wat de mogelijkheden zijn voor het binnen de duur van het project softwarematig realiseren van boven beschreven regelingen. Op drie bloembollenbedrijven zijn vervolgens de gerealiseerde regelingen getest en zijn bewaarwanden doorgemeten op debiet als functie van het aantal kisten voor de wand. Hierbij is ook de gelijkmatigheid van de luchtverdeling over de lagen bepaald en waar mogelijk verbeterd, zodat het debiet van de minst beluchte kist beter in beeld is en met meer vertrouwen het circulatiesetpoint ingesteld kan worden. Op een laatste meetsessie konden twee regelsystemen met elkaar vergeleken worden.

3 Resultaten

3.1 Regelsystemen

Op dit moment is in de bloembollensector geen enkel regelsysteem voor computergestuurde circulatie gangbaar. Grofweg zijn de regelsystemen in 4 typen in te delen, zie schema:

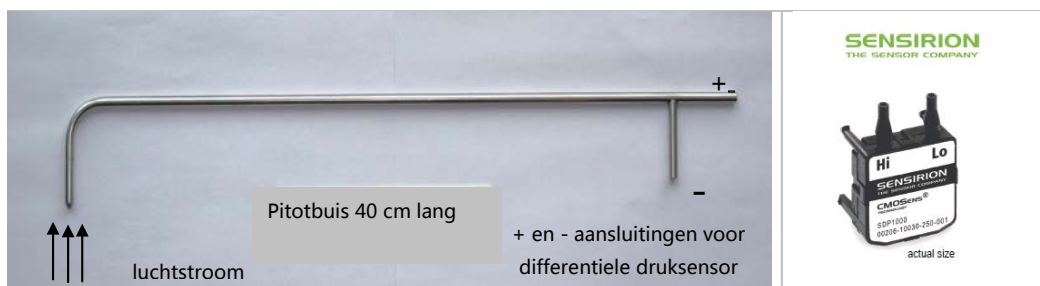
		Ventilator debiet	
		schatting door formule	sensor / meting
Kistentelling	Magazijnsysteem b.v. Automated4u	Systeem 1	Systeem 2
	detectie sensor (zie bijlage 1)	Systeem 3	Systeem 4

Wanneer de klimaatcomputer alleen het aantal kisten voor de ventilator door het toegepaste geautomatiseerde magazijnsysteem doorgegeven krijgt, Systeem 1, moet op basis van een formule berekend worden hoeveel op- of teruggetoerd moet worden om het debiet per kist constant te houden. Dit is echter een onnauwkeurige regeling. De formule dient empirisch bepaald te worden en kan geen rekening houden met kistinhoud (bolmaat en vulling). Het is vermoedelijk wel “beter dan niets”.

Wanneer het aantal kisten voor de ventilator door het toegepaste geautomatiseerde magazijnsysteem aan de klimaatcomputer wordt doorgegeven, terwijl met een sensor het debiet van de ventilator wordt bepaald kan de klimaatcomputer uitrekenen wat het gemiddelde debiet per kist is en toert dan de ventilator op of terug indien dit niet overeenkomt met een vooraf ingevoerd setpoint: Systeem 2. Stel dat een gemiddeld debiet van 250 m³/uur/kist is ingesteld en via het magazijnsysteem aan de klimaatcomputer is doorgegeven dat er 40 kisten voor de ventilator staan, terwijl de sensor een debiet meet van 16.000 m³ per uur. Dan is het gemiddelde debiet 400 m³/uur per kist. De klimaatcomputer toert dan terug van 100% (50 Hz) naar 63% (32 Hz), waardoor de kisten nu gemiddeld 250 m³/uur krijgen (en het energieverbruik is met ruim 70% verminderd). Nu worden er 20 kisten weggehaald en de sensor meet een debiet van 9.000 m³/uur, dat is gemiddeld 450 m³/uur. De klimaatcomputer toert weer terug, nu van 63% (32 Hz) naar 35% (17,5 Hz). Het energieverbruik is nu afgenomen tot maar 5% van het energieverbruik bij maximum toeren.

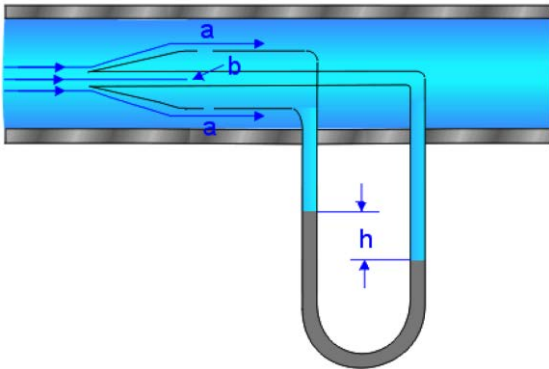
Systemen 3 en 4, waarbij het aantal kisten voor de ventilator door detectietechniek bepaald wordt, zijn in dit project niet getest. Fabrikanten van klimaatcomputers en installateurs waren voor deze systemen niet te interesseren. Deze systemen vragen extra softwareontwikkeling en zijn in deze fase nog te duur. Wel is een overzicht gegeven van mogelijk geschikte technieken en sensoren in Bijlage 1.

Als sensor voor het meten van de luchtsnelheid is in eerste instantie gekozen voor de Pitotbuis in combinatie met een differentiële druksensor, figuur 1. De pitotbuis is goedkoop, heeft geen bewegende delen en nu Actellic niet meer is toegestaan is de kans op verstopping van de gaatjes klein.



Figuur 1: Pitotbuis en differentiële druksensor.

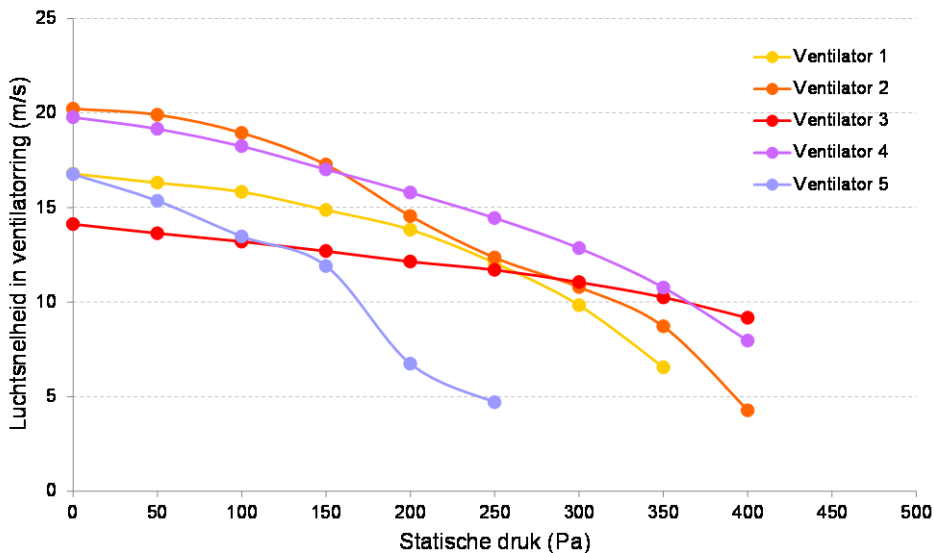
De werking van de pitotbuis wordt weergegeven in figuur 2 (bron: <http://www.wetenschapsforum.nl/index.php/topic/77974-formule-snelheid-via-pitotbuis-afleiden>)



Figuur 2: principe van de pitotbuis.

De druk die in b wordt uitgeoefend is de totale druk (P_{tot}), de druk die in a wordt uitgeoefend is de statische druk (P_{stat}). Hierbij is $P_{tot} = P_{stat}$ en de Dynamische druk (P_{dyn}). Het verschil tussen P_{tot} en P_{stat} is gelijk aan P_{dyn} ($P_{tot} - P_{stat} = P_{dyn}$), aangegeven door resp. $b - a = h$. Met de pitotbuis aangesloten op de drukverschilmeter wordt dus de dynamische druk gemeten en deze verhoudt zich tot de luchtsnelheid als volgt: $P_{dyn} = \frac{1}{2} \rho v^2$, waar bij ρ = dichtheid van lucht (ong. 1,20 kg/m³) en v = luchtsnelheid in m/s)

De statische druk ontstaat door de weerstand die de systeemwand, de kisten, de bollen en de palletkanalen leveren, en verhoudt zich ook tot de luchtsnelheid, maar deze verhouding verschilt per ventilatortype (stand van de schoepen, aantal schoepen, etc., etc.), figuur 3. Bij gelijk toerental van deze ventilatoren is in deze figuur de luchtsnelheid in de ventilatorring weergegeven. Bij vrije uitblaas is de $P_{stat} = 0$ Pa, naarmate er in het systeem meer weerstand is neemt de statische druk toe en neemt de luchtsnelheid in de ventilatorring, en dus ook het debiet, af.



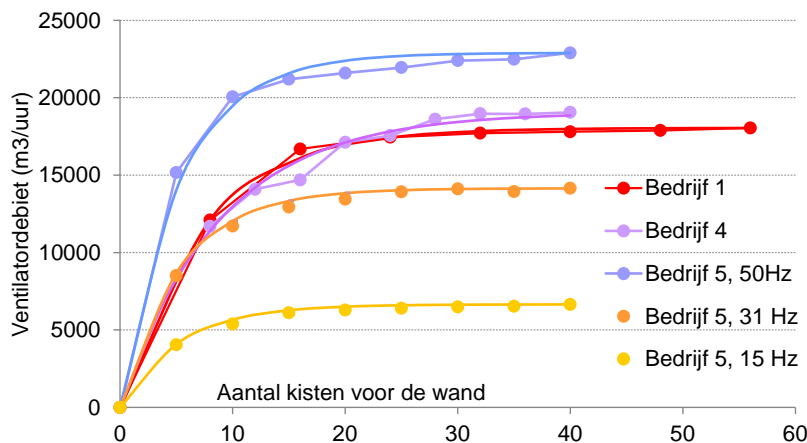
Figuur 3: Statische druk en luchtsnelheid bij gelijk toerental voor 5 ventilatoren

Het gebruik van de statische drukmeting als maat voor het debiet is dus bij niet al te grote weerstand van het systeem correct, maar wel ventilatorspecifiek: voor elk type ventilator dient het verband opnieuw bepaald te worden. Bij een forse toename van de systeemweerstand (weinig kisten met zeer kleine bolmaat voor de wand) kunnen meer of minder grote afwijkingen optreden.

Het gebruik van een pitotbuis is echter niet ventilatorspecifiek en kan dus eenvoudig bij elk type ventilator toegepast worden.

3.2 Kistentelling

Op bedrijf 1 zijn debietmetingen verricht om een formule af te kunnen leiden waarmee op basis van het aantal kisten voor de wand (een gegeven dat het geautomatiseerde magazijnsysteem doorgeeft aan de klimaatcomputer) het juiste toerental wordt ingesteld. Voor de 2-laags systeemwand zijn per ventilator 2 rijen kisten geplaatst van 4 hoog x 7 diep. De debietmetingen zijn uitgevoerd bij symmetrisch weghalen van de kisten uit de twee rijen. Resultaten van de debietmetingen zijn samengevat in figuur 4. In de figuur zijn ter vergelijking ook de resultaten van eerdere metingen op andere bedrijven gezet. De punten in de grafiek zijn de waarnemingen, de getrokken lijnen zijn schattingen van de situatie dat elke kist exact evenveel weerstand heeft.



Figuur 4: Ventilatordebiet bij toenemend aantal kisten.

Het totale debiet van de ventilator neemt af wanneer kisten worden weggehaald. Dat is slechts weinig als van 7 tot 10 diep gestapeld naar 5 diep gestapeld wordt, maar neemt snel sterker af wanneer van 3 naar 1 diep gestapeld wordt. De mate waarin teruggetoerd moet worden om op gelijk debiet per kist te blijven hangt dus af van het aantal kisten voor de wand.

De klimaatcomputer is zo ingesteld dat bij 100% de frequentieregelaar op 50 Hz staat en bij 0% op 15 Hz. De metingen vonden plaats bij een instelling van 40% (i.d.g. $0,35 \times 40 + 15 = 29$ Hz). Bij 7 kisten diep gestapeld (totaal 56 kisten voor de ventilator) werd toen een totaal debiet van 18.050 m³/uur gemeten. Per kist is dat gemiddeld 322 m³/uur. Bij 6 diep (48 kisten totaal) werd 17.880 m³/uur gemeten, gemiddeld per kist 373 m³/uur. Om het debiet op 322 m³/uur te houden moet de frequentie met een factor 0,87 vermenigvuldigd worden om uit te komen op 25 Hz. Als er nog maar 2 stapels kisten per rij voor de ventilator zou staan zou zonder terugtoeren het debiet op 1043 m³/uur uitkomen. De frequentie moet dan met 0.31 vermenigvuldigd worden om het debiet constant op 322 m³/uur te houden, zie tabel 1. De frequentie zou dan op 9 Hz ingesteld moeten worden, maar de minimum stand van de frequentieregelaar is i.d.g. 15 Hz, zodat de computerinstelling op 0% komt.

Tabel 1: Terugtoerfactor en resultaat bij het weghalen van kisten, startfrequentie 29 Hz

stapeldiepte	aantal kisten	gem m ³ /uur	terugtoer factor (A)	gem x A m ³ /uur	naar Hz	%	instelling computer
7	56	322	1,00	322	29	40%	40%
6	48	373	0,87	322	25	29%	29%
5	40	445	0,72	322	21	17%	17%
4	32	553	0,58	322	17	5%	5%
3	24	727	0,44	322	13	-6%	0%
2	16	1043	0,31	322	9	-17%	0%
1	8	1512	0,21	322	6	-25%	0%

Bij een gewenst debiet per kist van 556 m³/uur (i.d.g. bij een frequentie van 50 Hz) zijn de resultaten als in tabel 2.

Tabel 2: Terugtoefactor en resultaat bij het weghalen van kisten, startfrequentie 50 Hz

stapeldiepte	aantal kisten	gem	terugtoer factor (A)	gem x A	naar	%	instelling computer
		m3/uur		m3/uur	Hz		
7	56	556	1,00	556	50	100%	100%
6	48	642	0,87	556	43	81%	81%
5	40	767	0,72	556	36	61%	61%
4	32	954	0,58	556	29	40%	40%
3	24	1253	0,44	556	22	20%	20%
2	16	1798	0,31	556	15	1%	1%
1	8	2607	0,21	556	11	-12%	0%

De terugtoefactor A is berekend als het gemiddelde debiet per kist bij maximale stapeling *gedeeld* door het gemiddelde debiet bij weghalen van kisten. Uit de metingen valt af te leiden dat bij symmetrische stapeling (beide rijen evenveel kisten) *in dit specifieke geval* (deze ventilator, en deze systeemwand met deze kisten met deze bollen) de terugtoerformule is:

$$\text{Terugtoefactor } A = 0,0168 \times \text{Totaal aantal kisten} + 0,0548$$

Bij *niet*-symmetrische stapeling moet er iets minder snel worden teruggetoerd omdat de volste rij namelijk ook wordt teruggetoerd. Bij bijvoorbeeld 7 diep links en 6 diep rechts maakt het niet zoveel uit: de terugtoefactor is dan 0.93 (aantal kisten is 52), dus rechts heeft dan een gemiddeld debiet van $0,93 \times 373 = 346$ en links heeft dan 299 m3/uur per kist. Beide een verschil van 7% met de oorspronkelijke 322 m3/uur. Naarmate het verschil in aantal kisten tussen links en rechts groter wordt, dus links altijd 7 diep en rechts afnemend tot 1 diep, dan neemt de afwijking t.o.v. de 322 m3/uur toe.

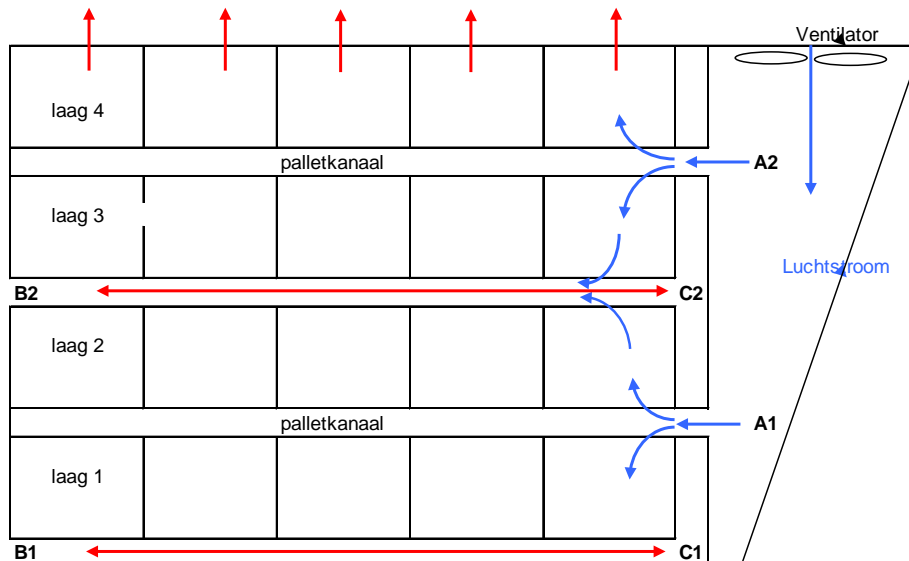
Figuur 4 liet ook al zien dat de mate waarin het debiet per ventilator afneemt van de omstandigheden (kistinhoud en vulling) afhangt. Bij een asymmetrische stapeling kan terugtoeren op basis van een formule grote afwijkingen geven van het werkelijke debiet, zie § 3.5 .

Terugtoeren op basis van een formule, gecombineerd met handmatige kistentelling die via een touchscreen of een tablet naar de klimaatcomputer wordt doorgegeven lijkt de goedkoopste oplossing. Hiermee kan toch fors op elektra bespaard worden. Wat het werkelijke gemiddelde debiet per kist is, in afhankelijkheid van bolmaat en kistvulling, valt echter buiten de waarneming.

3.3 Statische drukmeting

Op Bedrijf 2 is het geautomatiseerde magazijnsysteem (Bulb Store Manager van Automated4u) in gebruik, wat wordt gecombineerd met een statische drukmeter in de ring van de ventilator. De fabrikant van de ventilator heeft het verband tussen statische druk en debiet bepaald. De leverancier van o.a. de klimaatcomputer, Agratechniek BV, heeft de software gemaakt die regelt dat naar een vast debiet wordt op- of teruggetoerd, het magazijnsysteem geeft het aantal kisten voor de wand aan de klimaatcomputer door. Het gewenste gemiddelde debiet per kist wordt handmatig ingevoerd, waarop dit vermenigvuldigd wordt met het aantal kisten voor de ventilator. Het aldus berekende totale debiet wordt vergeleken met het gemeten debiet, waarna de ventilator door de klimaatcomputer wordt op- of teruggetoerd tot het gewenste niveau bereikt is.

In enkele meetsessies is nagegaan of dit systeem inderdaad doet wat hierboven geschetst is. Hiertoe zijn hetedraad luchtsnelheidssensoren op de punten A1 t/m C2 aangebracht, figuur 5:



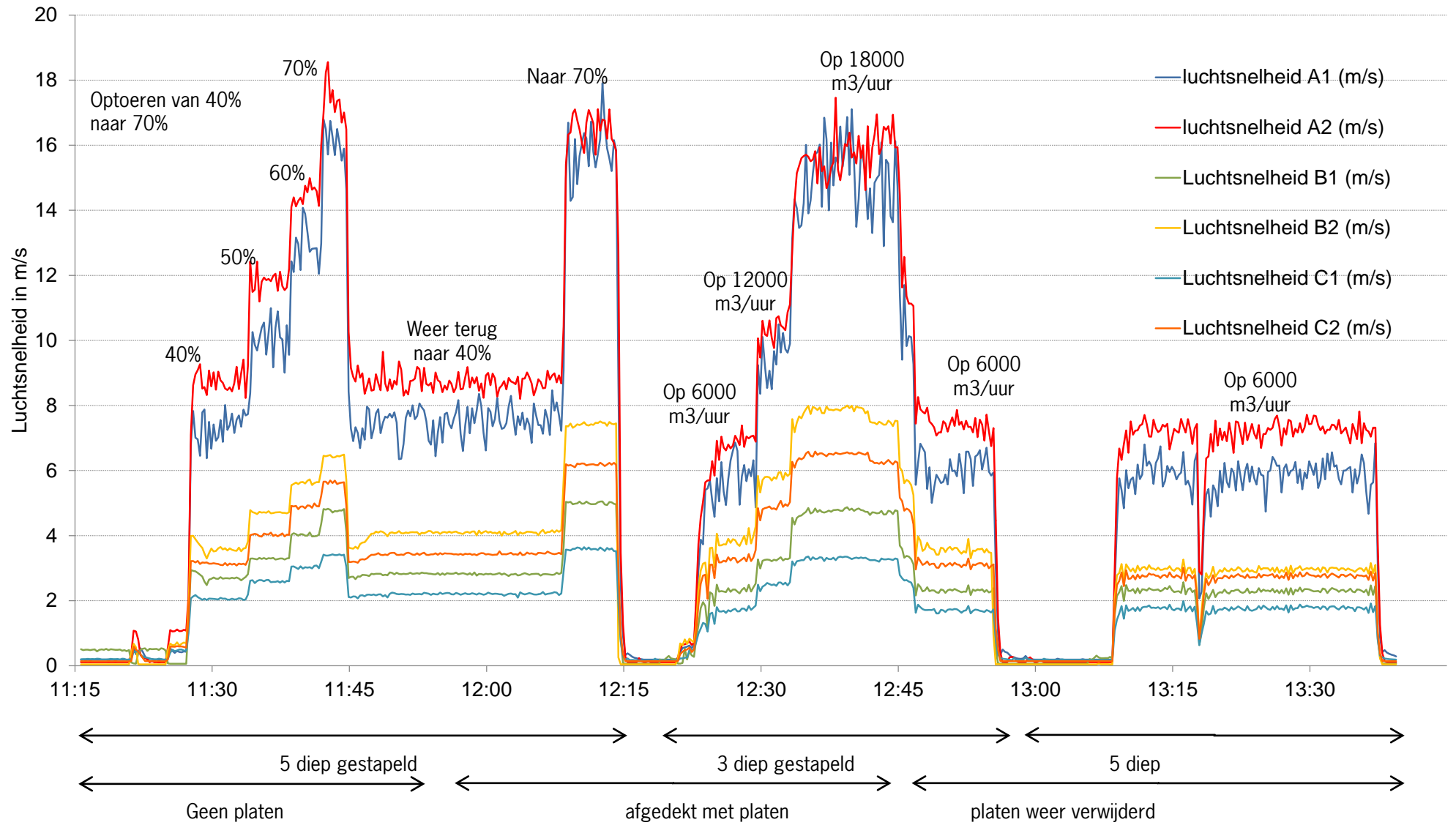
Figuur 5: Schematische voorstelling meetopstelling op bedrijf 2.

Met de meetopstelling kon ook de luchtverdeling over de lagen worden nagegaan, en eventuele verbeteringen getest. In deze meetopstelling werd het gewenste totale debiet direct ingevoerd i.p.v. via het magazijnsysteem.

- 1) Aanvankelijk waren de kisten 4 hoog x 5 diep gestapeld en waren de bovenste kisten niet afgedekt. Toen is gemeten bij 40%, 50%, 60% en 70% luchtsnelheid en vervolgens weer bij 40%.
- 2) Daarna zijn de bovenste kisten afgedekt met platen en is gemeten bij 70%.
- 3) 2 kolommen kisten zijn er tussenuit gehaald en (met nog steeds de platen erop) is er gemeten bij een ingesteld debiet van 6000, 12000 en 18000 m³/uur en vervolgens weer bij 6000m³/uur.
- 4) Daarna zijn de 2 kolommen kisten er weer bij gezet en is weer gemeten bij een ingesteld debiet van 6000 m³/uur.

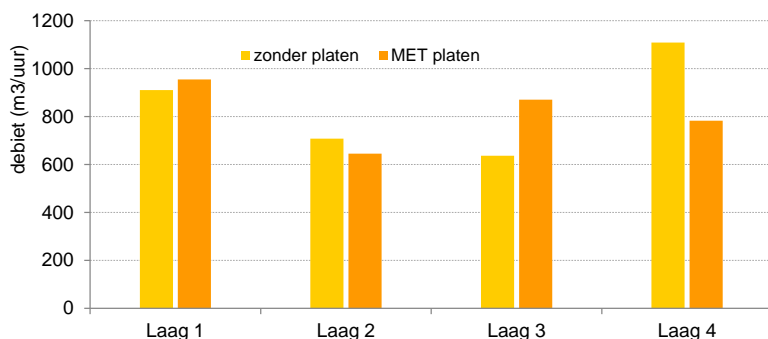
De resultaten zijn samengevat in figuur 6. De figuur laat zien dat:

- Het totale debiet (berekend uit luchtsnelheid A1 en A2) evenredig met de ventilatorinstelling van 40% naar 70% toeneemt.
- Het debiet in A2 (bovenste uitblaasopening) hoger is dan in A1 (onderste uitblaasopening), en dat door het afdekken met platen dit verschil kleiner wordt.
- Het debiet uit het palletkanaal waar laag 3 en laag 2 op uitblazen door het afdekken met platen groter wordt.



Figuur 6: resultaten luchtsnelheidsmetingen in de palletkanalen op de in en uitblaas punten zoals aangegeven in figuur 6.

Berekeningen laten zien dat laag 4 dan minder, en laag 3 meer lucht krijgt, figuur 8. De spreiding is verminderd van 28% naar 19%.



Figuur 7: Gemiddeld debiet per kist per laag, met en zonder platen (ventilator op 70%).

De luchtverdeling over de lagen is echter nog steeds niet optimaal: Laag 1 krijgt teveel, laag 2 krijgt nu het minst. De oplossing hiervoor is om één van de palletopeningen (B1 of C1) geheel of gedeeltelijk af te sluiten. Hierdoor gaat minder lucht door laag 1 en meer door laag 2.

De metingen bij 3 diep, afgedekt met platen en debietsinstellingen oplopend van 6.000, naar 12.000 en 18.000 m³/uur laten zien dat het door de hetedraadmeters gemeten debiet in toenemende mate onder het ingesteld debiet ligt (tabel 3). De resultaten, figuur 6, laten echter ook zien dat tijdens de meting de luchtsnelheid nog steeds oploopt.

Tabel 3: Ingesteld en gemeten totaal debiet (m³/uur)

ingesteld	gemeten			meetduur minuten
	gem	min	max	
6000	7040	6205	7846	03:45
12000	10909	9822	11895	03:30
18000	16838	14253	19038	08:00

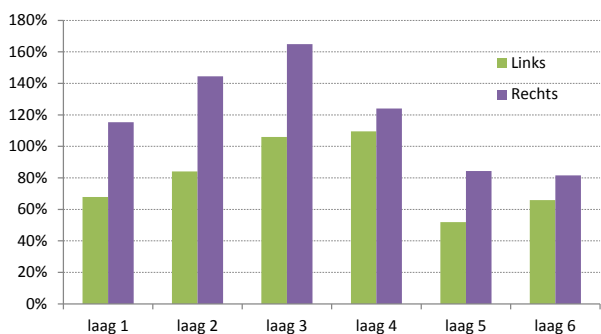
Per instelling is vaak te kort gemeten. Na een verandering duurt het even voordat de ventilator weer stabiel draait en ook op punten met veel turbulentie (A1 en A2) is een wat langere meetperiode, 8 – 10 minuten, nodig om een betrouwbaar gemiddelde te krijgen.

De metingen tijdens de laatste sessie, waarbij de platen eraf zijn gehaald en het debiet is ingesteld op 6000 m³/uur bij de stapeling van 3 diep en vervolgens bij 5 diep laten zien dat de regeling doet wat ie moet doen: het ingestelde debiet leveren ongeacht de weerstand van de stapeling: Bij 5 diep is de weerstand minder waardoor het debiet boven de 6000 m³/uur komt. De regeling toert de ventilator dan terug zodat het debiet weer op 6000 m³/uur komt.

Wanneer, omgekeerd, het gemiddelde debiet per kist is ingesteld op 300 m³/uur, dan zal bij 3 kisten diep de ventilator door de regeling op $4 \times 3 \times 300 = 3600$ m³/uur ingesteld worden, en bij 5 diep op $4 \times 5 \times 300 = 6000$ m³/uur.

3.4 Dynamische drukmeting

Op Bedrijf 3 is een éénlaagssysteemwand doorgemeten van 6 hoog x 10 diep, waarbij ook 2 rijen voor 1 ventilator stonden. Deze wand had intern twee schuine platen om de luchtstroom beter over de lagen te verdelen en structuren om de stroom beter over de rijen te verdelen. Door het plaatsen van de luchtsnelheidsmeters in het meest linker en het meest rechter uitblaaskanaal kon de verdeling over de lagen en over de rijen bepaald worden. De verdeling over lagen en rijen bleek desondanks ongelijkmatig en door de 2 schuine platen ongebruikelijk: de middelste lagen kregen de meeste lucht, i.t.t. normaliter de minste lucht, figuur 7.



Figuur 7: Verdeling over lagen en rijen

In de ventilatorring was een pitotbuis geplaatst, waarmee de dynamische druk gemeten werd zoals beschreven in § 3.1. De aangesloten klimaatcomputer gaf bij de ventilatorstanden van 45%, 60%, 80% en 100% de gemeten P^{dyn} weer en het hiervan afgeleide debiet.

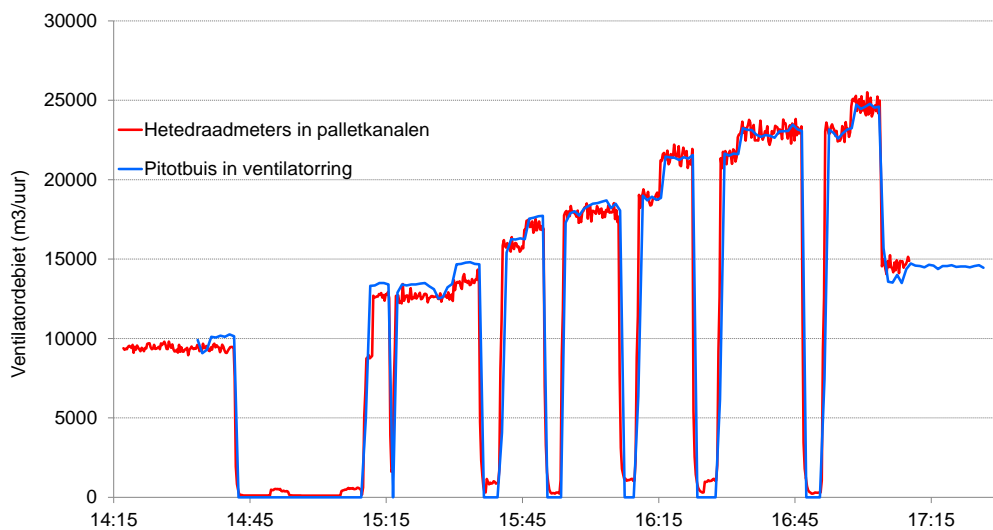
Met de pitotbuis werd consequent een lager debiet gemeten: $\pm 85\%$ van wat door de hetedraadmeters in de palletkanalen gemeten werd. Vermoedelijk speelt de positie van de pitotbuis in de ventilatorring hierbij een rol. Het via de gelijktijdige statische drukmeting berekende debiet week bij een ventilatorstand van 45% en van 100% iets meer af: Tabel 4.

Tabel 4: Luchtsnelheidsmetingen met hetedraadmeters, met de pitotbuis en via statische drukmeting.

Ventilatorstand	palletkanalen		Pitotbuis				Statische drukmeting	
	snelheid	debiet	P^{dyn}	snelheid	debiet	verschil	debiet	verschil
	m/s	m ³ /uur		m/s	m ³ /uur		m ³ /uur	
45%	2,31	20426	42,7	8,44	17317	84,8%	16722	81,9%
60%	2,99	26455	70,7	10,85	22279	84,2%	22354	84,5%
80%	4,00	35408	129,2	14,67	30113	85,0%	29969	84,6%
100%	4,98	44049	201,7	18,33	37630	85,4%	36801	83,5%

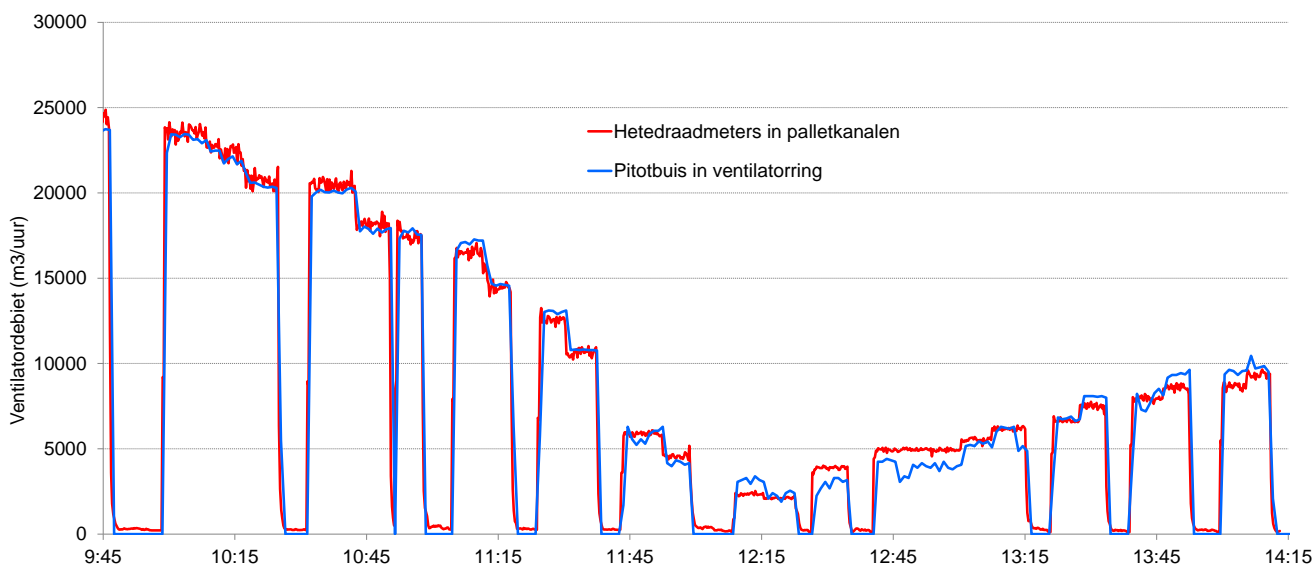
3.5 Regelingen vergeleken

Op Bedrijf 1 is door installateurs de regeling op basis van de terugtoerformule plus het magazijnsysteem ingevoerd en deze is uitgebreid getest met debietmetingen. Hierbij waren maximaal 2 rijen x 24 = 48 kisten met bolmaat 3/4 voor de systeemwand geplaatst. Eerst werd bij een volle linker rij (24 kisten) steeds een stapel van 4 kisten in de rechter rij bijgeplaatst tot ook deze rij vol was, zie figuur 8.



Figuur 8: Debietmetingen met hetedraadmeters en pitotbuis, 1ste meetsessie.

Daarna werd symmetrisch steeds van elke rij weer één stapel weggezet tot alleen voor de linker rij nog één stapel stond. Vervolgens werd die rij steeds weer met één stapel aangevuld tot er weer 24 kisten voor stonden, figuur 9. Tijdens deze meetsessies werd de bovenste laag *niet* met platen afgedekt.

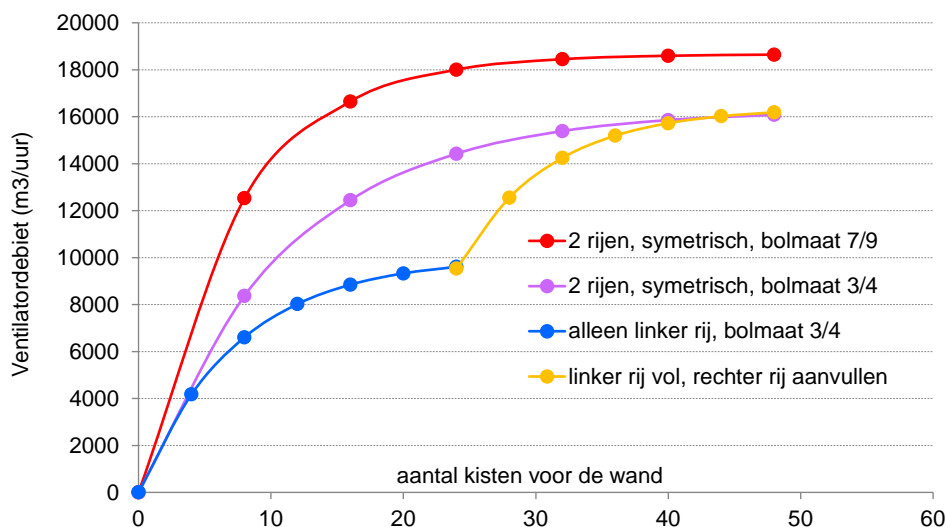


Figuur 9: Debietmetingen met hetedraadmeters en pitotbuis, 2^{de} meetsessie.

Telkens na het weghalen of terugzetten van een stapel werd eerst 5 of meer minuten gemeten, daarna werd in het magazijnsysteem ingevoerd dat het aantal kisten voor de ventilator veranderd was en werd opnieuw 5 of meer minuten gemeten. In de palletkanalen werd de luchtsnelheid gemeten, in de ventilatorring de dynamische druk.

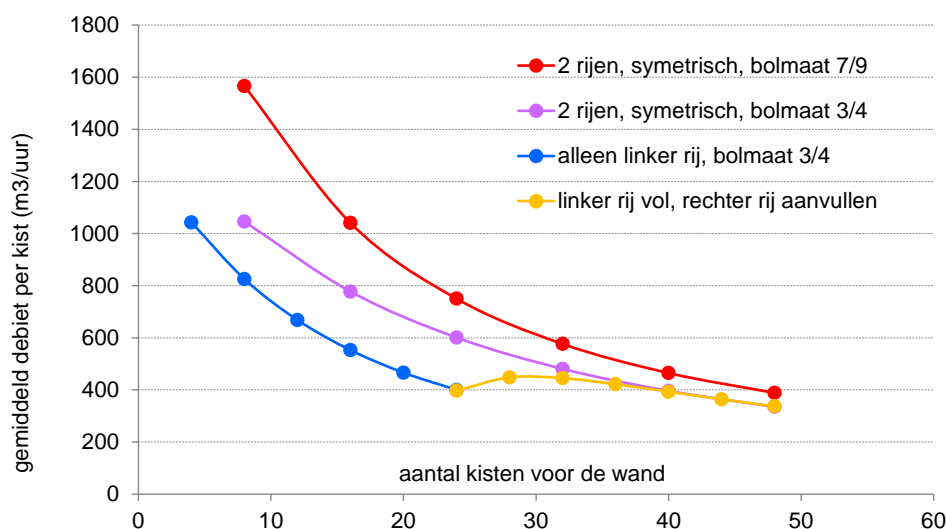
Op deze wijze konden de twee methoden van debietmetingen met elkaar vergeleken worden *en* met de methode waarbij alleen kisten worden geteld en een terugtoerformule wordt toegepast. Door deze metingen te vergelijken met de eerdere metingen op dit bedrijf kon ook het effect van de bolmaat (toen 7/9, nu 3/4) op debiet en terugtoerformule worden bepaald.

Uit de waarnemingen kon o.a. het ventilatordebiet bij gelijk blijvend toerental worden teruggerekend. Dit is voor de verschillende meetsessies in figuur 10 uitgezet voor een toerental van 30 Hz.



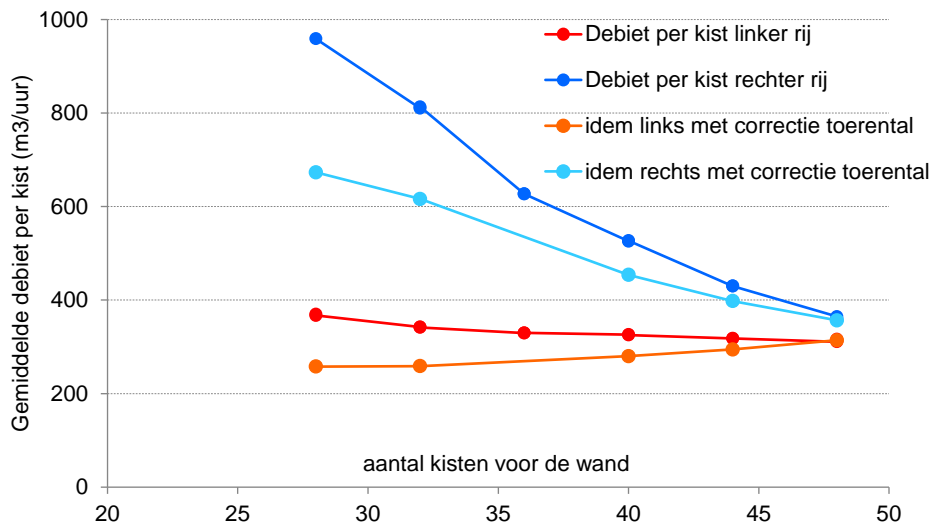
Figuur 10: Debiet (30 Hz) bij verschillende bolmaten en kistenstapelingen.

De figuur laat zien dat het debiet bij symmetrisch toenemend aantal kisten in twee rijen met een bolmaat van 7/9 sterker toeneemt dan bij kisten met een bolmaat van 3/4. Wordt slechts één rij gestapeld, dan is het debiet bij 30 Hz fors lager: er zijn slechts 2 uitblaasopeningen i.p.v. 4. Wordt vervolgens de 2^{de} rij gestapeld, dan neemt het ventilatordebiet snel toe. Het gemiddelde debiet per kist neemt in deze gevallen af zoals in figuur 11.



Figuur 11: Debiet per kist bij verschillende bolmaten en kistenstapelingen.

In het geval van asymmetrische stapeling, bijvoorbeeld links een volle rij en rechts een afnemend aantal stapels, verschilt het gemiddelde debiet per rij sterker naarmate het verschil in aantal kisten per rij groter is. Bij 2 x 24 kisten is er nauwelijks verschil, wordt er van de rechter rij telkens een stapel weggehaald, dan neemt het gemiddelde debiet per kist in die rij toe. Omdat ook de weerstand in die rij toe neemt, gaat er ook meer lucht door de linker rij en neemt het debiet per kist daar ook iets toe, figuur 12.



Figuur 12: Verschil in debiet per kist per rij bij a-symmetrische stapeling

In de figuur is ook het effect van automatisch terugtoeren op basis van de simpele formule " $X/56 \times i$ ", waarbij i = de ingestelde ventilatorstand in % bij het maximaal aantal kisten (i.d.g. 56) en X = het aantal kisten voor de wand. De frequentiereguleerde ventilatorstand volgens de instelling van de klimaatcomputer varieert van 0% = 15 Hz tot 100 % = 50 Hz. Dus per kist 1,8% minder (7,1 % per 4 kisten), of 0,625 Hz per kist (2,5 Hz per 4 kisten).

Bij zeer asymmetrisch stapelen zou dus misschien iets minder sterk teruggetoerd mogen worden, zodat de volste rij genoeg lucht per kist krijgt, maar de minder volle rij krijgt altijd teveel. Symmetrisch stapelen is dus veel voordeliger.

Bij 2 rijen symmetrisch stapelen, of bij één rij per ventilator, zijn de resultaten van automatisch terugtoeren (i.d.g. vanaf 30 Hz) voor 3 situaties doorgerekend, elk bij een bolmaat van 7/9 en bij bolmaat 3/4, tabel 5:

- 1) terugtoeren van een ventilator met frequentieregelaar (ondergrens is 15 Hz) op basis van het aantal kisten voor de wand en de simpele formule.
- 2) terugtoeren van een ventilator met frequentieregelaar (ondergrens is 15 Hz) op basis van het aantal kisten voor de wand en met debietmeting met de pitobuis.
- 3) terugtoeren van een gelijkstroomventilator op basis van het aantal kisten voor de wand en met debietmeting met de pitobuis.

In het eerste geval wordt het minst teruggetoerd. Vergeleken met 2 volle rijen ($2 \times 4 \times 7 = 56$) kisten voor de wand wordt bij het weghalen van 1 stapel van elke rij 20% energie bespaard, en bij het weghalen van 3 stapels van elke rij wordt al 51% energie bespaard. Het gemiddelde debiet per kist loopt bij bolmaat 7/9 echter wel fors op, naar uiteindelijk ruim 2½ maal de hoeveelheid van 333 m³/uur die de kisten bij een volle rij krijgen.

Bij bolmaat 3/4 krijgen de kisten bij 30 Hz minder lucht dan bij bolmaat 7/9 en loopt bij het weghalen van kisten het debiet per kist op tot ongeveer 2 maal de hoeveelheid die de kisten bij een volle rij krijgen. Zonder debietmeting valt dit echter buiten de waarneming. De energiebesparing is echter hetzelfde.

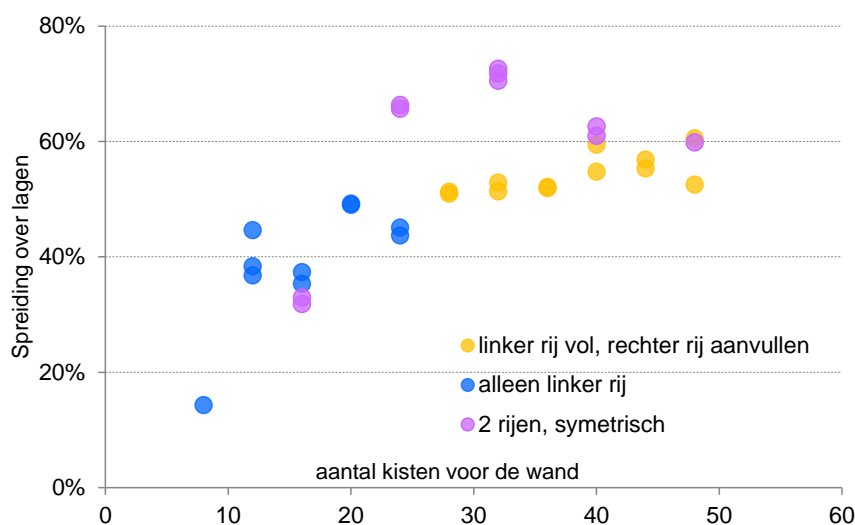
In het 2^{de} geval, waar wordt gecombineerd met debietmeting, wordt aanvankelijk het debiet per kist constant gehouden en is de energiebesparing fors hoger. Omdat niet verder dan tot 15 Hz kan worden teruggetoerd loopt bij het weghalen van meer dan 3 stapels het debiet per kist toch eer verder op en wordt niet meer dan 88% op energie bespaard.

In het 3^{de} geval, met de gelijkstroomventilator, kan wel verder teruggetoerd worden en blijft het debiet per kist dus altijd constant. De energiebesparing kan dan oplopen tot boven de 95%.

Tabel 5: Regelingen op basis van een simpele terugtoerformule en van debietmeting bij bolmaat 3/4 en 7/9.

aantal Kisten	zonder terugtoeren	Ventilator met frequentieregelaar (ondergrens 15 Hz)								Gelijkstroom ventilator		
		Simpele formule		Energie		Debietmeting		Energie		Debietmeting	Energie	
		%	Hz	m3/uur	besparing	%	Hz	m3/uur	besparing	%	m3/uur	besparing
Bolmaat 7/9												
56	333	43	30	333	0%	43	30	333	0%	60	333	0%
48	388	37	28	361	20%	31	26	333	37%	51	333	37%
40	465	31	26	399	37%	19	22	333	63%	43	333	63%
32	577	24	24	453	51%	7	17	333	81%	35	333	81%
24	750	18	21	536	64%	0	15	375	88%	27	333	91%
16	1041	12	19	669	73%	0	15	520	88%	19	333	97%
8	1566	6	17	895	81%	0	15	783	88%	13	333	99%
Bolmaat 3/4												
56	289	43	30	289	0%	43	30	289	0%	60	289	0%
48	335	37	28	311	20%	31	26	289	36%	52	289	36%
40	396	31	26	340	37%	20	22	289	61%	44	289	61%
32	481	24	24	378	51%	9	18	289	78%	36	289	78%
24	601	18	21	429	64%	0	15	301	88%	29	289	89%
16	778	12	19	500	73%	0	15	389	88%	22	289	95%
8	1046	6	17	598	81%	0	15	523	88%	17	289	98%

Tot slot is nog nagegaan wat het effect is van het weghalen van stapels uit een rij op de verdeling van het debiet over de lagen. De resultaten hiervan zijn samengevat in figuur 14.



Figuur 14: Spreiding in debiet over de 4 lagen van de linker rij.

Wanneer er meer dan 24 kisten voor de wand staan is de spreiding in gemiddeld debiet per laag vrij hoog, rond de 50%. Dat wil zeggen dat als bijvoorbeeld het gemiddelde debiet per kist 100 m3/uur is, het gemiddelde debiet in de minst beluchte laag 50 m3/uur is, en het gemiddelde debiet in de meest beluchte laag 150 m3/uur.

Wanneer beide rijen vol staan en van de rechter rij kisten worden weggehaald blijft de spreiding over de lagen in de volle linker rij vrijwel gelijk. Wordt er symmetrisch ontstapeld, of ontstapeld als er maar één rij voor de wand staat, dan neemt de spreiding af wanneer er minder dan 24 kisten staan: minder kisten → meer weerstand → betere verdeling.

In alle gevallen bleek de 3^{de} laag de minst beluchte, de 4^{de} laag de meest beluchte. Afdekken met platen wanneer er alleen een volle linker rij staat verbeterde de luchtverdeling: de spreiding ging van 48% naar 34%.

4 Conclusies

Systemen voor computergestuurde circulatie, die gebaseerd zijn op sensortechnieken voor positiedetectie van kuubskisten, gecombineerd met debietmeting, worden nu (nog) door fabrikanten van klimaatcomputers en installateurs als te duur gezien om de ontwikkeling ervan op te starten.

Met systemen die uitsluitend gebaseerd zijn op kistentelling is ook veel energie te besparen. De ventilator wordt dan teruggevoerd op basis van een formule. De simpelste formule regelt de ventilatorstand in procenten evenredig met het aantal kisten voor de wand. Het aantal kisten voor de wand wordt bepaald via het digitale magazijnsysteem, of door handmatig tellen waarna het aantal kisten ingevoerd wordt via een touch screen of tablet, en via koppeling doorgegeven aan de klimaatcomputer.

Nadeel van deze regeling is dat als er weinig kisten voor de wand staan, en er sprake is van frequentiegeregelde ventilatoren begrensd op een minimum van 15 – 25 Hz, de kisten toch een overmaat aan lucht krijgen.

Bij gelijkstroomventilatoren die tot bijna 0% teruggevoerd kunnen worden, is er dan echter het risico dat met de simpele formule juist te weinig lucht per kist wordt gegeven, omdat bij weinig kisten voor de wand de weerstand groter is en het totale debiet dus kleiner.

De terugtoerformule kan hiermee rekening houden, maar voor het verschil in debiet tussen kisten met bolmaat 3/4 en bijvoorbeeld bolmaat 7/9, zal de formule weer aangepast moeten worden.

Met systemen waarbij het debiet door luchtsnelheidssensoren in de ventilator bepaald wordt, wordt fors *meer* energie bespaard, vooral wanneer de eerste stapels weggehaald worden. Bij de begrenste frequentiegeregelde ventilatoren neemt de energiebesparing niet meer toe wanneer er wat debiet betreft verder dan de begrenzing teruggevoerd had kunnen worden. Het debiet per kist kan daarbij ook niet constant gehouden worden.

Bij de gelijkstroomventilatoren kan het debiet *wel* constant gehouden worden en kan de energiebesparing tot boven de 90% oplopen.

De pitotbuis gecombineerd met een drukverschilmeter blijkt een goede sensor om de dynamische druk te meten en hieruit kan eenvoudig de luchtsnelheid worden afgeleid en zo dus ook het debiet.

De buis waarmee alleen de statische druk wordt gemeten is in principe ook geschikt, zeker bij niet al te hoge weerstand. Nadeel is dat het verband tussen statische druk en luchtsnelheid in de ventilatorring voor elk ventilatortype anders is. De pitotbuis heeft dit nadeel niet: deze is geschikt voor elke ventilator.

De doorgemeten bewaarwanden waren tweelaagssystemen (Bedrijf 1 en 2) of éénlaags (Bedrijf 3), en er waren één rij (Bedrijf 1) of twee rijen (Bedrijf 1 en 3) voor een ventilator geplaatst.

Wanneer er twee rijen kisten voor één ventilator staan is het debiet bij asymmetrische stapeling ongelijk over de rijen verdeeld. Terugtoeren op grond van een formule of debietmeting in de ventilatorring leidt er dan toe dat er voor de rij waar per kist de meeste lucht door gaat onvoldoende wordt teruggevoerd en waar het minst door gaat teveel wordt teruggevoerd. Wordt er symmetrisch ontstapeld, of ontstapeld als er maar één rij voor de wand staat, dan neemt (bij de doorgemeten bewaarwand) de spreiding af wanneer er minder dan 3 kisten diep gestapeld is: minder kisten → meer weerstand → betere verdeling.

De luchtverdeling bij tweelaags systemen is lastig te verbeteren. Afdekken met platen geeft een redelijke verbetering, maar is onvoldoende om volledige gelijkmatigheid te krijgen.

5 Discussie en Aanbevelingen

Het idee van computergestuurde circulatie is al jaren een onderwerp in het onderzoeksprogramma van de MJA-e. In 2011 is door WURPPO een inventariserende studie afgerond waarin o.a. geconcludeerd werd dat al snel meer dan 50% op elektra bespaard kan worden, dat debietmeting via de pitotbuis een goede optie is en dat een koppeling van een digitaal magazijnsysteem aan de klimaatcomputer een goed alternatief is voor kistentelling op basis van sensortechnieken.

In samenwerking met Agratechniek BV heeft Automated4u een interface gecreëerd tussen de Bulb Store Manager (digitaal magazijnsysteem voor bloembollenbewaring) en de ABC klimaatcomputer van Agratechniek BV. De ABC Klimaatcomputer verwerkt het signaal van de statische drukmeting in de ventilatorring. Dit systeem van computergestuurde circulatie is getest op het bedrijf Boltha B.V.. Het systeem gebaseerd op een formule wordt toegepast op het bedrijf Firma Kreuk en hiervoor is door Automated4u een interface gecreëerd met de Sercom klimaatcomputer. Ook de verwerking van het signaal van de pitotbuis (dynamische druk) in de ventilatorring tot debiet wordt door de ABC-computer gerealiseerd en is getest op de bedrijven Menting bv. en Firma Kreuk.

Als beste systeem is aan te bevelen om de pitotbuis (plus differentiële drukmeter) te combineren met de gelijkstroom ventilator. De pitotbuis meet onafhankelijk van het ventilatortype en met de gelijkstroom ventilator kan tot bijna nul toeren worden teruggetoerd. Zo wordt maximaal energie besparen gecombineerd met optimaal (dwz. niet te veel en niet te weinig) circuleren. Het gewenste gemiddelde debiet kan hiermee altijd nauwkeurig ingesteld en afgelezen worden.

Een goedkope oplossing is het gebruik van de simpele formule in de bestaande bewaarsystemen met de begrensde frequentieregelde ventilatoren. Hoewel het gemiddelde debiet hiermee niet constant gehouden wordt, maar bij ontstapelen toeneemt, wordt hiermee toch flink op energie bespaard.

Deze twee systemen van computergestuurde circulatie kunnen op alle bollenbewaarcellen worden toegepast en kunnen sectorbreed enorm veel energie besparen. Om een grove en conservatieve schatting te geven: Gemiddeld over de laatste 4-5 jaren is het elektraverbruik per hectare 7500 kWh per jaar. Ruim de helft hiervan is voor de circulatieventilatoren: $7500 \times 0.5 \times 24.000 \text{ ha} = 90.000.000 \text{ kWh}$. Als gedurende de helft van de bewaarperiode de rijen niet vol staan maar gemiddeld voor 50%, dan kan er $45.000.000 \times 60\% \text{ tot } 80\% = 27.000.000 \text{ tot } 36.000.000 \text{ kWh}$ bespaard worden (tot 1500 kWh per hectare). Dat is 15 to 20% van het elektraverbruik.

De kosten per ventilator (voor een bedrijf met 25 circulatieventilatoren) zijn in de orde van €400 voor het magazijnsysteem en €500,- voor de pitotbuis+differentiële druksensor, klimaatcomputeronderdelen en installatie. Met alleen de simpele formule zijn de terugverdientijden <2 jaar, met debietmeting < 3 jaar (exclusief fiscale regelingen zoals de EIA).

Staan er minder kisten voor de wand, dan hoeft er door de ventilator minder debiet geleverd te worden. Een goed afgestelde computergestuurde regeling aan de circulatieventilatoren is dan zonder risico's.

Het verdient dus aanbeveling deze systemen goed onder de aandacht van de bloembollensector te brengen.

Bijlage 1: Inventarisatie sensortechnieken positiedetectie

H.J.J.Janssen en R.Barth (WUR Glastuinbouw)

Inventarisatie sensortechnieken voor positiedetectie



Detectie van het aantal kuubskisten voor een ventilator met sensoren kan op verschillende manieren: Het is mogelijk om met zg. spot laser range finders de afstand te meten van bv. de celdeur tot de eerste kist. Per ventilator is dan één sensor nodig. Met een 2D scanner zou van alle kistenrijen voor de bewaarwand de afstand tot de celdeur bepaald kunnen worden. Ook is het mogelijk om met fotocamera's 3D beelden van de celinhoud te maken. Andere technieken zijn om bv. elke kuubskist te voorzien van RFID-labels, of het toepassen van aanwezigheidsdetectors. In de volgende pagina's wordt een overzicht gegeven van mogelijk geschikte detectietechnieken, leveranciers en/of fabrikanten en waar mogelijk prijsopgaves.

1 Afstandsmeting met spot laser range finders

De goedkopere (\pm €100,-) laser range finders hebben geen interface, versies met USB of BlueTooth interface zijn er vanaf €360,-. Een USB interface werkt in de praktijkopstelling van de kuubskisten waarschijnlijk beter dan een BlueTooth.

	<p>Fluke 414D Bereik 40m Nauwkeurigheid: \pm2mm IP40 spatwaterdicht</p> <p>Optioneel: USB interface van Porcupine Electronics Incl. software Opm.: Voeding via USB, geen batterijen meer nodig.</p>	<p>Reichelt Elektronik www.reichelt.nl of Conrad Bestnr.: 101972 - 89 of RS components</p>	<p>€149,- €155,- €128,-??</p>
		<p>Gemodificeerde Fluke 414D met ingebouwde LR4 USB interface van Porcupine Electronics www.PorcupineElectronics.com Amazon www.amazon.com</p>	<p>\$117,- + shipping</p>
	<p>Leica Disto D3aBT Meetbereik: van 0.05 tot 80m Nauwkeurigheid \pm1mm Interface Blue Tooth Directe koppeling Excel</p>	<p>Afstandmetershop www.afstandmetershop.nl of Conrad Bestnr.: 823445 - 89</p>	<p>€ 360,58 Incl. BTW €459,-</p>



Andere opties zijn:

	Sick DL60-P111B0015 Principe TOF Bereik 0.2-40m met reflector Output: 4-20mA	www.mysick.com	€450,- ??
	Sick DL35-B15552 Bereik 0.2-35m infrared or red laser in class 1 Output:4-20mADx35, DR35, IO-Link (netwerk)	www.mysick.com	€400,- ??
	Sick TT50 Bereik: bij 6% remissie 4m Output: 4-20mA	www.mysick.com	€299,-

2 Afstandsmeting met 2D scanning laser

Eén van de bekendste leverancier van Laser Scanners is Sick, veelvuldig toegepast in de AGRI wereld. Het scala aan sensoren is heel groot, voor een definitieve keuze moet eerst nader overlegd worden. Gezien de prijs is het misschien beter een sensor te huren om te testen.

Sick geeft cursussen op locatie a €9,-/uur + Km vergoeding. De Laser Scanners kunnen ook gehuurd worden, €1000,-/mnd, contact persoon Pieter Oostrom. De LMS laserscanners scannen maar in één vlak, Sick heeft ervaring met servo's om ook in het verticale vlak te scannen:

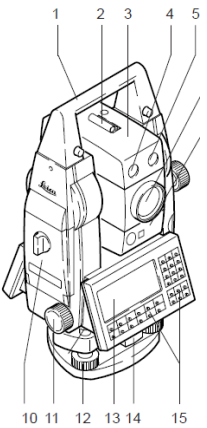
	Sick LMS511 lite Bereik: 0.2 - 80m 40m bij 10% remissie Ethernet,USB,RS IP67 (waterdicht) Software: SOPAS	www.mysick.com contact persoon Pieter Oostrom	€5400,-
	Sick LMS111 Bereik:0.2-20m 18m bij 10% remissie Hoek: 270° Ethernet, CANbus 10 fps.s ⁻¹ (opnames) IP67 (waterdicht) 105 mm x 102 mm x 162 mm	www.mysick.com	€3300,-

3 Voorraadbepaling met 3D TOF camera's

Voor de werking van Time Of Flight camera's zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Time-of-flight_camera. Van elk punt dat de camera inleest wordt de afstand gemeten, er ontstaat dus rechtstreeks een ruimtelijk beeld van de opname. De verwerking van de positie van alle kuubskisten bestaat uiteindelijk uit het selecteren van de afstand tot het midden van het front van de kist.

TOF camera's zijn te koop vanaf €5000,-. De resolutie van alle TOF camera's is voor deze toepassing ruim voldoende, de maximale afstand varieert van 20 cm, bij toepassing in robotica tot 1000 m bij toepassing van het inscannen van gebouwen en terreinen.

Een summier overzicht van 3D scanners:

	<p>Leica TCRA 1101+ Bereik: 500-1000m afhankelijk van de uitvoering (zie handleiding) Professioneel GEO meetsysteem</p>	<p>http://bgses.com http://geomatics360.com/</p>	<p>\$ 5300,- > €5000,-</p>
	<p>FOTONIC B70 series</p>		
	<p>RIEGL VZ-400 VZ-600 series bereik: >600m Professioneel GEO meetsysteem</p>	<p>www.riegl.com www.rieglusa.com</p>	
	<p>Sick TIM series</p>		

4 Bepaling van de kistenvoorraad met beeldherkenning

Met behulp van een relatief eenvoudige camera worden opnames gemaakt van de opstelling van kuubskisten. De afmeting van de kisten op deze opname (in pixels) is afhankelijk van de afstand tot de camera. De kisten zijn opgestapeld in een raster, de posities in dat raster zijn bekend. Zijn de kisten moeilijk onderling te detecteren dan moeten de kisten op het voorvlak van 1 of 2 stickers voorzien worden. De resolutie van de camera moet beter zijn dan 1000*1800 pixels. Een fotocamera met Wi-Fi volstaat worden, een hoge snelheid van meerdere frames per seconde (fps) is n.l. niet nodig. Via het Wi-Fi netwerk worden de opnames gestart en uitgelezen. Het is wel nodig om eerst enkele proefopnames te maken en te bekijken of deze analyseerbaar zijn (deze proefstudie duurt 3 a 4 dagen). Met de ervaring van de proefstudie kan een project opgezet worden. Het grote voordeel is een uiterst eenvoudige installatie, 1 a 2 camera's en een Wi-Fi netwerk. Daar staat tegenover dat er beeldherkenning-programma's ontwikkeld moeten worden, het prototype is dan duur maar kan veelvuldig toegepast worden.

5 Kuubskisten voorzien van RFID labels.

In de wereld van logistiek en identificatie worden op grote schaal RFID tags gebruikt. Deze tags zijn onder te verdelen in LF (KHz), RF 13.6 MHz en UHF (MHz en GHz), zie: <http://en.wikipedia.org/wiki/RFID>. RFID is goedkoop en robuust en wordt veel toegepast in het gebied van centimeters tot meters. De tags kunnen niet alleen identificeren maar ook data opslaan. De kosten van een tag kunnen variëren van €0,30 tot enkele €'s. Naarmate de afstand groter wordt moeten de antennes van zowel de tag als het uitleesstation groter worden.

Met de antennes moet geëxperimenteerd worden. Voor elke rij van kisten moet een antenne komen, dus bij 5 rijen 5 antennes. De antennes moeten dan via een multiplexer uitgelezen worden. De prijzen hieronder zijn slechts indicaties voor de componenten, een compleet systeem kost veel meer. Bedrijven als TURCK, NEDAP en IMAG kunnen hierover informeren. De antennes moeten waarschijnlijk aan de situatie aangepast worden, b.v. in de vloer opnemen of een doorrij lus.

Enkele systeemcomponenten en prijsindicaties:

	TowiTek Transponder Bereik: 0.5m RFID 125KHz Deze kan eenvoudig van de kist gewisseld worden.	Prijs > 10 stuks Conrad Bestnr.: 191518 - 89	€7,67
	TowiTek RFID lange afstandslezer TWT2015 Module 12 V/DC (l x b x h) 240 x 240 x 35 mm	Conrad Bestnr.: 191527 - 89	€155,-
	Scemtec SIR-2720 RFID: 13,56 MHz (185 x 130 x 44)mm RS-232 USB Ethernet Bereik: 70 cm IP 20 (geen bescherming) Transponder: ISO	RFID Plaza http://www.rfidplaza.com	€765,-
	Blanc Mifare 1k card NXP	Prijs 1000 stuks RFID Plaza http://www.rfidplaza.com	€0,90

6 Aanwezigheidsdetectie met naderingsschakelaars

De bekende industriële naderings-schakelaars zijn meestal cilindervormig met voor dit doel een range van diameters van 8-30 mm, een hogere gevoeligheid vereist een grotere diameter.

De sensoren hebben verschillende kwaliteitsniveaus. De industriële sensoren zijn robuust en zeer betrouwbaar, maar minder prijsgunstig. Een onderverdeling in de werkingsprincipes met voor- en nadelen:

1. De inductieve sensoren kunnen alleen metaal detecteren, de kuubskist moet dan van een metaalplaatje voorzien worden. De kist moet binnen de afmeting v.h. plaatje gepositioneerd worden.
2. Capacitieve sensoren kunnen ook hout detecteren, de minimale gevoeligheid moet getest worden.
3. Lichtreflectiesensoren detecteren binnen het opgegeven bereik of er een voorwerp staat. Gevoelig voor vervuiling, b.v. modder.

6.1 Inductieve naderingsschakelaars:

	<p>Inductieve naderingsschakelaar (-sensor) Contrinex DW-AS-613-M18-002 Grootte M18 PNP N/A Schakelafstand 8 mm Opmerking: Robuust Bereik is gering Excl. Kabel met M12 plug</p>	<p>Prijs > 10 stuks Conrad Bestnr.: 155951 - 89</p>	<p>€ 30,31</p>
	<p>Inductieve naderingsschakelaar (-sensor) Contrinex DW-AD-503-M18 Grootte M18 PNP N/A Aansluitkabel 2 m Schakelafstand 12 mm</p>	<p>Prijs > 10 stuks Conrad Bestnr.: 155857 - 89</p>	<p>€55,77</p>
	<p>Inductieve naderingsschakelaar (-sensor) Contrinex DW-AD-503-M30 Grootte M30 PNP N/A Aansluitkabel 2 m Schakelafstand 22 mm</p>	<p>Prijs > 10 stuks Conrad Bestnr.: 155859 - 89</p>	<p>€67,90</p>

6.2 Capacitieve naderingschakelaars:

	<p>Capacitieve naderingschakelaar (-sensor) Capacitieve sensor CCN15-30GS60-A2- Diameter 30 mm Schakelafstand (instelbaar) 15 mm Excl. kabel</p>	<p>Prijs > 10 stuks Conrad Bestnr.: 506692 - 89</p>	<p>€ 148,44</p>
	<p>Capacitieve naderingschakelaar (-sensor) Capaciteit-sensor CJ8-18GM-E2-V1 Diameter 18 mm Schakelafstand (instelbaar) 8 mm Excl. kabel</p>	<p>Prijs > 10 stuks Conrad Bestnr.: 156457 - 89</p>	<p>€ 132,74</p>
	<p>Capacitieve naderingschakelaar (-sensor) Capaciteit-sensor CBN2-F46-E2 Schakelafstand 2 mm Opmerking: Bereik is te gering</p>	<p>Prijs > 10 stuks Conrad Bestnr.: 156462 - 89</p>	<p>€96,71</p>
	<p>Sensor schakelaar MT2.5 (glas, steen, kunststof, hout) tot 1 cm Afmeting: 33 x 33 x 5 mm</p> <p>Opmerking: Niet duidelijk of het een Klik aan klik uit of een continue detectie is. Robuust, water bestendig, wordt b.v. in badkamers achter tegelwerk ingebouwd.</p>	<p>Prijs > 10 stuks Conrad Bestnr.: 700363 - 89</p>	<p>€45,50</p>
	<p>Sensorschakelaar MTO.1N-NR-sensor Klik aan klik uit, wel of niet bruikbaar? (glas, steen, kunststof, hout) tot 1 cm N-MOS-open-drain, toets.</p>	<p>Prijs > 10 stuks Conrad Bestnr.: 700344 - 89</p>	<p>€23,68</p>
	<p>Laser sensor Opmerking: Sensor is een component en moet van een behuizing voorzien worden. Het principe lijkt bruikbaar.</p>	<p>Conrad</p>	<p>€15,-</p>

6.3 De lichtreflectie sensoren

Deze zijn alleen gevoelig voor het licht dat ze zelf uitstralen, dus niet voor invallend omgevingslicht. Rechtstreekse instraling van de zon blokkeert de sensor. De sensoren kunnen vlak onder de oppervlakte in de vloer opgenomen worden maar zijn gevoelig voor vervuiling:

	Reflex lichtsensor SA1E-DP1 (b x h x d) 10,8 x 32,7 x 19,5 mm Detectie afstand 0,7 m Kabel 1m Uitgang PNP 30V 100mA Spatwaterdicht	Prijs > 10 stuks Conrad Bestnr.: 178501 - 89	€45,99
	Contrinex M18 Lichtsensor LHS-1180-303 Fabrikantnummer: 620 200 457 IP 67 (waterdicht) Uitgang PNP Excl. kabel M12 Bereik: 10-120 mm Een professionele sensor	Prijs > 10 stuks Conrad Bestnr.: 155907 - 89	€87,30

Daarnaast zijn er mogelijkheden van detectie met weegopnemers (load cells) die in de vloer kunnen aangeven of er een kuubskist staat maar ook hoeveel kisten er op gestapeld zijn. De plaatsing van de opnemers in de vloer is niet eenvoudig, b.v. in een zwevend vloerdeel. Overbelasting door rangerende heftrucks zou kunnen plaatsvinden. De weegopnemers kunnen een analoge uitgang hebben van 4-20mA.

Ook schakelaars in de vloer kunnen aangeven of er een kuubskist op staat. Bewegende delen in de vloer zijn echter ook kwetsbaar voor rangerende heftrucks. Folieschakelaars (foil switches) zijn minder kwetsbaar. Een rubbermat kan de druk verdelen. Drukgevoelig rubber, of geleidend aandruk rubber op contacten (principe van toetsenborden www.mec.dk) kan hierbij een rol spelen.



7 Spot lasers met XY servo ombouwen tot 3D scannende laser

Deze opties moeten nog uitgewerkt en tot prototype ontwikkeld worden en zijn op korte termijn niet beschikbaar.

De eenvoudige lasers kunnen met een servo systeem de positie van de kuubskisten laten scannen. De servo kan eenvoudig zijn, de laser module wordt in X en Y richting gepositioneerd. Mogelijke opties:

1. Met de complete servo systemen van Maxon zijn snel resultaten te boeken, binnen WUR Glastuinbouw is hier ervaring mee, ook met de software koppeling.
2. Zelf een servo met stappenmotoren ontwikkelen. De stappenmotoren bepalen heel nauwkeurig de posities door het aantal stappen op te geven, de stapgrootte is meestal 1.5 graden. Zowel in de X en Y richting is een sensor nodig om het nul punt te bepalen. De servo kan met goedkope onderdelen opgebouwd worden, maar moet wel zelf ontwikkeld worden. Offerte aanvragen bij de centrale werkplaats. De stappenmotoren moeten waarschijnlijk met een planetaire vertraging van b.v. 1:10 uitgevoerd worden.
3. Een andere optie is om de laserstraal en de gereflecteerde licht met spiegels af te buigen. De oppervlakte spiegels zijn heel licht en kunnen direct op de as van een lichte stappenmotor gemonteerd

worden. Het afbuigen werkt in principe maar moet wel getest worden.

	<p>Trinamic stepRocker stappenmotorbesturing TMC2130 Voedingsspanning 12-24 V/DC Fasestroom (max.) 2.8 A Aantal bestuurbare assen 3 USB, RS485, CAN (achteraf in te bouwen) [Fabrikantnummer: 10-0196]</p>	<p>Conrad Bestnr.: 197949 - 89</p>	<p>€89,54</p>
	<p>EMIS Stappenmotor E547-52500</p>	<p>Conrad Bestnr.: 198398 - 89</p>	<p>€30,45</p>