Energiebesparing bij de Bewaring van Akkerbouwproducten

Verbetering van de luchtverdeling over lattenkisten

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Energiebesparing bij de Bewaring van Akkerbouwproducten

Verbetering van de luchtverdeling over lattenkisten

[1-]Jeroen Wildschut, Henk Gude, Arie van der Lans, André Korsuize, Marga Dijkema
[2-] David van der Schans, Marcel van der Voort, Johan Booij, Jan Kamp
[3-] Athanasios Sapounas

Wageningen Plant Research

PPO nr. 37 361 628 00

[1-] BBF, [2] AGV , [3] Glastuinbouw
maart 2017

© 2017 Wageningen Plant Research

Wageningen Plant Research 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 het Convenant Schone en Zuinige Agrosectoren, min. van EZ, LTO, Productschap Akkerbouw en RVO.nl

Projectnummer: 37 361 628 00

Wageningen Plant Research
Bloembollen, Boomkwekerij & Fruit
Adres : Prof. Van Slogterenweg 2
: Postbus 85, 2160 AB Lisse
Tel. : 0252 - 462121
E-mail : info.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

SAMENVATTING 5

1 INLEIDING 7

2 WERKWIJZE 7

3 RESULTATEN 8
3.1 Bewaarsystemen 8
3.2 0-metingen 10
3.3 CFD-modellen 12
3.4 Testen van verbeteringen 15
3.4.1 Zuigend systeem 15
3.4.2 Blazend systeem 17

4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN 23

BIJLAGE 1: GEWAS EN SYSTEEMKEUZE 25

BIJLAGE 2: KORT OVERZICHT VAN EISEN AAN HET BEWAARKLIMAAT 29

BIJLAGE 3: LUCHTVERDELING BIJ KISTENBEWAARSYSTEMEN 39

BIJLAGE 4: VERVOLG METINGEN IN AARDAPPEL- EN UIENOPSLAG 57

BIJLAGE 5: TESTEN VERBETERINGEN 59

BIJLAGE 6: METINGEN IN DE WINDTUNNEL 71

BIJLAGE 7: TESTEN OP BEDRIJF 1 73

BIJLAGE 8: LUCHTSNELHEIDSMETINGEN AAN PLANTUITJES IN LATTENKISTEN 75

BIJLAGE 9: METINGEN BIJ BEDRIJF 5 79

Samenvatting

Tijdens het bewaarproces van producten in de open teelten wordt zeer veel energie verbruikt voor koeling en ventilatie (tot >50% van het totale verbruik benodigd voor productie). Door de luchtverdeling in de geventileerde bewaring te verbeteren kunnen de energiekosten fors omlaag. Wanneer de ventilatoren teruggetoerd kunnen worden, wordt door het 3de -machtsverband tussen toerental en elektraverbruik heel veel energie bespaard: 20 % terugtoeren resulteert in 50% minder energieverbruik. Er hoeft dan ook minder ventilatorwarmte teruggekoeld te worden. Tegelijkertijd wordt de productkwaliteit verbeterd: de kans dat een deel van het product teveel geventileerd wordt en daardoor teveel uitdroogt wordt kleiner. En ook de kans dat een deel te weinig geventileerd wordt met als gevolg bewaarziekten, wordt kleiner. De meeste energie wordt verbruikt bij de bewaring van aardappelen en uien in zg. lattenkisten, die door zware ventilatoren (> 3kW), blazend of zuigend geventileerd worden.

Uit de 0-metingen blijkt keer op keer dat bij het blazende systeem de kisten het verst van de ventilatoren fors meer lucht krijgen dan de overige kisten. Vooral wanneer het een grof/groot product betreft (grote uien, aardappelen), is het daarnaast ook zo dat de kisten die het dichtst bij de ventilatoren staan juist minder lucht dan gemiddeld krijgen.
Om bij blazende systemen de luchtverdeling over de kisten te verbeteren zijn 2 benaderingen getest: 1) Het op strategische plaatsen in de ventilatorgang tussen de dubbele rij kisten stuwen van de lucht en 2) het verhogen van de weerstand aan de kant waar de lucht de kisten uittreedt.
Wanneer V-vormige spandoeken verticaal ter hoogte van de 6de en de 15de de kist (bij een 20 kisten diepe stapeling) geplaatst zijn, wordt de luchtverdeling over de kistenstapeling gelijkmatiger. Vooral wanneer daarnaast het bewaarproduct fors meer weerstand geeft: bij kleine plantuitjes.
Het verhogen van de weerstand aan de uittredende kant van de kisten door het gedeeltelijk afdekken van de tussengangen, bleek bij kisten met grote uien geen enkel effect te hebben: via de kistenrij ernaast zoekt de lucht ongehinderd z'n weg naar buiten. Dit betekent dat de weerstand van de lattenkisten met grote producten veel te laag is. Alleen wanneer alle tussengangen in een volle cel gedeeltelijk zijn afgedekt zal dit wel effect hebben.

Uit de 0-metingen bij het zuigende systeem blijkt dat juist de eerste 4 tot 6 kisten het dichtst bij de ventilatoren de meeste lucht krijgen. Over de andere kisten wordt de lucht goed verdeeld, maar deze kisten krijgen wel meer dan een factor 4 minder lucht dan de eerste kisten. Het stuwen van de lucht in de ventilatorgang is hier geen optie, aanbrengen van weerstand in de tussengangen wel. Het afdekken van de eerste helft van tussengangen vanaf de ventilator met winddoek met een doorlatendheid van hoogstens 20%, *plus* op 2 of 3 plaatsen verticaal haaks op de luchtstroom in de gang aangebracht winddoek verbetert de luchtverdeling fors bij een bewaard product met veel weerstand, zoals de kleine sjalotten met veel vel en wortels. Bij aardappels of grote uien heeft dit veel minder effect: de lucht wordt dan via rijen ernaast aangezogen. Alleen wanneer *alle* tussengangen in de cel op de beschreven manier afgedekt worden, kan bij het zuigende systeem de luchtverdeling verbeterd worden.

Om de luchtverdeling in het bewaarsysteem met de huidige lattenkisten te verbeteren is bij blazende systemen het toepassen van de V-doeken een optie. Bij een 18 kisten diepe stapeling dient het eerste doek dan net na de eerste 5 kisten geplaatst te zijn, het 2de doek voor de laatste 3 – 4 kisten. De eerste kisten krijgen dan gemiddeld bijna 4 keer zoveel lucht. Als 2 keer zoveel lucht voldoende is kan er dus flink teruggetoerd worden. Om 50% op energie (elektra) te besparen is terugtoeren van de ventilator met 20% als voldoende.

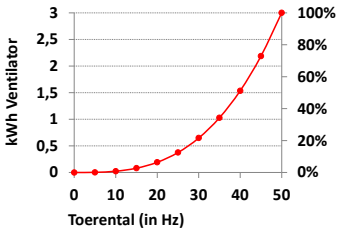
Om in alle gevallen de luchtverdeling te kunnen verbeteren moet echter de lattenkist aangepast worden: De spleten tussen de latten dienen fors verkleind te worden, vermoedelijk met meer dan 50%. Minder spleten zou ongunstig voor de luchtverdeling *in* de kist zijn. Een andere oplossing is om de kisten flink breder te maken, bijvoorbeeld 3,20 meter in plaats van 1,60 meter. Of het product bij het inschuren dan snel genoeg droogt is hierbij nog een vraag.

Een andere optie is om de drukkamer in de bewaarcel zo te construeren dat de ventilatoren regelmatig omgedraaid kunnen worden, zodat ze afwisselend blazen en zuigen. Gemiddeld over de tijd krijgen alle kisten dan ongeveer evenveel lucht. De ventilatoren van draairichting te laten veranderen is geen optie: het rendement gaat dan met meer de 50% naar beneden.

1 Inleiding

Tijdens het bewaarproces van producten in de open teelten wordt zeer veel energie verbruikt (tot >50% van het totale verbruik benodigd voor productie). Om het gas- en elektraverbruik en de daaraan gerelateerde CO_2-emissie terug te dringen, is het van belang om maatregelen te treffen die het bewaarproces energie-efficiënter maken. Uit praktijkonderzoek van PPO-BBF aan de bewaring van bloembollen bleek dat het met behulp van systeem-aanpassingen mogelijk is om tot wel 80% aan energie te besparen. Effectief zijn met name het realiseren van een gelijkmatige luchtverdeling, vermindering van de luchtweerstand in de systeemwanden en het adequaat inzetten van meet- en regeltechniek tijdens het bewaren.
Hoewel deze onderzoekservaringen uit de bloembollensector een goede basis zijn voor verbetering van de energie-efficiëntie van bewaarsystemen in de akkerbouw, is kennisoverdracht alléén onvoldoende. Als gevolg van o.a. een andere dimensionering en producteigenschappen en andere kwaliteitseisen, kunnen aanpassingen niet zonder meer gekopieerd worden in andere systemen met andere producten. Zo worden gewassen als aardappelen en uien in andere bewaarsystemen en onder andere condities (temperatuur, vochtigheid etc.) bewaard dan bloembollen. Dit vraagt om een specifieke analyse en aanpak, afhankelijk van gewas en bewaarsysteem.
Daarnaast is het van groot belang dat in de praktijk wordt aangetoond dat verbetering van luchtstromen en energie-efficiency leidt tot lagere kosten en niet tot hogere risico's.

De hoofddoelstelling van dit onderzoeksproject is het verbeteren van de energie-efficiëntie van de verschillende bewaarsystemen voor diverse akkerbouwproducten en vollegrondsgroenten, terwijl kwaliteit gewaarborgd blijft en kosten verminderd worden. Door gebruik te maken van de ontwikkelde kennis en methoden uit de bloembollensector (o.a. het 'State of the Art' project), kan ook bij de bewaring van akkerbouwproducten en vollegrondsgroenten veel energie bespaard worden.
Door de luchtverdeling in de geventileerde bewaring te verbeteren kunnen de energiekosten fors omlaag. Wanneer de ventilatoren teruggetoerd kunnen worden, wordt door het derdemachtsverband tussen toerental en elektraverbruik heel veel energie bespaard, zie de figuur hier naast: 20 % terugtoeren resulteert in 50% minder energieverbruik. Er hoeft dan ook minder ventilatorwarmte teruggekoeld te worden.



Tegelijkertijd wordt de productkwaliteit verbeterd: de kans dat een deel van het product teveel geventileerd wordt en daardoor teveel uitdroogt wordt kleiner. En ook de kans dat een deel te weinig geventileerd wordt met als gevolg bewaarziekten wordt kleiner.
Terugtoeren kan o.a. bij een groter (of schoner) product, bij een betere luchtverdeling over het product, als er minder product geventileerd hoeft te worden en bij ventilatoren met overcapaciteit.

2 Werkwijze

Bij een eerste inventarisatie zijn enkele akkerbouwbedrijven bezocht van deelnemers aan het praktijknetwerk "Slim en kostenbesparend bewaren" en het project "Bewaring aardappelen met koeling & ventileren". Het praktijknetwerk richt zich op bewaarstrategieën, energieverbruik, productkwaliteit en gewichtsverlies bij de bewaring van aardappelen. Op deze bedrijven zijn soms verschillende soorten bewaarsystemen naast elkaar in gebruik: bulkbewaring (losgestort product) en bewaring in kisten.
Op basis van CBS data, onderzoeksgegevens en praktijkkennis is kort geïnventariseerd bij welke akkerbouwgewassen en bewaarsystemen verbetering van de luchtstromen door het product het meeste effect op het energieverbruik zal kunnen hebben, zie Bijlage 1.
Op basis hiervan is gekozen voor kistenbewaring van aardappelen (poot- en tafelaardappelen) en van uien (inl. sjalotten). Een kort overzicht van de eisen aan het bewaarklimaat voor deze producten wordt gegeven in Bijlage 2.
In het eerste bewaarseizoen zijn op zes aan het praktijknetwerk deelnemende bedrijven de bewaarsystemen met deze producten doorgemeten, zie Bijlage 3 en Bijlage 4.

Vervolgens zijn voor de 2 dominerende bewaarsystemen CFD-modellen geconstrueerd en op basis van de metingen gevalideerd, paragraaf 3.2. Met deze modellen zijn de luchtstromen grafisch weergegeven op grond waarvan o.a. mogelijke verbetering zijn afgeleid, die vervolgens de volgende bewaarseizoenen op de bedrijven zijn uitgetest en bijgesteld, zie Bijlage 5. De hierbij gebruikte winddoeken en andere materialen om de luchtstromen te beïnvloeden zijn ook getest in een windtunnel, Bijlage 6.
De metingen aan de luchtstromen in de bewaarsystemen zijn uitgevoerd met in totaal 24 hetedraad luchtsnelheidsmeters en hebben plaatsgevonden op de data vermeld in tabel 1.

Tabel 1: Meetdatums.

jaar	Bedrijf 1	Bedrijf 2	Bedrijf 3	Bedrijf 4	Bedrijf 5	Bedrijf 6
2013	3-okt	11-okt	15-okt	16-okt	12-nov	13-nov
		28-nov			27-nov	
2014	6-nov	14-okt			7-mrt	
		15-okt			12-mrt	
					14-apr	
2015		17-mrt		25-mrt	1-apr	20-mrt
		18-mrt			2-apr	
2016	7-dec		1-dec		20-apr	
					21-apr	
					26-apr	
					1-jun	
					2-jun	
2017					8-feb	
					9-feb	
					10-feb	
					1-mrt	
					2-mrt	
					3-mrt	
aantal dagen	3	6	2	2	18	2
totaal	33					

Na elk bewaarseizoen zijn resultaten, verkregen inzichten en mogelijkheden tot verbetering aan de deelnemende bedrijven gepresenteerd en met de betrokkenen geëvalueerd. Daarnaast is het onderzoek gepresenteerd op Studiedag van de Nederlandse Vereniging Techniek in de Landbouw, 8 maart 2016.

3 Resultaten

3.1 Bewaarsystemen

De dominerende kistenbewaarsystemen voor (poot- en tafel-)aardappelen en uien (en sjalotten) zijn de systemen waarin het product bewaard wordt in zg. lattenkisten. Deze kisten zijn 123 x 160 x 120 cm (h x b x d) met rondom spleten en worden 5 tot 6 hoog gestapeld, in dubbele rijen van 15 tot 22 kisten diep met een tussenruimte van 30 tot 75 cm. Bij 2 van de 6 aan dit onderzoek deelnemende bedrijven was daarnaast ook nog een zg. éénlaags kistensysteem in gebruik, tabel 1. Deze laatste kisten worden ook veel in de bloembollensector gebruikt en hebben géén spleten rondom.

Tabel 1: Bewaarsystemen bij 6 akkerbouwbedrijven

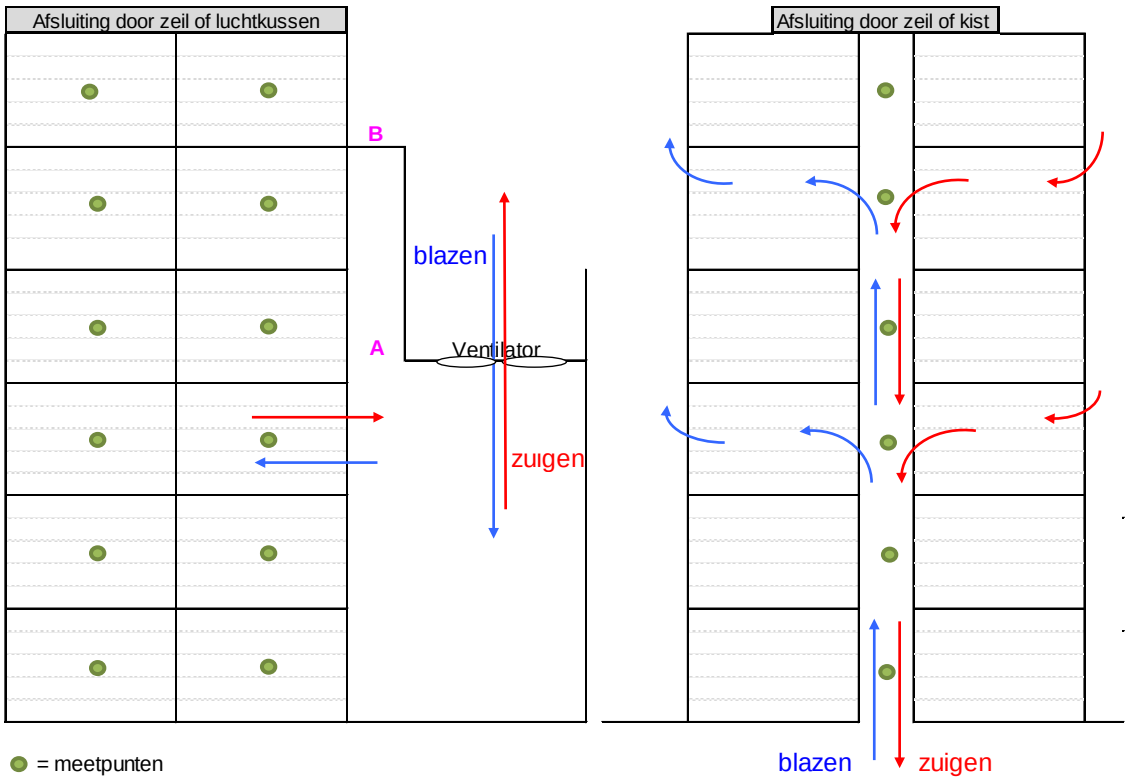
	product	systeem		kistenstapeling		uitblaasopening		
				diepte	hoogte	breedte	hoogte	oppv
						cm	cm	m2
Bedrijf 1	grote uien, ongesorteerd	zuigen	2-rijen	17	6	40	700	2,8
Bedrijf 2a	fijne sjalotten met veel spul	zuigen	2-rijen	15	5	50	575	2,9
Bedrijf 3	aardappels (cons + ptgd)	zuigen	2-rijen	22	6	64	575	3,7
Bedrijf 4	aardappels consumptie	zuigen	2-rijen	15	6	30	440	1,3
Bedrijf 5a	uien	blazen	2-rijen	17	6	70	670	4,7
Bedrijf 6	aardappels consumptie	blazen/zuigen	2-rijen	18	6	65	527	3,4
Bedrijf 2b	sjalotten	blazen	1-laags	9	6		14	2,1
Bedrijf 5b	plantuitjes (zeer fijn)	blazen	1-laags	11	6			2,2

Afmeting van de kisten: 123 x 160 x 120 (h x b x d)

Op akkerbouwbedrijven worden 2 bewaarsystemen met lattenkisten toegepast:

1) **blazen**d, waarbij door zware (> 3kW) ventilatoren de lucht de gang tussen de dubbele rij in wordt geblazen. Omdat de gang van boven en aan het eind is afgesloten wordt de lucht via de spleten in de kist door het product geforceerd, foto 1.
2) In het andere systeem blazen de ventilatoren de andere kant op zodat ze de lucht via de kisten de ventilatorgang in **zuigen**, foto 2.

Schematisch zijn beide systemen weergegeven in figuur 1.



Figuur 1: Zij-aanzicht (links) en bovenaanzicht (rechts) van het 2-rijensysteem.

3.2 0-metingen

In de ventilatorgang is telkens ter hoogte van een kist de luchtsnelheid (m/s) gemeten met hetedraad anemometers, foto's 3 en 4, dus op maximaal 15 x 6 tot 22 x 6 punten, zie Bijlage 3.

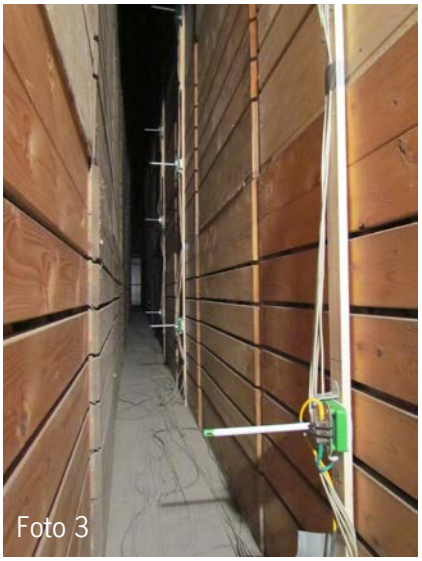
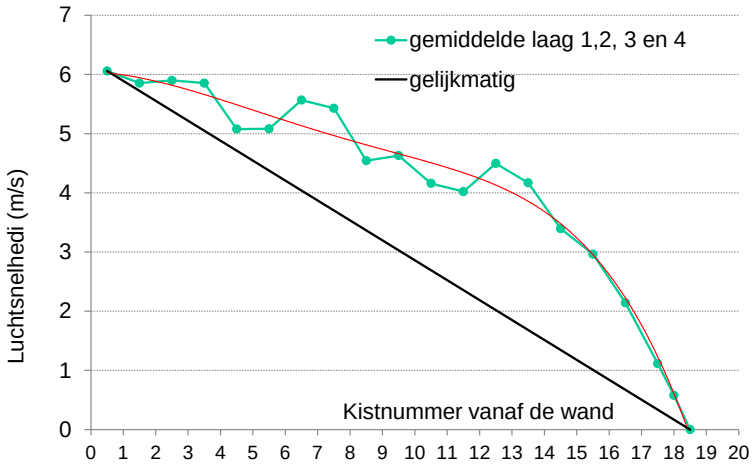


Foto 3

Foto 4

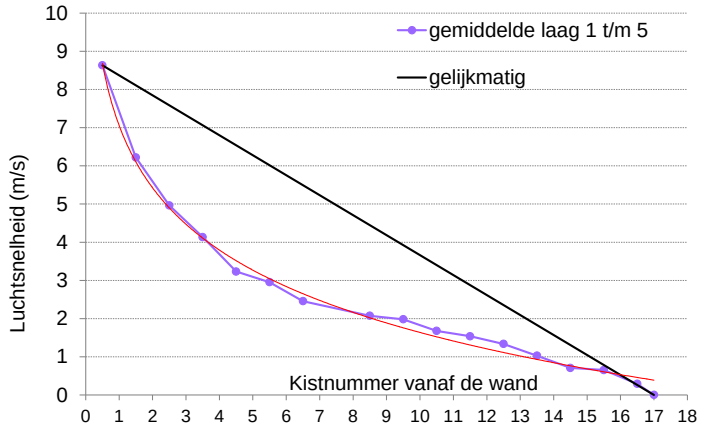
Representatief voor de 0-metingen aan een blazend systeem is de over laag 2 t/m laag 5 gemiddelde luchtsnelheid ter hoogte van elke kist, figuur 2. Ter hoogte van de eerste kist (het dichtst bij de ventilatoren) is de gemiddelde snelheid bij de kisten op laag 2, 3, 4 en 5 het hoogst (6 m/s), daarna neemt de snelheid



Figuur 2: Luchtsnelheden in de ventilatorgang, blazend.

af. De ventilatorgang heeft i.d.g. een breedte van 0,75 m en een hoogte van 6 x 1,20 = 7,20 m, dus een oppervlak van 0,75 x 7,20 = 5,40 m2, minus de halve doorsnede van de afsluitende balg = 5,20 m2. De afname van de luchtsnelheid is gemiddeld t/m kist 7 ongeveer 0,137 m/s per kist. Dat betekent dat in dat eerste deel van de kistenstapeling 3600 (s) x 0,153 x 5,20 = 2864 m3/uur per 12 kisten naar buiten stroomt: ± 215 m3/kist. Bij de laatste 7 kisten neemt de luchtsnelheid gemiddeld met 0,822 m/s per kist af: dat is 15.386 m3/uur per 12 kisten: 1282 m3/kist. Dat is 6 keer zoveel als door de kisten die het dichtst bij de ventilator staan. Zou de lucht gelijkmatig over de kisten verdeeld zijn (zwarte lijn in figuur 2), dan zou de luchtsnelheid met 0,337 m/s per (stapel van 6) kist(en) afnemen: elke kist zou dan geventileerd worden met 525 m3/uur.

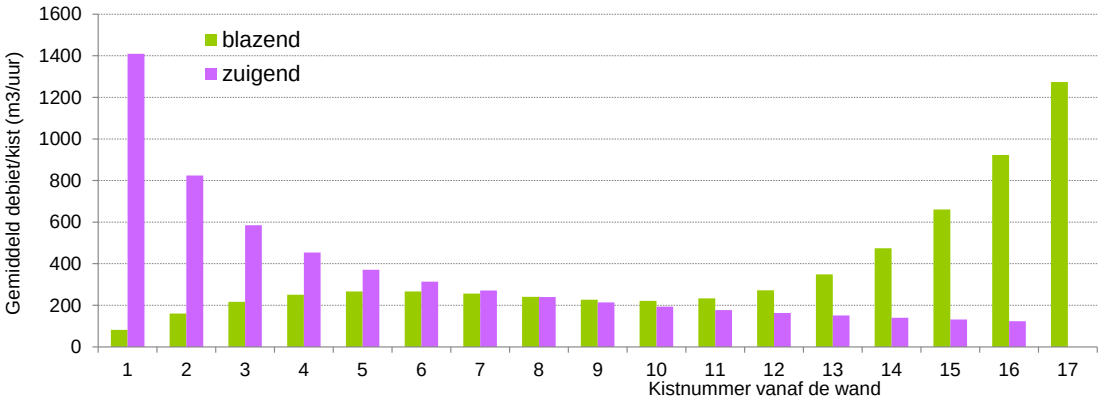
Bij een zuigend systeem laten de 0-metingen een t.o.v. de zwarte lijn spiegelbeeldige situatie zien, figuur 3. De lucht stroomt nu de andere kant op. Bij de kisten het verst van de ventilator is de luchtsnelheid het laagst en dichter naar de ventilator toe neemt de snelheid steeds meer toe. Vooral de 5 - 7 kisten het dichtst bij de ventilator krijgen fors meer lucht dan de verste kisten. Precies het omgekeerde van bij een blazend systeem.



Figuur 3: Luchtsnelheden in de ventilatorgang, zuigend

Wat verder opvalt, is dat de groene lijn in figuur 2 een stuk grilliger is dan de paarse lijn in figuur 3: bij het blazende systeem wordt aan de turbulente kant van de ventilator gemeten, bij het zuigende systeem niet. De grilligheid van de groene lijn moet niet opgevat worden alsof er grote debietsverschillen zijn tussen opeenvolgende kisten in het blazende systeem (zie straks de interpretatie van de metingen met de CFD-modellen). Metingen aan de aan de andere kant van de kisten, waar de lucht uittreedt, laten zien dat daar geen turbulente stromingen zijn, maar bevestigen de trend dat de kisten het verst van de ventilator bij het blazende systeem de meeste lucht krijgen, Bijlage 4..

In figuur 2 en 3 zijn met de rode lijn de meetpunten “gefit” en uit deze luchtsnelheden is het gemiddelde debiet per kist afgeleid, figuur 4.

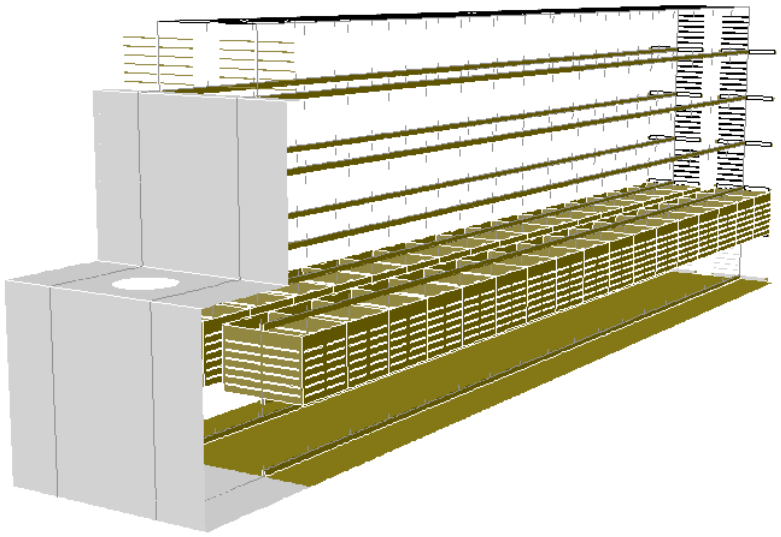


Figuur 4: Gemiddeld debiet per kist, zuigend versus blazend.

Naast het effect van de positie van de kist in de rij speelt de kistinhoud een belangrijke rol: hoe meer weerstand het product geeft, hoe beter de lucht zich over de kisten verdeelt. Het totale debiet door de stapeling wordt dan wel iets minder. Grote aardappelen of grote uien vergeleken met kleine plantuien, of met kleine sjalotten met veel vellen en wortels, of slechts gedeeltelijk gevulde kisten, geven veel minder weerstand en dus een slechtere verdeling over de kisten. Ook de diepte en de hoogte van de stapeling spelen mee: een stapeling van 22 kisten diep en 6 hoog heeft een lagere weerstand dan een stapeling van 5 hoog x 15 diep.

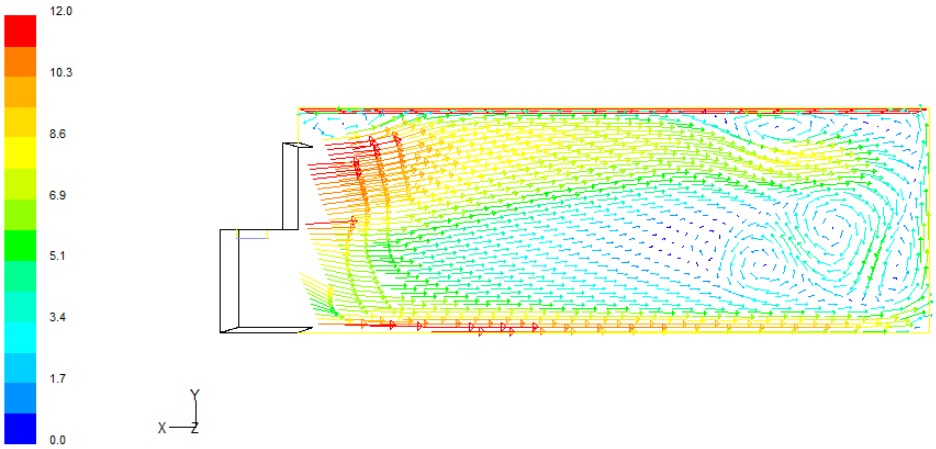
3.3 CFD-modellen

Met CFD-modellen (Computational Fluid Dynamics) wordt de stroming van in dit geval gassen bestudeerd via het oplossen van de stromingsvergelijkingen. Om de miljoenen berekeningen uit te voeren die nodig zijn om de interacties te simuleren van gassen onderling en met oppervlakken, zijn zelfs met de huidige computers rekentijden van soms enkele dagen geen uitzondering. De computersimulatie berekent de waarden van bijvoorbeeld luchtsnelheid, druk en concentratie van een gas voor elk punt in het bewaarsysteem met de 2 rijen kisten, figuur 5.
De kisten wordt weer opgedeeld in 25.000 kubusjes. Een berekening wordt gestart, waarbij bijvoorbeeld het effect van drukverhoging in 1 kubusje wordt doorgerekend naar de kubusjes eromheen, enz.. Die berekeningen gaan door net zolang tot alle kubusjes aan de beurt zijn geweest en er aan de uitkomst niet of nauwelijks meer iets verandert.



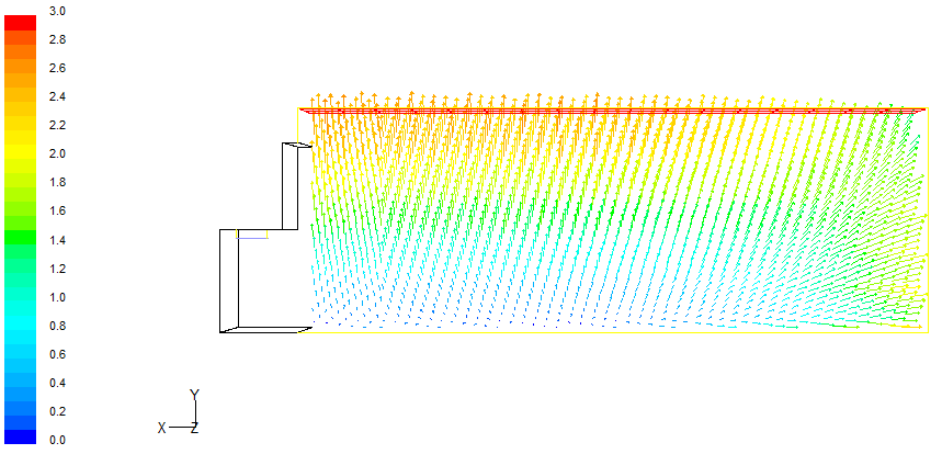
Figuur 5: weergave van de opbouw van het model (alleen de 2de laag is weer gegeven).

Op basis van de luchtsnelheidsmetingen, de afmetingen van het bewaarsysteem (kistmaat, spleetpositie, etc., etc.) worden door de CFD-berekeningen de luchtsnelheden en richting in de ventilatorgang bij het blazende systeem geschat als in figuur 6.



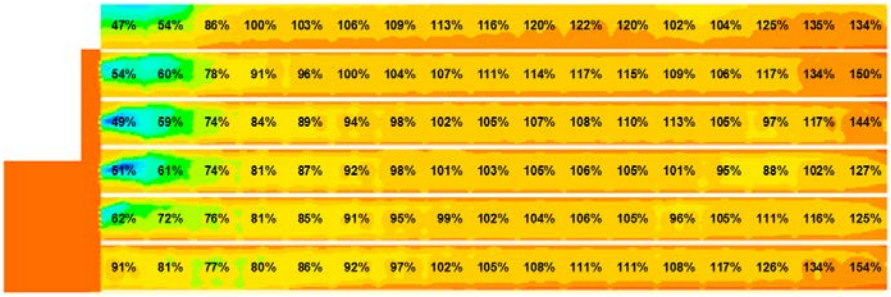
Figuur 6: Luchtsnelheid en –richting in de ventilatorgang bij blazen.

De figuur laat zien dat aan het begin van de ventilatorgang gemiddeld grote verschillen in luchtsnelheden kunnen optreden, en dat aan het eind van de ventilatorgang de stroming zeer turbulent is. Aan de uittredende kant in de tussengang is de stroming gelijkmatig. Aan het eind van de tussengang stroomt de lucht uit de kisten zowel naar de verticale als de horizontale opening, uit de rest van de kisten stroomt de lucht vooral omhoog.



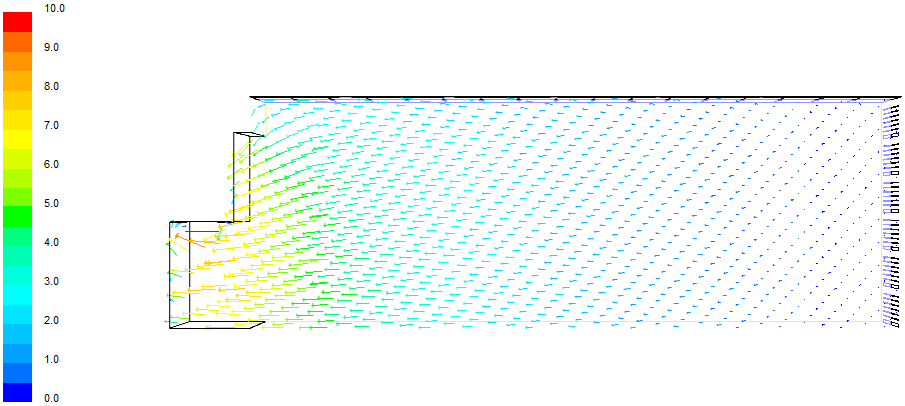
Figuur 7: Luchtsnelheid en –richting in de tussengang.

Figuur 8 laat het door de CFD-berekeningen geschatte resultaat zien waarin de luchtstromen resulteren: de debietverschillen/kist in procenten rond het gemiddelde debiet. Kisten aan het begin van de ventilatorgang krijgen 2-3 maal zo weinig lucht als kisten aan het eind van de gang.



Figuur 8: Geschatte debietverschillen per kist bij blazen.

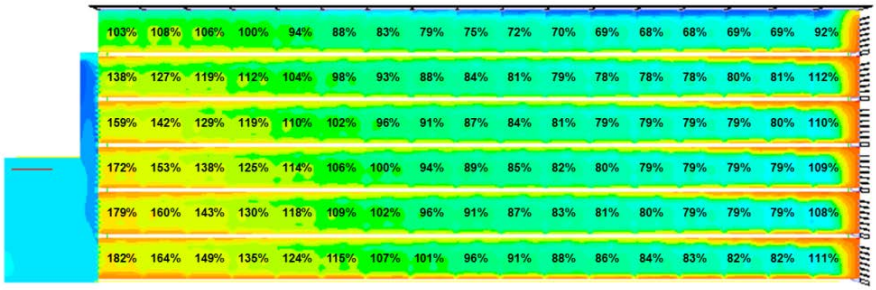
Voor het zuigende systeem wordt de luchtstroom (richting en snelheid) in de ventilatorgang geschat als in figuur 9.



Figuur 9: Luchtsnelheid en –richting in de ventilatorgang bij zuigen.

De figuur laat zien dat de luchtstroom zonder turbulenties is, net als bij de uittredende lucht bij het blazende systeem.

In figuur 10 zijn de geschatte debietverschillen per kist weergegeven voor het zuigende systeem. Dit is een vrijwel spiegelbeeldige verdeling aan het blazende systeem: De kisten dichtbij de ventilator krijgen de meeste lucht, de kisten het verst het minst. Uitgezonderd de allerlaatste kisten, daar wordt door het CFD-model een hoger debiet geschat dan voor de kisten ervoor. Dit komt niet overeen met de metingen.



Figuur 10: Geschatte debietverschillen per kist bij zuigen.

Samenvattend: De 0-metingen en de met CFD-modellen berekende luchtstromen geven voor het zuigende systeem aan dat de eerste 5 - 7 kisten die het dichtst bij de ventilator staan fors meer lucht krijgen dan de overige kisten. De metingen geven hierbij grotere verschillen aan de CFD-modellen.
Bij het blazende systeem krijgen de kisten dichtbij de ventilator juist minder lucht, de kisten het verst van de ventilator krijgen meer lucht dan gemiddeld. Ook hier geven de metingen gemiddeld grotere verschillen aan dan de CFD-modellen.

De CFD-modellen laten ook zien dat bij het interpreteren van de metingen in de ventilatorgang bij het blazende systeem rekening gehouden moet worden dat hier aan de turbulente kant van de ventilatoren wordt gemeten. De luchtstroom is hier grillig vergeleken met de metingen in de ventilatorgang bij het zuigende systeem, en vergeleken met metingen in de tussengang bij het blazende systeem. Vooral aan het begin van de ventilatorgang kunnen op verschillende hoogtes grote verschillen in luchtsnelheid gemeten worden. Deze verschillen in luchtsnelheid ter hoogte van twee opeenvolgende kisten betekenen niet automatisch een verschil in debiet per kist. Voor het systeem als geheel is de gemiddelde snelheid over een aantal lagen (bv. laag 2 t/m 5) wel representatief. Metingen op laag 2 of laag 3 komen het meest met dat gemiddelde overeen.

3.4 Testen van verbeteringen

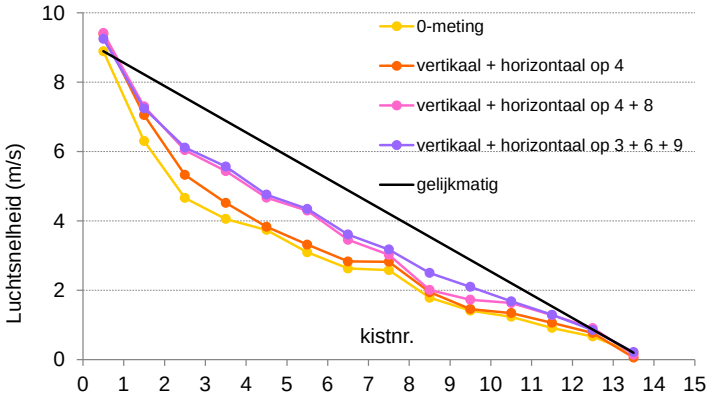
3.4.1 Zuigend systeem

De enige optie om de luchtverdeling in het zuigende systeem te verbeteren is om de ingaande luchtstroom bij de kisten het dichtst bij de ventilator af te remmen. Hiertoe zijn op bedrijf 1 en 5 met verschillende soorten winddoek de gehele zijkant van deze kisten afgedekt, foto's 5 en 6.

Foto 5

Foto 6

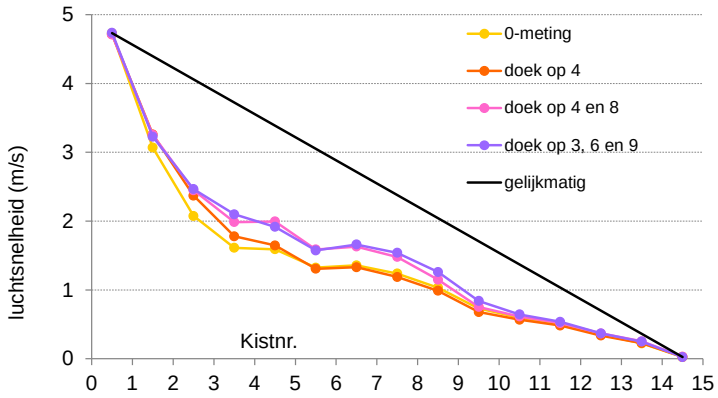
Winddoek dat 40% of 55% van de luchtstroom tegenhoudt heeft geen enkel effect op de luchtverdeling over de kisten. Ook winddoek dat 80% tegenhoudt heeft geen effect. De winddoeken getest in de windtunnel lieten zien dat bij lage luchtsnelheid (< 2 m/s) de doeken nauwelijks lucht tegenhouden, Bijlage 6.
Met het 80%-winddoek aan de bovenkant horizontaal *en* in de gang verticaal afsluiten van de gangen tussen



Figuur 11: Effect op luchtsnelheden in de ventilatorgang

Foto 7

de dubbele rijen kisten, zie foto 7, heeft bij de kleinere sjalotten met veel fijn spul een redelijk gunstig effect op de luchtverdeling, figuur 11. Hierbij is alleen gemeten op laag 2. De meest gunstigste plaatsing is verticaal ter hoogte van de 3de, de 6de en de 9de kist en horizontaal t/m de 9de kist.
Dezelfde methode toegepast bij de grotere aardappelen, foto 8, heeft een minder gunstig effect, figuur 12.



Figuur 12: Effect op luchtsnelheden in de ventilatorgang.

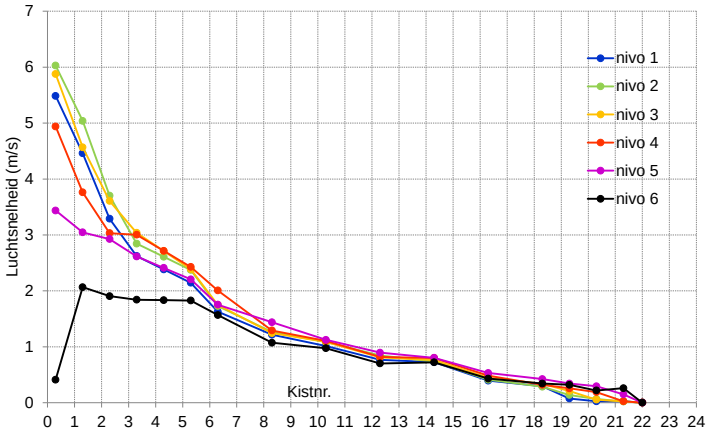
Foto 8

De twee toepassingen met elkaar vergeleken, tabel 2, laat zien dat bij de sjalottenbewaring de helling van de paarse lijn t/m de eerste 4 kisten door de doeken 25% minder steil, en voor de laatste 9 kisten 39% steiler loopt: deze kisten krijgen nu 39% meer lucht. In het geval dat de hoeveelheid lucht bij die kisten in de 0-meting al voldoende was, dan kan de ventilator nu tot 72% worden teruggetoerd, waarmee 63% op elektra bespaard wordt. Bij de aardappelen is dit effect kleiner, maar ook hier kan aanzienlijk op elektra bespaard worden: 49%.

Tabel 2: Verbetering luchtverdeling door winddoek haaks op de luchtstroom

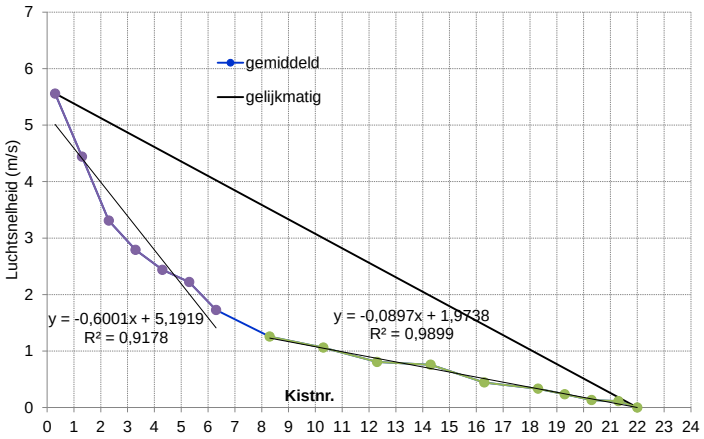
	helling		
	gelijkmatig	1ste 4 kisten	laatste 9 kisten
Sjalotten			
0-meting	0,67	-1,62	-0,36
Verbeterd		-1,22	-0,50
toe/afname		-25%	39%
Maximale Energiebesparing		63%	
Aardappelen			
0-meting	-0,34	-1,04	-0,17
Verbeterd		-0,87	-0,21
toe/afname		-16%	25%
Maximale Energiebesparing		49%	

Om toch ook bij grover product als aardappelen en de grote zaaiuien de luchtverdeling te verbeteren zijn i.p.v. het 80%-winddoek geperforeerde triplexplaten getest die 90% van de luchtstroom tegenhouden, zie ook Bijlage 6.



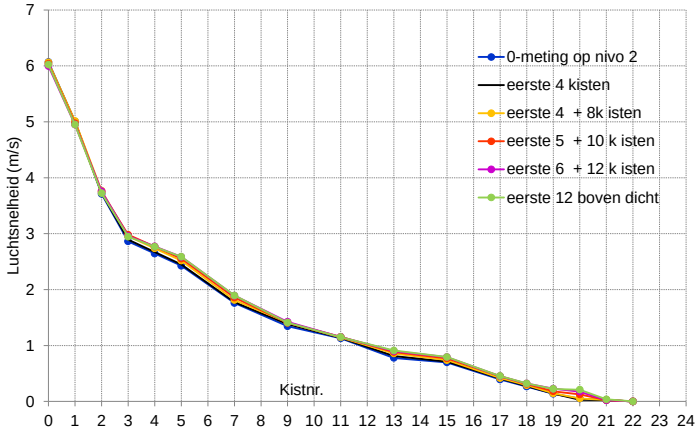
Figuur 13: 0-metingen per laag.

Als 0-meting is eerst op bedrijf 3 met aardappelen op alle 6 lagen gemeten, figuur 13. De gemiddelde luchtsnelheid over de 6 lagen (excl. de eerste 4 kisten van laag 6) is uitgezet in figuur 14. Deze figuur laat ook zien dat het verschil in gemiddelde luchthoeveelheid per kist voor de eerste 7 kisten vergeleken met de laatste 15 erg groot is: een factor 7 (= -0.6001/-0.0897, zie regressievergelijkingen).



Figuur 14: gemiddelde 0-meting

Het plaatsen van de geperforeerde platen verticaal in de tussengangen bij kist 4 en 8, bij kist 5 en 10 en bij kist 6 en 12, *plus* het respectievelijk t/m kist 8, 10 en 12 horizontaal afdekken met board waaronder dwarslatjes gelegd zijn, foto 9, heeft een nauwelijks meetbaar effect, figuur 15. Ook het boven volledig afdekken (zonder de dwarslatjes) van de tussengangen bij de eerste 12 kisten heeft geen effect op de luchtstromen in de ventilatorgang.



Figuur 15 : effecten geperforeerd triplex.

Vervolgens is op bedrijf 1 met grote uien deze methode herhaald met on-geperforeerde platen omdat er langs de randen toch nog zoveel ruimte (kier) blijkt te zijn dat perforaties in de plaat niet nodig zijn om toch enige lucht door te laten. De resultaten zijn samengevat in Bijlage 7. De conclusies uit deze metingen zijn dat er nu wel iets meer effect van afdekken en verticale platen is, maar te weinig om voor echte verbetering te zorgen.

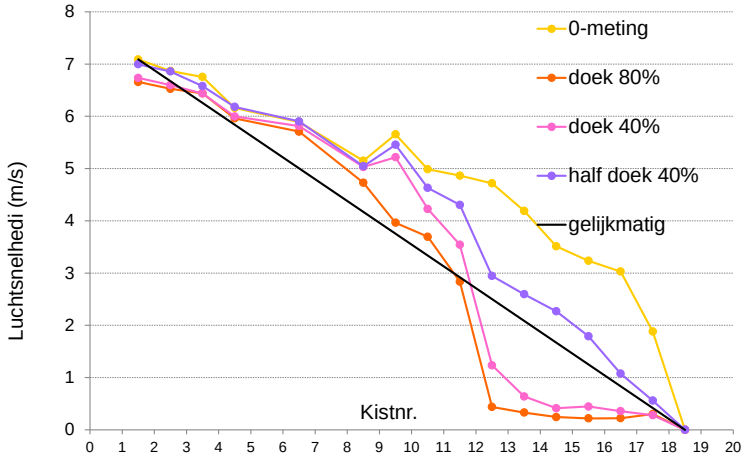
3.4.2 Blazend systeem

In het blazend systeem zijn er meer opties om de luchtverdeling over de kisten te beïnvloeden:

1) door weerstand te creëren in de ventilatorgang
2) door weerstand te creëren aan de kant van de lattenkisten waar de lucht uittreedt.

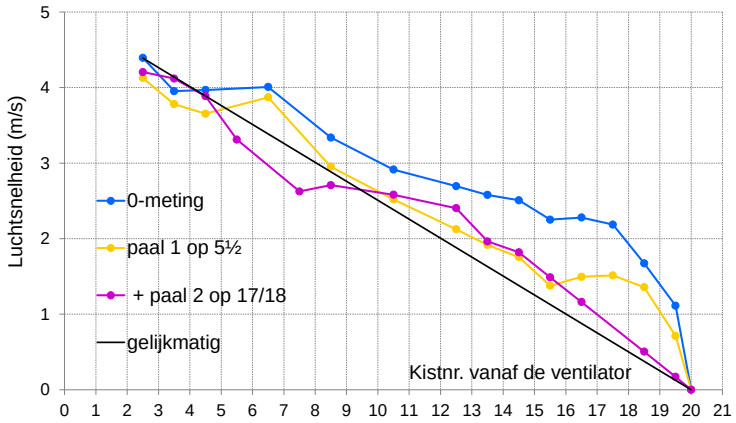
Een voordeel van de 2de benadering is dat dit ook de luchtverdeling *in* de kist zou kunnen verbeteren, nadeel is dat dit geen optie is als er maar één dubbele rij in de cel staat.

Op Bedrijf 6 zijn in de ventilatorgang winddoeken getest die 40%, 55% en 80% lucht tegenhouden. Hierbij is alleen op laag 2 gemeten, en zijn de doeken geplaatst tussen de 12de en de 13de kist. Figuur 16 laat zien dat alleen een in de lengte gehalveerd 40%-winddoek, zie foto 10, de luchtverdeling verbeterd. Dichtere winddoeken laten te weinig lucht door zodat de achterliggende kisten nauwelijks nog lucht krijgen.



Figuur 16: Luchtsnelheden ventilatorgang met winddoeken

Op bedrijf 5 zijn vervolgens bij grote uien V-vormige triplex structuren met de punt in de wind in de ventilatorgang getest om de luchtstroom te stuwen, zie foto 11. De breedte van deze zg. V-palen kon vanwege het pianoscharnier in de punt gevarieerd worden. Hiermee is een breedte van 20 cm en van 30 cm getest. De V-palen zijn geplaatst op o.a. halverwege kist 6 (positie 5½), halverwege kist 8, kist 10, 12 en 14 (positie 13½), en op positie 6 plus op positie 15, 16 en 17, zie Bijlage 5. De beste resultaten werden behaald met een V-paal halverwege de 6de kist plus een V-paal halverwege de 18de kist, figuur 17.



Figuur 17: Horizontale luchtsnelheid ter hoogte van de 2de laag

Foto 11

Andere bevindingen uit deze meetsessies (Bijlage 5) zijn:

- Het stuwen van de luchtstroom met een V-vormige paal met de punt in de wind ter hoogte van de 6de kist heeft een sterk effect op de luchtverdeling wanneer de breedte 30 cm is. Een breedte van 20 cm heeft veel minder effect.
- Plaatsing van een 30 cm brede V-paal ter hoogte van de 8ste kist benadert een gelijkmatige luchtverdeling het best, maar voorkomt niet dat de laatste kisten nog steeds meer lucht dan gemiddeld krijgen.
- Een 2de V-paal ter hoogte van de 18de kist bracht de luchtsnelheid ter hoogte van de laatste kisten flink terug.
- Ondanks deze positieve effecten van de V-palen is er echter nog geen optimale positionering gevonden.

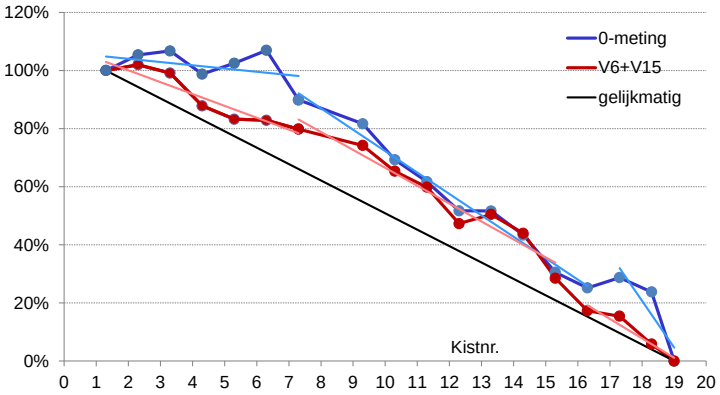
In een volgende meetsessie bij grote uien zijn in plaats van V-palen van triplex 2 hangende spanconstructies van gronddoek gebruikt, die veel lichter zijn en gemakkelijk te verplaatsen, foto'1 12 en 13.

Foto 12

Foto 13

Deze V-doeken zijn getest op de posities tussen kist 4 en kist 5 (V4) , tussen kist 5 en 6 (V5), kist 6 en 7 (V6), kist 7 en 8 (V7) en tussen kist 8 en 9 (V8). Deze posities zijn gecombineerd met een V-doek op positie

tussen kist 14 en 15 (V14), tussen kist 15 en 16 (V15) en kist 16 en 17 (V16), zie Bijlage 9. Uit deze 5 x 3 = 15 combinaties is V6 + V15 gekozen om behalve op laag 3 ook op de andere lagen te meten en het gemiddelde te vergelijken met de gemiddelde 0-meting, figuur 18.



Figuur 18: resultaten over laag 2 t/m 5 V-doeken op positie kist 6 en 15

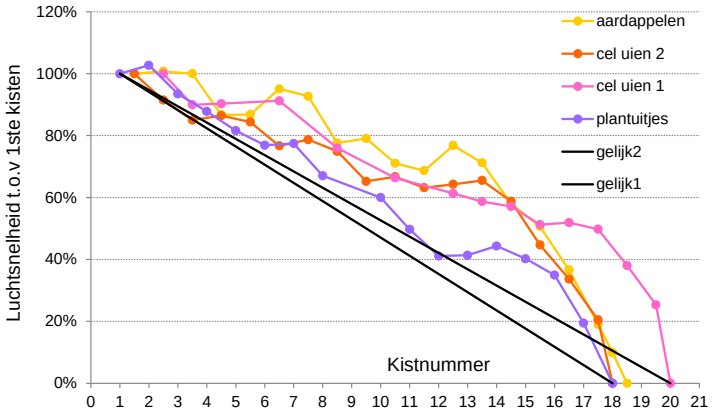
Vergeleken met de 0-meting geeft de meting bij V6+V15 een gelijkmatiger beeld: De helling van de lijn door de 1ste 7 punten is veel steiler dan bij de 0-meting, en de helling van de lijn door de laatste 4 punten is juist minder steil. Wat e.e.a. betekent voor de luchtverdeling over de kisten is samengevat in tabel 3:

Tabel 3: Verbetering luchtverdeling bij spannen van een V-doek ter hoogte van kist 6 en kist 15, zie figuur 20.

		1ste 7 kisten	middelste 7	laatste 4	gew. Gemid	spreiding
0-meting	afname luchtsnelheid (m/s/kist)	-0,011	-0,077	-0,083	-0,053	
	m3/uur/kist	24	166	178	114	68%
V6+V15	afname luchtsnelheid (m/s/kist)	-0,041	-0,068	-0,067	-0,057	
	m3/uur/kist	88	146	144	123	23%
gelijkmatig	afname luchtsnelheid (m/s/kist)		-0,056			
	m3/uur/kist		122			

De eerste 7 kisten krijgen nu gemiddeld een fors hoger debiet dan bij de 0-meting en de spreiding rond het gemiddelde debiet is fors lager. Wanneer de luchthoeveelheid voor de eerste 7 kisten bij de 0-meting als voldoende wordt gezien, dan kan met de spandoeken dus fors teruggetoerd worden om hetzelfde resultaat te bereiken.

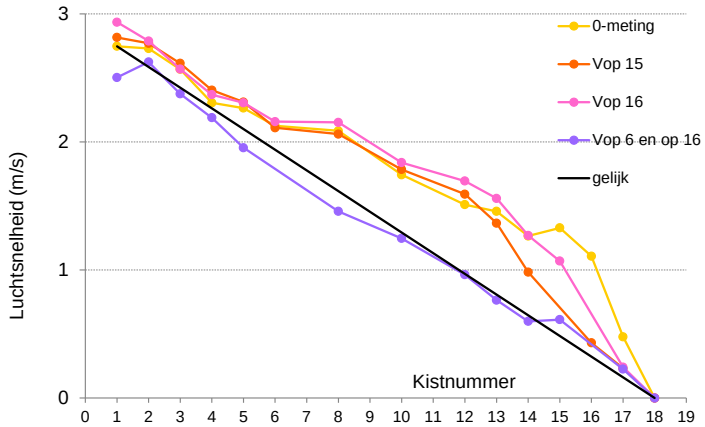
Op vergelijkbare posities zijn de V-doeken ook getest bij kisten met de veel kleinere plantuitjes, Bijlage 8. Deze hebben een fors hogere weerstand en de 0-meting gemiddeld over de 6 lagen is gelijkmatiger dan bij aardappelen of grote uien, figuur 19.



Figuur 19: Luchtverdeling bij plantuitjes, aardappelen en grote uien.

Vooral over de eerste 13 – 14 kisten is bij plantuitjes de lucht beter verdeeld. De laatste 4 kisten krijgen echter ook bij de plantuitjes veel meer lucht dan de andere kisten. Metingen ter hoogte van laag 3 met de V-

doeken op posities ter hoogte van kist 15, kist 16 en kist 6 *plus* 16 laten zien dat bij kleine plantuitjes de V-doeken op kist 6 en kist 16 een vrijwel gelijkmatige verdeling geven figuur 20.



Figuur 20: Luchtverdeling ter hoogte van laag 3.

Een andere benadering is het aanbrengen van weerstand aan de kant van de kisten waar de lucht uittreedt. Hiertoe zijn met triplex platen de tussengangen van 40 cm aan de voorkant verticaal afgesloten en aan de bovenkant steeds voor een groter deel van voren naar achteren afgesloten, uiteindelijk van kist 20 t/m kist 10, foto's 14 en 15.

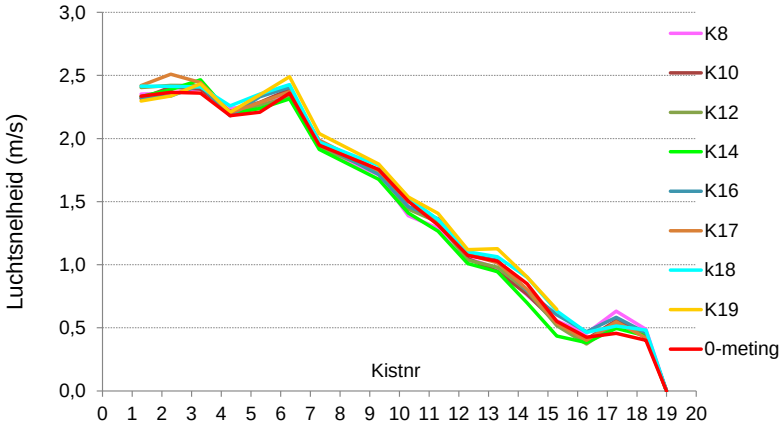
Foto 14

Foto 15

Hoe groot het effect van kussens in de palletopeningen, en of het nog uitmaakt of ook de dubbele rijen ernaast op de tussengang uitblazen, is ook nagegaan, Bijlage 5. Uit deze meetsessies blijkt dat:

- Uittredende lucht van de ene dubbele rij kisten heeft nauwelijks tot geen effect op de luchtverdeling over de kisten in de dubbele rij ernaast.
- Het afsluiten van het verticale deel van de opening van de gang tussen twee dubbele rijen waarin de uittredende lucht uitstroomt, heeft geen enkel effect op de luchtverdeling over de kisten.
- Ook het afdekken van het horizontale deel van de opening boven kist 20 t/m kist 10 heeft geen enkel effect.
- Berekening op bases van een geschatte effectieve doorlatendheid van de van de lattenkist plus inhoud geven aan dat er minstens t/m kist 5 moet worden afgedekt om voldoende weerstand te creëren om de luchtverdeling te beïnvloeden.
- Het afsluiten van de palletopeningen heeft een klein (positief) effect op de lucht verdeling over de kisten.

In een volgende meetsessie zijn daarom de tussengangen aan de bovenkant nog verder afgedekt, tot zelfs volledig t/m kist 19. De resultaten zijn samengevat in figuur 21, (waarin K19 staat voor afdekken t/m kist 19).



Figuur 21: resultaten bij afsluiten tussengangen.

Opvallend is dat zelfs het afdekken van de gehele tussengang (K19) nauwelijks enig effect heeft op de luchtverdeling: De lucht wordt treedt nu niet uit in de afgedekte tussengang, maar gaat door de kistenrij ernaast en treedt dan uit in de volgende tussengang. De lucht zoekt z'n weg naar buiten via de kisten ernaast en de daaropvolgende tussengangen. Dit geeft eens te meer aan dat de weerstand van kist met grote uien of aardappelen veel te laag is voor een goede luchtverdeling. Dit verklaart ook waarom bij zuigende systemen het afdekken van alleen 2 tussengangen geen effect heeft.

4 Conclusies en aanbevelingen

Uit de 0-metingen blijkt keer op keer dat bij het **blazende systeem** de kisten het verst van de ventilatoren fors meer lucht krijgen dan de overige kisten. Vooral wanneer het een grof/groot product betreft (grote uien, aardappelen), is het daarnaast ook zo dat de kisten die het dichtst bij de ventilatoren staan juist minder lucht dan gemiddeld krijgen.
Om bij blazende systemen de luchtverdeling over de kisten te verbeteren zijn 2 benaderingen getest: 1) Het op strategische plaatsen in de ventilatorgang tussen de dubbele rij kisten stuwen van de lucht en 2) het verhogen van de weerstand aan de kant waar de lucht de kisten uittreedt.
Wanneer V-vormige spandoeken verticaal ter hoogte van de 6de en de 15de de kist (bij een 20 kisten diepe stapeling) geplaatst zijn, wordt de luchtverdeling over de kistenstapeling gelijkmatiger. Vooral wanneer daarnaast het bewaarproduct fors meet weerstand geeft: bij kleine plantuitjes.
Het verhogen van de weerstand aan de uittredende kant van de kisten door gedeeltelijk afdekken van de tussengang, bleek bij kisten met grote uien geen enkel effect te hebben: via de kistenrij ernaast zoekt de lucht ongehinderd z'n weg naar buiten. Dit betekent dat de weerstand van de lattenkisten met grote producten veel te laag is.
Alleen wanneer alle tussengangen in een volle cel zal dit wel effect hebben.

Uit de 0-metingen bij het **zuigende systeem** blijkt dat juist de eerste 4 tot 6 kisten het dichtst bij de ventilatoren de meeste lucht krijgen. Over de andere kisten wordt de lucht goed verdeeld, maar deze kisten krijgen meer dan een factor 4 minder lucht. Het stuwen van de lucht in de ventilatorgang is hier geen optie, aanbrengen van weerstand in de tussengangen wel. Het afdekken van de eerste helft van tussengangen vanaf de ventilator met winddoek met een doorlatendheid van hoogstens 20%, *plus* op 2 of 3 plaatsen verticaal haaks op de luchtstroom in de gang aangebracht winddoek verbetert de luchtverdeling fors. Dit verbetert de luchtverdeling echter alleen bij een bewaard product met veel weerstand, zoals de kleine sjalotten met veel vel en wortels. Bij aardappels of grote uien heeft dit veel minder effect: de lucht wordt dan via rijen ernaast aangezogen.
Alleen wanneer alle tussengangen in de cel op de beschreven manier afgedekt worden, kan bij het zuigende systeem de luchtverdeling verbeterd worden.

Om de luchtverdeling in het bewaarsysteem met de huidige lattenkisten te verbeteren is bij blazende systemen het toepassen van de V-doeken een optie. Bij een 18 kisten diepe stapeling dient het eerste doek dan net na de eerst 5 kisten geplaatst te zijn, het 2de doek voor de laatste 3 – 4 kisten. De eerste kisten krijgen dan gemiddeld bijna 4 keer zoveel lucht. Als 2 keer zoveel lucht voldoende is kan er dus flink teruggetoerd worden. Om 50% op energie (elektra) is terugtoeren van de ventilator met 20% als voldoende.

Om in alle gevallen de luchtverdeling te kunnen verbeteren zouden de lattenkisten aangepast moeten worden: De spleten tussen de lattenkisten dienen fors verkleind te worden, vermoedelijk met meer dan 50%. Minder spleten is ongunstig voor de luchtverdeling in de kist. Een andere optie is om de kisten flink breder te maken, bijvoorbeeld 3,20 meter in plaats van 1,60 meter. Of het product bij het inschuren dan snel genoeg droogt is hierbij nog een vraag.

Een andere optie is om de drukkamer in de bewaarcel zo te construeren dat de ventilatoren regelmatig omgedraaid kunnen worden, zodat ze afwissellend blazen en zuigen. Gemiddeld over de tijd krijgen alle kisten dan ongeveer evenveel lucht.

Bijlage 1: Gewas en systeemkeuze

Marcel van der Voort

Voor het project "Energiebesparing bij de bewaring van akkerbouwproducten" is een gefundeerde keuze van gewassen en opslagsystemen nodig. In het projectplan zijn de gewassen aardappelen, uien, prei en wortelen genoemd als focus voor het onderzoek. Deze notitie bevat een analyse om te beoordelen welke gewassen definitief passen in de projectdoelstellingen. Op basis van CBS data, onderzoeksgegevens en praktijkkennis is per gewas een beschrijving gemaakt van de belangrijkste elementen in de bewaring van deze producten. Naast de eerder genoemde producten is ook gekeken naar sluitkool als optioneel gewas. De vraag die hier centraal staat is: welk gewassen passen goed bij het genoemde onderzoek:

- is er sprake van een significant energieverbruik?
- is de bewaring van het gewas in bewaring geschikt om op basis van luchtstroom modellen (CFD) te optimaliseren?

Arealen en energieverbruik bij bewaring

Tabel 1: Arealen en opbrengsten (per ha en totaal Nederland)

Gewas	Beteeld oppervl.[1] (ha)	Bruto opbr. per ha[1] (ton)	Bruto opbrengst[1] (ton)	Energie bewaring per ha[2] (GJ)	Energie bewaring totaal (GJ)
Aardappels					
Pootgoed	38.548	37	1.414.555	1,46	56.281
Consumptie	71.010	51	3.595.645	1,72	122.138
Zetmeel	46.385	42	1.970.675	1,28	59.373
Zaaiuien	22.167	63	1.388.064	5,43	120.369
Winterpeen	5.739	66	380.000	40,3	231.295
Prei	2.933	32,5	95.000	39,11	114.723
Sluitkool					
Spits kool	492	30	15.000	n.b.	-
Rode kool	641	63	40.000	n.b.	-
Witte kool	1.653	81	134.000	14,75	24.387

[1] – Op basis van CBS statline, voor aardappelen en uien gemiddelde van 2010, 2011 en 2012
[2] – Op basis van Kamp et al., 2010; Energiebesparing op het agrarisch bedrijf

Beoordeling bewaring op geschiktheid voor onderhavig project

Aardappelen

De bewaring van aardappels is veelal los gestort in een bewaarplaats. Voornamelijk in pootgoed is er een ontwikkeling gaande richting kistenbewaring. Kistenbewaring is nog wel kleiner in omvang als losse opslag. Kistenbewaring kent wel een hoger energieverbruik. Dit is 5,15 GJ per ha tegen 1,19 GJ per ha. In Kamp et al., 2010 is de energiebehoefte voor pootgoed bepaald op de toenmalige verdeling van los opgeslagen en kistenbewaring. Per type bewaarplaats zijn er verschillende systemen/technieken in gebruik voor los gestort product is dat bijvoorbeeld boven- of ondergrondse kanalen en met of zonder drukkamer. Daarnaast is een groeiend aantal bewaarplaatsen uitgerust met mechanische koeling. De verdeling van lucht door het product, zowel bij losse opslag en in kistenbewaring, is belangrijk voor een goede kwaliteit van het product. Voor pootaardappelen geldt dat ze in eerste instantie op de binnengekomen temperatuur worden gehouden. Hierna worden ze veelal met buitenlucht terug gekoeld naar uiteindelijk +4 °C. Voor sorteren moeten de aardappels een hogere temperatuur hebben.

Consumptieaardappelen (frites) worden op rond 7-8 °C bewaard. Tafelaardappelen vaak rond de 4-5 °C.

Geschikt voor opname in dit project?

- Areaal / energieverbruik: resp. groot en hoog
- Optimalisatie met CFD modellen: ja, zeker in kistenbewaring is dit een optie. Kistenbewaring kent alleen toepassing in pootaardappelen. De losse bewaring kent een veel groter areaal gebruik, dus bij betrouwbare metingen in bulkopslag zou dit een optie zijn.

Zaai-uien

De opslag van zaai-uien is veelal los gestort in een bewaarplaats. Een bewaarplaats vergelijkbaar met aardappels qua technieken/systemen die beschikbaar zijn. Uien worden voor een aanzienlijk deel in bewaarplaatsen met mechanische koeling opgeslagen. Belangrijk verschil met aardappelen is dat zaai-uien naoogst in de bewaarplaats worden droog gestookt. Dit droogstoken door middel van kachels, voor de drukkamer of direct op de ventilatiekanalen, zorgt voor een aanzienlijk hogere energiebehoefte per hectare. Het droogstoken kan plaatsvinden met verschillende fossiele brandstoffen, bijvoorbeeld propaangas, aardgas, petroleum en diesel. De gasgestookte kachels zijn in de studie Kamp et al., 2010 als uitgangpunt genomen, omdat deze de overhand hebben.
Zaai-uien worden op, of zo dicht mogelijk bij, 0 °C bewaard. Soms in de praktijk ook net onder de nul graden. Het risico met bewaring net onder nul is bevriezing van het product.

Geschikt voor opname in dit project?

- areaal / energieverbruik: resp. groot en hoog
- Optimalisatie met CFD modellen: ja, mits metingen in een bulkbewaring betrouwbaar vormgegeven kan worden.

Winterpeen

Winterpeen wordt vrijwel uitsluitend in kisten in een koelcel bewaard. De koelcel wordt na terug koelen van het product op 0 à 1 °C gehouden. Winterpeen wordt in met een redelijke hoeveelheid ‘aanhangende grond’ gerooid. Dit is nodig behoud van de kwaliteit van de winterpeen in de bewaring. Er wordt dus, naast winterpeen, veel grond opgeslagen. De grootste energievraag vindt plaats bij het terug koelen van het product bij binnenkomst in de koelcel.

Geschikt voor opname in dit project?

- Areaal / energieverbruik: resp. groot en hoog
- Optimalisatie met CFD modellen: nee. de stroommodellenbenadering werkt niet in deze omgeving (met minimale luchtbeweging de temp. heel laag houden. De koelcel is gesloten. Het zou dan alleen de verdeling van koude door de koelcel betreffen. Winterpeen zelf is een dicht/compact product waar nauwelijks luchtdoorstroming in de kisten kent.

Prei

Normaliter kent Prei eigenlijk nauwelijks bewaring van geoogst product. Pas na bewerking (schoning) wordt het product kort bewaard: idealiter wordt het product dat gerooid wordt op dag 1 op dag 2 verwerkt en gaat diezelfde of de volgende dag (na teruggekoeld te zijn) het afzetkanaal in. De opslag van prei voor schoning is veelal een logistieke noodzaak. Alleen bij aangekondigde vorstperiodes wordt prei in grotere hoeveelheden in het voren gerooid, waardoor de noodzaak van opslag van onbewerkte prei ontstaat. Prei kan het gehele jaar worden geoogst, maar tijdens vorst niet. De grond is dan te hard voor de oogstmachines.
De opslag van onbewerkte prei vraagt wel veel energie. De prei wordt, onbewerkt, in een koelcel rond de -1 °C opgeslagen. Prei is alleen erg gevoelig voor broei, waardoor er vaak extra wordt geventileerd en de preicontainers worden veelal met ruime tussenafstand in de koelcel geplaatst. Beide aspecten zorgen voor een extra toename van het energieverbruik. De extra ventilatie zorgt voor een behoefte aan extra koeling. De ruimere afstand zorgt voor een lage bezetting per

koelcel (hoeveelheid product per cel). De opslag van prei bestaat voornamelijk uit het terug koelen van het product. Prei is niet lang te bewaren, meer weken in plaats van maanden. Geschoonde en bewerkte prei wordt rond de 0 à 1 °C opgeslagen.

Geschikt voor opname in dit project?

- Areaal / energieverbruik: resp. middel en hoog
- Optimalisatie met CFD modellen: nee. Prei wordt opgeslagen in een koelcel. Dichte ruimte waarin de verdeling van koude het belangrijkste element vormt. Prei is tevens nog dichter/compacter dan winterpeen. Koeling vindt plaats door de omgeving van de oogstcontainer koud te maken. De luchtdoorstroming in product (binnen de containers) is nihil. Bij deze lage temperaturen speelt afvoer van CO_2 d.m.v. ventileren niet.

Sluitkool

Witte kool is de grootste koolsoort binnen de groep sluitkool. Witte kool wordt, met als rode kool, voor een lagere periode bewaard in een koelcel. De witte kool wordt in koolcontainers opgeslagen. Verder is de opslag vergelijkbaar met winterpeen. De bewaartemperatuur ligt rond de 0 à 1 °C.

Geschikt voor opname in dit project?

- areaal / energieverbruik: resp. middel en hoog
- Optimalisatie met CFD modellen: nee. Sluitkool wordt opgeslagen in een koelcel. De stroommodellenbenadering werkt niet in deze omgeving (met minimale luchtbeweging de temp. heel laag houden). Bij deze lage temperaturen speelt afvoer van CO_2 d.m.v. ventileren niet.

Conclusie:

De meerwaarde van energiebesparing op basis van CFD modellen is vooral aanwezig daar waar sprake is van verplichte luchtstroming door het product bijv. om vocht of CO_2 af te voeren. Dit speelt vooral bij aardappelen en uien. Bij aardappelen speelt vooral afvoer van vocht en later CO_2 . Bij uien speelt vochtafvoer (drogen met verwarming) en daarna warmteafvoer en enigszins (maar beperkter) de afvoer van CO2. In deze gewassen zijn CFD modellen zinvol toepasbaar, waarbij bij kistenbewaring makkelijker gemeten kan worden.

Bij zaaiuien, consumptie- en zetmeelaardappelen is sprake van vooral losse bewaring (uitzondering: tafelaardappelen). Deze producten kennen allen de noodzaak voor ventileren van het product. De meerwaarde van CFD modellen hangt sterk af van de mogelijkheid om kostenefficiënt en betrouwbare metingen te doen in de bulkopslag.

Winterpeen en sluitkool worden in koelcellen opgeslagen. De meerwaarde van CFD modellen is nihil. Mogelijk kan de eerste fase van de gekoelde bewaring met CFD modellen gesimuleerd worden (het terugkoelen). Het zou dan voornamelijk gaan om verdeling van koude in de koelcel. Bij deze lage temperaturen speelt afvoer van CO_2 d.m.v. ventileren niet.

Prei is een ‘moeilijk’ verhaal. Bij een milde winter (zonder vorstperiodes) is de opslagbehoefte zeer beperkt en hiermee ook het energieverbruik. De opslagcapaciteit is vaak geënt op het overbruggen van een vorstperiode van 1,5 - 2 weken. Duurt de vorstperiode langer, dan komt de verwerking stil te liggen. Dit geeft aan dat de behoefte aan bewaring erg grillig kan verlopen. Verder wordt prei tevens in de koelcel opgeslagen, waar de meerwaarde van CFD modellen beperkt is.

Bijlage 2: Kort overzicht van eisen aan het bewaarklimaat

Marga Dijkema

Aardappelen

Tafelaardappelen						
Bewaarfase	Duur (dg)	Temp. (°C)	RV (%) [8,9]	CO2 (%)	Ventilatie [9]	Bron
Drogen				max. 0.5 [5]		
Wondheling	7 -14	12-18	80-95	max. 0.5 [5]	10 m^3 lucht/24 uur/ton (luchtverversing) [6]	**(3)**
Bewaring		4-5 [1] 5-6		max. 0.5 [5]	100 m^3 lucht/uur/ m^3 [7] **(1)**	**(3)** **(2)**
Opwarmen	5 [2]	15, 18-20 [3]		max. 0.5 [5]		**(3)**

Frietaardappelen						
Bewaarfase	Duur (dg)	Temp. (°C)	RV (%) [8,9]	CO2 (%)	Ventilatie [9]	Bron
Drogen				max. 0.5 [5]		
Wondheling	7-14	12-18	80-95	max. 0.5 [5]	10 m^3 lucht/24 uur/ton (luchtverversing) [6]	**(3)**
Bewaring		6-8 [1]		max. 0.5 [5]	100 m^3 lucht/uur/ m^3 [7] **(1)**	**(1,2,3)**
Opwarmen	5 [2]	15, 18-20 [3]		max. 0.5 [5]		**(3)**

Chipsaardappelen						
Bewaarfase	Duur (dg)	Temp. (°C)	RV (%) [8,9]	CO2 (%)	Ventilatie [9]	Bron
Drogen				max. 0.5 [5]		
Wondheling	7-14	12-18	80-95	max. 0.5 [5]	10 m^3 lucht/24 uur/ton (luchtverversing) [6]	**(3)**
Bewaring		7-10 [1]		max. 0.5 [5]	100 m^3 lucht/uur/ m^3 [7] **(1)**	**(2,3)**
Opwarmen	5 [2]	15, 18-20 [3]		max. 0.5 [5]		**(3)**

Droogindustrie						
Bewaarfase	Duur (dg)	Temp. (°C)	RV (%) [8,9]	CO2 (%)	Ventilatie [9]	Bron
Drogen				max. 0.5 [5]		
Wondheling	7-14	12-18	80-95	max. 0.5 [5]	10 m^3 lucht/24 uur/ton (luchtverversing) [6]	**(3)**
Bewaring		6-8 [1]		max. 0.5 [5]		**(3)**
Opwarmen	5 [2]	15, 18-20 [3]		max. 0.5 [5]		**(3)**

Pootaardappelen						
Bewaarfase	Duur (dg)	Temp. (°C)	RV (%) [8,9]	CO2 (%)	Ventilatie [9]	Bron
Drogen				max. 0.5 [5]		
Wondheling	7-14	12-18	80-95	max. 0.5 [5]	10 m^3 lucht/24 uur/ton (luchtverversing) [6]	**(4)**
Bewaring		3-4 [4] 2-4		max. 0.5 [5]		**(4)** **(2)**
Opwarmen		10		max. 0.5 [5]		**(4)**

[1] Geleidelijk inkoelen. Het gewenste temperatuurniveau moet in de herfst eind november, begin december zijn bereikt.
[2] Opwarmen bij voorkeur langzaam in 5 dagen
[3] Geleidelijk opwarmen. Matig blauwgevoelige partijen 15°C, erg blauwgevoelige partijen 18-20°C. Aardappelen die zeer blauwgevoelig zijn, kunnen kort voor het tijdstip van aflevering worden opgewarmd.
[4] Geleidelijk inkoelen. Rassen met een erg lange kiemrust kunnen beter bij 5 °C worden bewaard.
[5] Vooral soorten gevoelig voor slechtere bakkleur
[6] Een hoge luchtvochtigheid kan worden bereikt door heel weinig te ventileren, bijvoorbeeld 1 à 2 maal per dag enkele minuten om de lucht te verversen en daarmee te voorkomen dat het CO2-gehalte in de bewaaratmosfeer teveel oploopt.
[7] Voor de bewaring van aardappelen is een capaciteit van 100 m^3 lucht per uur per m^3 aardappelen aangewezen. Als aanwezige tegendruk wordt meestal 150 Pascal gehanteerd. Deze druk bestaat enerzijds uit een statische en anderzijds uit een dynamische component. Zie verder pag. 48, 49, 58, Literat. bron **(1).**
[8] Belangrijk om partijen waar rot in zit droog te houden.
Uitdroging vindt plaats bij een RV lager dan 95% **(16)**
[9] Condensvorming voorkomen, door creëren natuurlijke trek, intern ventileren of door circulatie- of anticondensventilatoren **(1)**

Overige informatie aardappelen

Drogen
(3,4)
Een gezonde partij aardappelen die onder droge omstandigheden is geoogst, behoeft niet speciaal te worden gedroogd. Dit is wel het geval als aardappelen met veel natte grond worden ingeschuurd of als "jong ziek", natrot of "waterzakken" in de partij voorkomen.

Wanneer is buitenlucht drogend?

1. De temperatuur van de lucht is lager dan die van de aardappelen.
2. De temperatuur van de lucht is hoger dan die van de aardappelen.

Koude nachten benutten om te drogen?

Het drogend effect van lucht die kouder is dan het product, is groter naarmate het verschil tussen lucht- en producttemperatuur groter is. Het drogend ventileren met lucht die veel kouder is dan het product heeft echter het nadeel dat ook de producttemperatuur flink gaat dalen.

Lucht opwarmen?

Indien vanwege de aanwezigheid van rot of "jong ziek" in een partij, snel drogen noodzakelijk is, dan moet worden geprobeerd om - zo mogelijk - dag en nacht drogend te ventileren.

Wanneer droog?

Als de knollen en de aanhangende grond op 30 - 40 cm onder de oppervlakte winddroog aanvoelen, kan bij een gezonde partij met drogen worden gestopt. Ook als de temperatuur van de uittredende lucht gelijk is aan die van de inblaaslucht is de partij droog.

Wondheling

- Bij 12 à 18°C en 80 à 95% RV duurt wondheling 7 tot 14 dagen. Bij een knoltemperatuur van 20°C slechts 2 à 3 dagen. Onder de 10°C vindt géén wondheling plaats. **(1)**

- Bij 20°C duurt wondheling 3 tot 6 dagen, bij 10°C 7 tot 14dagen. **(2)**
- Verloopt sneller naarmate temperatuur hoger is.
- Als knollen nat zijn treedt geen wondheling op !!
  Duurt bij 10°C één tot twee weken, bij 20°C drie tot zes dagen.
  Kiemremmingsmiddelen remmen de wondheling. **(3,4)**

Bewaren **(1)**

· Geleidelijk in te koelen tot de gewenste bewaartemperatuur (0,2 à 0,5°C per dag) om snelle stijging van de reducerende suikers te voorkomen.
· De gewenste bewaartemperatuur te bepalen in functie van het ras, en de vermoedelijke uitschuurdatum (lagere bewaartemperatuur naarmate langer moet worden bewaard).

Ethyleen-gevoeligheid

(6)

Blootstelling gedurende korte perioden rust-brekend effect, langdurige / continue blootstelling remt lengtegroei spruiten (Rylski et al., 1974).
Sprout suppression was reported with ethylene concentrations at 2 and 20 ppm. In stores where fry colour was not an important quality attribute, sprout suppression was accomplished through the continuous application of ethylene, maintaining a concentration of 4 ppm (Prange et al., 1998). In commercial contract trials at BPC Sutton Bridge (Briddon, 2007), ethylene at 10 ppm controlled sprouting in three pre-pack varieties held at 3.5°C. It is not used in processing stores due to their high storage temperature and related high respiration level, requiring the store air to be refreshed twice daily to keep carbon dioxide levels down. It can however be used for seed.

The approval specifies a target ethylene concentration of 10 ppm in the store atmosphere and a minimum period between treatment and sale of 3 days. To maintain this level of concentration the store has to be very well sealed.

Table I. *Effect of Differing Concentrations of Ethylene on Rate of Sprouting of 'Russet Burbank' Potato Tubers*
The values are averages of three samples.

Treatment (3 days)	Days to 50% of Sprouting	Sprouted		
		After 20 days	Final	Rate
		%		*mean days*
Air	29	9	77	31.8
Ethylene, 0.02 µl/l	24	19	72	25.6
Ethylene, 0.2 µl/l	22	28	88	29.8
Ethylene, 2.0 µl/l	16	70	98	20.4
Ethylene, 20.0 µl/l	20	47	89	23.3

Table II. *Effect of Differing Concentrations and Duration of Ethylene Treatment on 'Russet Burbank' Potato Sprout Growth*

Treatment	Sprouts	
	Growth in length[1]	Final weight
	mm	*mg*
Control	27.5	667
2 µl/l—72 hr	8.8	619
20 µl/l—72 hr	8.1	578
2 µl/l—14 days	4.5	648
20 µl/l—14 days	4.4	595

(8)

Sprout growth stimulation and sprout growth suppression are both published effects of ethylene. However, by work demonstrating a 'dormancy breaking' effect of ethylene ..... The apparently opposing effects of ethylene (dormancy breaking and sprout suppressing properties) .... short term (72h) exposure to ethylene (in the range 0.02-20ppm) resulted in a more rapid initiation of sprouting (dormancy break) ..... All concentrations tested were effective, but sprout

initiation was most rapid after exposure to 2ppm ethylene and responses were more rapid. .... the effect of duration of exposure (to 2ppm ethylene) ..... Exposure periods as small as 8hrs were observed to significantly enhance dormancy break, but 24hrs was reported as the most effective exposure time. Importantly, continuous exposure was reported to "completely inhibit sprouting" .....
Thus, while exposure to ethylene is expected to break dormancy, maintaining tubers in an atmosphere with ethylene may also be expected to suppress sprout growth.
Effects on dormancy break were considered to have become 'saturated' with an ethylene concentration in the range 0.4-4ppm (concurring with the 2ppm observed by Rylski et al. 1974), and effects on sprout mass with ethylene in the range 4-40ppm. However, sprout elongation was not inhibited fully, except in the 400ppm treatment. It should be noted that the "saturation" concentrations mentioned, refer to data obtained. **These are likely to vary with storage temperature and cultivar**.

- Ethylene is an effective sprout suppressant of low-temperature stored potatoes.
- When ethylene control is initially enabled, this should not be set for 10ppm, which is expected to result in a rapid stimulation of respiration. Effects on respiration can be mitigated by increasing ethylene concentration gradually, when control is initially enabled.

Ethyleen-productie
- <0.1 µL kg-1 h-1 at 20 °C **(14)**
- <0.1µL kg-1 h-1 (Knee et al., 1985)). **(8)**
-

Ademhaling
- Aardappelen verademen het minst tussen 4 en 8°C. Ademhalingsintensiteit neemt sterk toe vanaf 15°C en bij temperaturen lager dan 4°C. **(1)**
- De ademhalingsintensiteit van aardappelen is het laagst bij een temperatuur van 5 - 7 °C en loopt zowel bij hogere als bij lagere temperatuur op. **(3,4)**

(6)

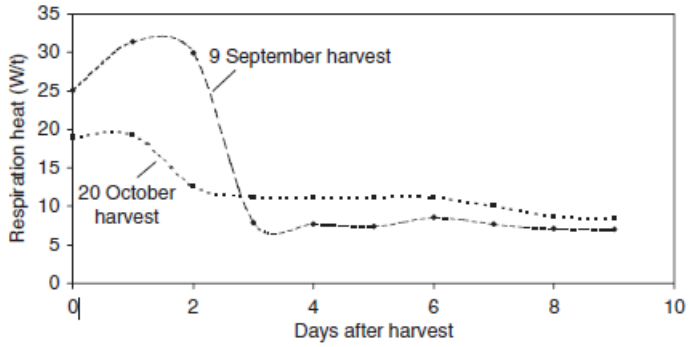


Fig. 1.16. Potato respiration in the days after harvest. (From Pringle *et al.*, 1997.)

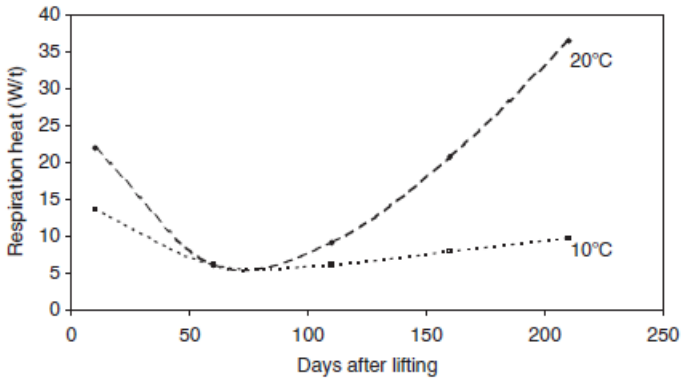


Fig. 1.17. Respiration of tubers when stored at 10°C and 20°C over a storage season. (Redrawn from Burton, 1973, assuming a respiratory quotient of 1.)

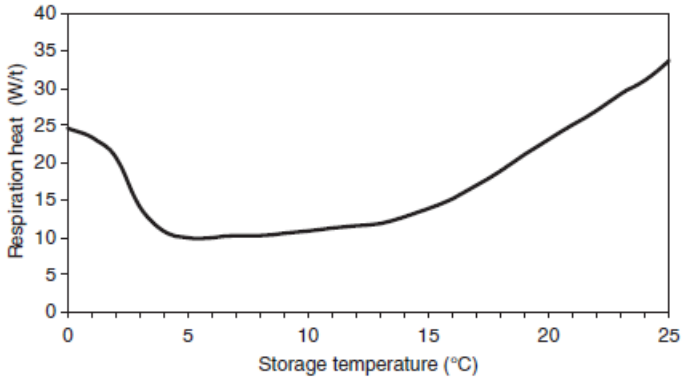


Fig. 1.18. Respiration of samples of potato tubers after about 1 month at various storage temperatures. (Redrawn from Burton *et al.*, 1955.)

gewichtsverliezen

- Gedurende de eerste maand van de bewaring 1 à 3%, voor elke daaropvolgende maand 0,5 à 0,7%. In totaal kunnen ze dus oplopen tot 6 à 8%. **(1,3)**
- Gedurende de eerste maand van de bewaring circa 2 - 4%, afhankelijk van de schildikte, voor elke daaropvolgende maand 0,5 - 0,6% per maand. **(4)**

(6)

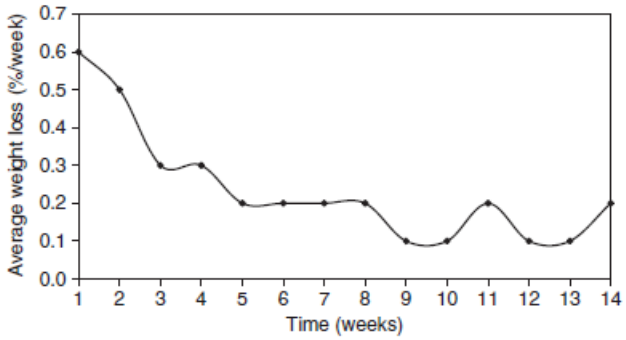


Fig. 1.22. Percentage weight loss per week over the first 14 weeks in an ambient-air cooled store. (From Pringle *et al.*, 1997.)

UIEN

Algemeen

- De bewaring van uien vindt plaats in bewaarplaatsen voorzien van buitenluchtkoeling al of niet gecombineerd met een mechanische koeling. De meeste uien worden in Nederland gekoeld met buitenlucht. Worden uien lang bewaard dan zijn de bewaarplaatsen veelal uitgerust met mechanische koeling. **(9)**. Dit komt vanwege de hogere kosten weinig voor op akkerbouwbedrijven (tot april/mei constante bewaartemperatuur van 0 tot +1°C) **(15)**
- Bewaarmethode uien en sjalotten varieert sterk afhankelijk van lokale condities **(10)**

(11)

Uien 1				
Bewaar-fase	Temp. (°C)	Opmerkingen	RV (%)	Ventilatie
Drogen	30, 20 [1]	Inblaastemperatuur continu 2 à 3°C boven producttemp. houden. Pas teruggaan in temp. als ook uien boven in box 30°C, plus 4 dg; daarna met 0.5°C/etm. naar 20°C.		
Nadrogen	20°C	Vanaf moment van inschuren 3 à 4 wk 20°C; doorgaan tot uien droog zijn: RV lucht uit uien = 65-70% (bij 20°C)		
Temp. verlaging	Zakken naar bewaartemp	Min. 1°C/wk tot ca. 0.5°C/etmaal omlaag		Ventileren met drogende lucht
Bewaring	- Buitenluchtkoeling: producttemp. niet < 6°C - Late aflevering (april/mei): 3°C - Mechan. koelcellen: 1°C			Als op temp., eerste 6 wk 8-9 hr/etm. ventileren; daarna nog 4 hr/etm. (extern of intern) ventileren

[1] 30 °C: geoogst product groenig (= op tijd gerooid) bij circa 50% afgestorven loof.
20°C: product grotendeels afgestorven op veld

Geforceerde methode (ook wel: Engelse methode) (optie).
De methode is hoofdzakelijk bedoeld voor grote, in secties verdeelde bewaarplaatsen.

- Droging bij 30°C met (minimaal) 210 m3 per m3 uien per uur bij 450Pa gedurende drie dagen.
- Sturing op een RV van 75% gedurende 12 dagen
- Geleidelijke temperatuurdaling met 2°C per week tot de gewenste bewaartemperatuur.

Ventilatie capaciteit
Minimale ventilatorcapaciteit 150 m3 lucht per m3 uien met 300 Pascal tegendruk; dit is ongeveer 30.000m³/ uur /100 ton uien. Verwarmingscapaciteit kachelcapaciteit 60.000 tot 80.000 Kcal/100 ton uien. Dit geeft een verhoging van ca 6 – 8 °C.

(9)

Uien 2				
Bewaar-fase	Temp. (°C)	Opmerkingen	RV (%)	Ventilatie
Drogen	30, 25 [1]	Drogen voortzetten totdat de uien droog zijn (temperatuur ingaande lucht gelijk aan temperatuur uitgaande lucht én halzen zijn droog.		
Temp. verlaging - fase 1	0.5°C/etmaal omlaag tot temperatuur is gemiddelde etmaal temperatuur buitenlucht	Wordt omstreeks begin november bereikt.		
Temp. verlaging - fase 2	Temperatuur geleidelijk verder verlagen: - Buitenluchtkoeling: 1°C/wk - Mechan. koeling: tempo verlaging onafh. van buitentemp.	- Buitenluchtkoeling: eind van het jaar een temperatuur van 2-3°C bereikt.		
Bewaring	- Buitenluchtkoeling: ??? - Late aflevering (april/mei): 3°C - Mechan. koelcellen: 1°C			

[1] 30°C: van perceel met regelmatige stand en geoogst bij circa 50% afgestorven loof.
25°C: van perceel met onregelmatige stand of als uien bij oogst bijna volledig afgestorven

Bewaring algemeen
De bewaring van uien vindt plaats in bewaarplaatsen voorzien van buitenluchtkoeling al of niet gecombineerd met een mechanische koeling. De meeste uien worden in Nederland gekoeld met buitenlucht. Worden uien lang bewaard dan zijn de bewaarplaatsen veelal uitgerust met mechanische koeling.

Gewichtsverlies na droging
Bij oogst op het aangegeven oogsttijdstip: gewichtsverlies aan vocht circa 8-10%.

Zakken temperatuur / nadrogen: *'0,5 °C per dag'-methode*
In het verleden werd condensvorming voorkómen door circa drie weken continu te ventileren. De lucht wordt dan constant ververst. Ivm. energieverbruik is in het onderzoek gezocht naar een andere methode. Deze is gevonden in de *'0,5 °C per dag'-methode*. Hierbij wordt de aanwezige lucht regelmatig vervangen door drogere, koudere, buitenlucht in te blazen. Deze koudere lucht wordt door het product opgewarmd, waardoor het meer vocht kan bevatten. Dit kan wanneer de producttemperatuur hoger is dan de temperatuur van de buitenlucht. Methode waarbij de temperatuur geleidelijk daalt met een halve graad per dag. Volgens deze methode zal omstreeks week 44 (begin november) met de '0,5°C per dag-methode' de gemiddelde etmaal temperatuur van de buitenlucht zijn bereikt.
De 0,5° Celsius-methode heeft de laatste jaren bewezen een goede en goedkope bewaarmethode te zijn.

Overige info uien

Drogen
- ± 6 wk 28°C; hoge flow rate lucht; met tussenpozen ventileren **(10)**
- Duurt 7-10 dagen. Mechanisch drogen: 30°C, 60-75% RV, 150 m^3.h-1.m-3. **(12)**
- Veld: temp. min. 24°C; geforceerd: 12 hr 30-45°C; 75-80% RV **(13)**
- Met verwarmde buitenlucht van ca. 25°C. Totdat temperatuur in bovenste laag uien gelijk is aan temperatuur inblaaslucht.
  Vervolgings nadroging door ventilatie met buitenlucht, waarbij verlaging van de temperatuur in de partij moet worden nagestreefd. Nadroging tot moment halzen van de uien door wrijving tussen duim en wijsvinger niet meer rollen. **(15)**

Afkoelen tot bewaartemperatuur
- Buitenluchtkoeling: geleidelijk
  Mechanische koeling: 1°C/dg
  RV 65-75% **(10)**
- Temperatuur product terugbrengen tot optimale bewaartemperatuur 0 - +1°C.
  Na droogperiode ventileren zodra buitentemperatuur tenminste 2°C lager is dan producttemperatuur.
  In ons klimaat is het niet mogelijk om de gewenste bewaartemperatuur de eerste maand na de oogst al te bereiken. Onder Nederlandse omstandigheden is het veelal mogelijk de volgende bewaartemperaturen te realiseren:
  - *eind oktober : 8-10°C*
  - *eind november : 4- 6°C*
  - *eind december : 1- 3°C.*

  Blijft de buitentemperatuur gedurende een langere periode (bijvoorbeeld een week) hoger dan de temperatuur in de bewaarplaats, dan moet gedurende kortere perioden intern worden geventileerd. Hiermee worden grote temperatuursverschillen in het product voorkomen. Meestal zal een ventilatieperiode gedurende vijf uur per week daarvoor wel voldoende zijn. **(15)**

Bewaring
- 0°C; 70-75% RV; 'regular' ventilate; gedurende 1 wk ' high air speed'. **(12)**
- 0°C; 65-70% RV; ventilatie1 m3/min/m3 **(13)**
- 0 - +1°C **(15)**

Ventilator
- Minimale capaciteit van 150 m3 lucht per uur per m3 uien bij een statische druk van 300 Pa **(15)**

Gewichtsverlies
- 3-5% bij droging met omgevingslucht; tot 10 % bij mechanische droging. **(12)**

Ethyleengevoeligheid
- a continuous supply of ethylene to suppress sprouting of stored onions and potatoes (10 µL L−1 and 4 µL L−1 respectively). Continuous ethylene treatment (10.6 µl L−1) for 4 or 9 months storage at 18°C delayed 50% initial sprouting by 1 or 2 weeks respectively. **(10)**

Ethyleenproductie
- <0.1 µl/kg/hr bij 0-5°C **(13)**
- <0.1 µL/kg/hr bij 20 °C **(14)**

Ademhaling

- 3-4 ml/kg/hr at 0-5°
  27-29 ml/kg/hr at 25-27°C **(13)**

Temp. (°C)	*Ademhaling (mg CO2/kg/h)*
0	3
5	5
10	7
15	7
20	8

  Data from Robinson et al. (1975) **(14)**

Bewaarmethode uien en sjalotten varieert sterk afhankelijk van lokale condities **(10)**

SJALOTTEN

(17)

Uien 1				
Bewaar-fase	**Temp. (°C)**	**Opmerkingen**	**RV (%)**	**Ventilatie**
Drogen	30	Totdat temp. uitgaande lucht = temp.; meestal na 3 à 4 dagen		Ventilator met luchtverplaatsing van min. 150 m3 per uur per m3, tegendruk 300 Pa
Nadrogen				1 à 2 weken continu met buitenlucht ventileren
Temp. verlaging	Producttemp. geleidelijk naar 8°C			Ventileren met lucht die kouder is dan producttemp (ivm voorkomen condensvorming). I.g.v. luchtkoeling: temp. buitenlucht min. 3°C temp. product. [1]
Bewaring	Buitenl. koeling: 8°C ? Mechan. koeling: 0°C		70 %	

[1] Temperatuur in bewaarplaats moet geleidelijk verlaagd worden. Hierbij mag de producttemperatuur niet onder de gemiddelde dagtemperatuur voor betreffende tijd van het jaar gebracht worden, zodat ventileren met buitenlucht meesten tijds mogelijk blijft.

(10)

Drying phase
Temperature is gradually raised to 35°C; RH 70% by an increase in the amount of air recirculated within the store from 50% to 90% over time. This phase is considered complete: difference in temperature between air entering and leaving the store is not more than 1°C to 1.5°C.

Phase of controlled heating: 35–36°C for four days; RH at >70%.

Cooling phase
Temperature gradually lowered by adding more cool and dry external air until a low temperature is reached. If no refrigeration is possible, it is important to limit ventilation to times when the outside air temperature is more than 2°C and the air is reasonably dry (<90% RH).

If refrigerated storage is to be used, it is advisable to dry the bulbs rapidly and place the bulbs into the cold store as soon as possible after harvest, and in any case within ten days of lifting. The temperature is first brought down by ventilation with cool outside air, then further by adding refrigeration, until the bulbs reach a temperature of 0°C or better still, –2°C, provided that the temperature controls are very precise and also reliable. At this temperature, the air RH should be maintained at 70% and the air should be changed at least once per day. Such a regime should allow shallots to be kept from autumn to May with losses of around 8% (rather than of 70–75% as would be expected from using ordinary ambient storage). With forced ventilation but no refrigeration, shallots can be kept until only February-March without sprouting. After storage, the shallot bulbs are if necessary separated, trimmed and graded before being packed for sale (Messiaen et al. 1993).

Literatuurbronnen

1. Aardappelbewaring, constructie en bewaarproces. Praktijkgids voor bewaring van consumptieaardappelen.
2. Chris Bishop, Debbie Rees, Muhammad U. A. Cheema, Glyn Harper and Graeme Stroud. *Crop Post-Harvest: Science and Technology,* 16 Potatoes. 334-359
3. A. Veerman. PPO-AGV. Teelthandleiding consumptieaardappelen – bewaring. In: Kennisakker
4. C.B. Bus. PPO-AGV. Teelthandleiding consumptieaardappelen – bewaring. In: Kennisakker
5. J. Willemse. Bewaring aardappelen: condens en CO2. In: Kennisakker
6. Bob Pringle, Chris Bishop, Rob Clayton. Potatoes postharvest
7. IRENA RYLSKI,2 LAWRENCE RAPPAPORT, AND HARLAN K. PRATT. Dual Effects of Ethylene on Potato Dormancy and Sprout Growth. Plant Physiol. (1974) 53, 658-662
8. Research Review. The use of ethylene for sprout control
9. R.C.F.M. van den Broek - PPO-AGV. Teelthandleiding zaaiuien - drogen en bewaren. In: Kennisakker. 2003
10. Onions, Shallots and Garlic. Lesley Currah, Katherine Cools and Leon A. Terry. 2012
11. Uien drogen en bewaren. Agratechniek b.v.. ?
12. ONION Post-harvest Operations. FAO. 2003
13. Onions, Dry: Recommendations for Maintaining Postharvest Quality (California). 1996.
14. Agriculture Handbook Number 66 DRAFT. ?
15. Teelt van zaaiuien. 1985. Teelthandleiding. AGV, Stichting Nederlandse uien-federatie. **1985.**
16. De kracht van bewaren. Akkerwijzer, Omnivent
17. Teelt van sjalotten. Teelthandleiding. PAV. 1998

Bijlage 3: Luchtverdeling bij kistenbewaarsystemen

Inhoudsopgave pagina

SAMENVATTING 41

1 INLEIDING 42

2 WERKWIJZE 43

3 RESULTATEN 45
3.1 Bedrijf 1 45
3.2 Bedrijf 2a 46
3.3 Bedrijf 3 47
3.4 Bedrijf 4 48
3.5 Bedrijf 5a 49
3.6 Bedrijf 6 51
3.7 Bedrijf 5b en 2b 52
3.8 Synthese 54

4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN 55

Samenvatting

Uit onderzoek aan de bewaring van bloembollen is gebleken dat tot 80% energiebesparing mogelijk is, terwijl de productkwaliteit verbeterd wordt. Met relatief eenvoudige aanpassingen zijn een gelijkmatiger luchtverdeling over de kuubskisten waar de bollen in bewaard worden te realiseren. Hierdoor kunnen de ventilatoren teruggetoerd worden. Door het 3de machtsverband tussen toerental en energieverbruik wordt dan al snel veel energie bespaard.

Kistenbewaring wordt bij pootgoed- en consumptie aardappelen, en ook bij uien, steeds gangbaarder. Om ook bij deze systemen de luchtverdeling te verbeteren is bij 6 bedrijven die aardappelen en/of uien bewaren de luchtverdeling doorgemeten en in kaart gebracht. Bewaring vindt vooral plaats in 2-rijensystemen, namelijk blazend of zuigend, maar ook in éénlaagssystemen.

De zuig- en de blaassystemen hebben beide hun onregelmatigheden:

Bij het zuigsysteem krijgen de kisten het dichtst bij de wand de meeste lucht en de kisten in het midden het minst. Ook de kisten in de bovenste laag krijgen veel minder dan gemiddeld, maar vooral juist de kisten dicht bij de wand. Dit laatste moet geverifieerd worden door ter hoogte van de betreffende kisten ook de verticale luchtsnelheid te meten.

Bij het blaassysteem krijgen de kisten het verst van de wand de meeste lucht. De kisten het dichtst bij de wand, vooral de bovenste lagen, krijgen het minst. De verschillen tussen de meest en de minst beluchte kist lijken groter dan bij het zuigsysteem.

Omdat bij het blaassysteem aan de turbulente kant van de ventilator in de luchtroom wordt gemeten, en bij zuigsystemen aan de andere kant van de ventilator (in de gelijkmatigere luchtstroming) kan dit een vertekend beeld geven. Een belangrijke aanbeveling is daarom om enkele metingen bij het blaassysteem te herhalen, nu niet in de gang tussen de twee rijen, maar in de gang tussen twee dubbele rijen, daar waar de lucht uit de kisten treedt.

De ventilatorstand heeft geen invloed op de verticale en horizontale spreiding in debiet per kist.

De luchtverdeling bij het blazende 2-rijensysteem zal op een andere manier verbeterd moeten worden dan bij het zuigende systeem. Bij dit laatste systeem kan b.v. gedacht worden aan permeabele zeilen die vanaf de 5de of 4de laag aan de buitenkant van de eerste 4 kisten afhangen. Bij blazende systemen zouden deze zeilen *in* de gang aan het eind gehangen moeten worden, en/of misschien zijn schansstructuren in de uitblaasopening mogelijk om de bovenste laag meer debiet te geven.

Met behulp van CFD-berekeningen kunnen de eerste stappen naar verbeteringen worden nagegaan, en ook wat de invloed is van het soort product in de kist, en van de breedte en hoogte van de openingen in de ventilatorwand.

De volgende stap is dan om de meest praktische aanpassingen op de bedrijven te testen en de ontwerpen te verbeteren.

Het resultaat zal zijn dat met lagere ventilatorstanden hetzelfde bereikt wordt als nu met hogere ventilatorstanden. Door het 3de machtsverband tussen toerental en energieverbruik zal het energieverbruik van de ventilatoren fors afnemen. De extra warmte die deze ventilatoren bij hoge ventilatorstand produceren hoeft dan niet teruggekoeld te worden zodat er ook energie bij het koelen bespaard wordt. Daarnaast zal het product in de kisten die eerst een forse overmaat aan lucht kregen nu minder uitdrogen.

1 Inleiding

Uit onderzoek van PPO aan de bewaring van bloembollen is gebleken dat tot 80% energiebesparing mogelijk is, terwijl de productkwaliteit verbeterd wordt. Met relatief eenvoudige aanpassingen is een gelijkmatiger luchtverdeling over de kuubskisten waarin de bollen bewaard worden te realiseren. Hierdoor kunnen de ventilatoren teruggetoerd worden. Door het 3de machtsverband tussen toerental en energieverbruik wordt dan al snel veel energie bespaard.

Als gevolg van een andere dimensionering, andere producteigenschappen en andere kwaliteitseisen, kunnen deze aanpassingen niet zonder meer gekopieerd worden naar andere bewaarsystemen met producten als aardappelen en uien. Deze producten worden bewaard in éénlaagssystemen vergelijkbaar met bloembollen, in 2-rijensystemen in lattenkisten waar de lucht door wordt geblazen *of* gezogen, of los gestort bewaard.

Kistenbewaring wordt bij pootgoed en consumptie aardappelen, en ook bij uien, steeds gangbaarder. Om bij deze systemen de luchtverdeling te verbeteren is bij 6 bedrijven die aardappelen en/of uien bewaren de luchtverdeling in de verschillende bewaarsystemen doorgemeten.

Op basis van de resultaten en met behulp van CFD-modellering kan vervolgens gericht naar aanpassingen van de systemen gezocht worden.

De hoofddoelstelling van dit onderzoek is het verbeteren van de energie-efficiëntie van de verschillende bewaarsystemen terwijl kwaliteit tegen zo laag mogelijke kosten gewaarborgd blijft. Het beoogde resultaat is dat:

- met lagere ventilatorstanden hetzelfde bereikt wordt als nu met hogere ventilatorstanden. Door het 3de machtsverband tussen toerental en energieverbruik zal het energieverbruik van de ventilatoren fors afnemen.
- de extra warmte die deze ventilatoren bij hoge ventilatorstand produceren dan niet teruggekoeld hoeft te worden zodat er ook energie bij het koelen bespaard wordt.
- het product in de kisten die eerst een forse overmaat aan lucht kregen minder uitdrogen.

2 Werkwijze

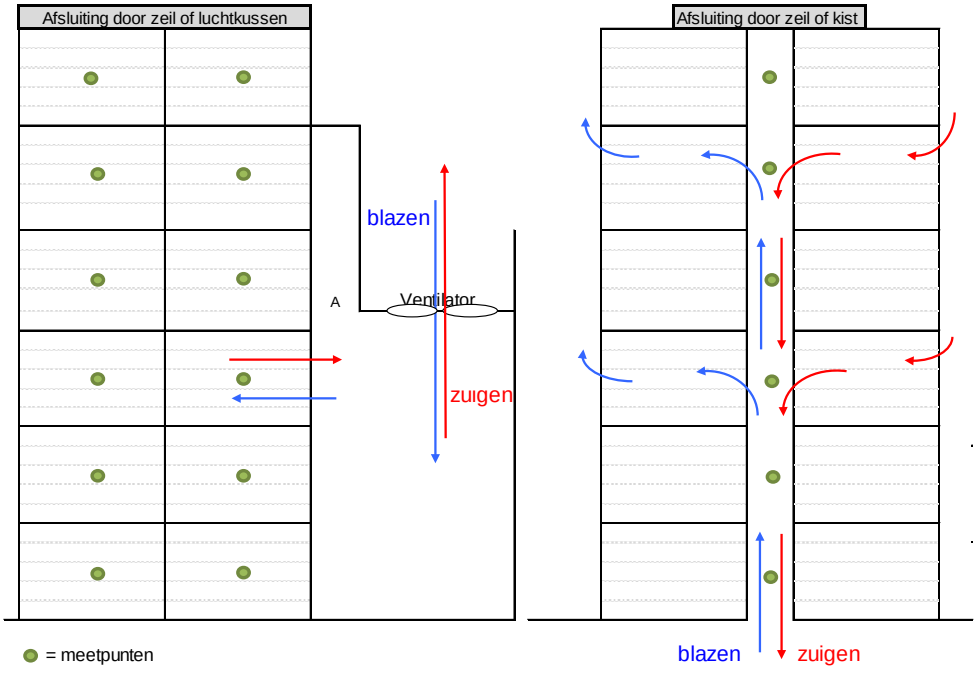
Op 6 bedrijven waar aardappelen en/of uien (of sjalotten) worden bewaard, zijn in de kistenstapeling de luchtsnelheden gemeten. Op deze bedrijven worden 3 bewaarsystemen toegepast, tabel 1: aardappelen en/of uien in z.g. lattenkisten die in 2 rijen opgesteld staan (foto 1 en figuur 1) en waartussen de lucht geblazen, of gezogen wordt, *of* z.g. éénlaags systemen met dichte kisten die vanuit het palletkanaal via de doorlaatbare bodem doorgeblazen worden, gelijk aan de éénlaagssystemen in de bloembollensector (foto 2 en figuur 2).

Tabel 1: Bewaarsystemen en afmetingen (cm) op de verschillende bedrijven.

		systeem		kisten			uitblaasopening		
	inhoud			pallet	diepte	hoogte	breedte	hoogte	ventilator
				cm	n	m	cm	cm	cm
Bedrijf 1	Grote uien, ongesorteerd	zuigen	2-rijen	9,5	17	6	40	700	300
Bedrijf 2a	fijne Sjalotten met veel spul	zuigen	2-rijen		15	4 - 5	50	575	
Bedrijf 3	aardappels (cons + ptgd)	zuigen	2-rijen		22	6	64	575	
Bedrijf 4	aardappels consumptie	zuigen	2-rijen		15	6	30	440	300
Bedrijf 5a	uien	blazen	2-rijen		17	6	70	430	
Bedrijf 6	aardappels consumptie	blazen	2-rijen		18	6	65	527	
		zuigen	2-rijen		18	6	65	527	
Bedrijf 2b	Sjalotten	blazen	1-laags	14	9	6	nvt	schuine wand	
Bedrijf 5b	plantuitjes (zeer fijn)	blazen	1-laags	14	11	6	nvt	schuine wand	

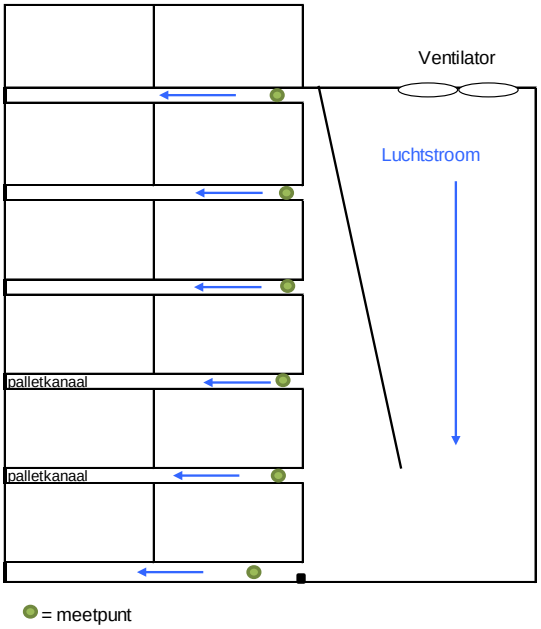
Afmeting van de kisten (cm): 123 x 160 x 120 (h x b x d)

Foto 1



Figuur 1: Zij-aanzicht (links) en bovenaanzicht (rechts) van het 2-rijensysteem.

Foto 2



Figuur 2: Schematische voorstelling van een éénlaagsysteemwand.

In de figuren 1 en 2 zijn ook schematisch de punten aangegeven waar de luchtsnelheid met de hittedraadmeters gemeten is. In het 2-rijensysteem is ter hoogte van het midden van elke kist in de gang tussen de rijen per meetpunt en per meting rond de 5 minuten gemeten, waarbij elke 15 seconden het gemiddelde van 3 metingen werd gelogd. De gemiddelde luchtsnelheid over de meetperiode is per meetpunt per laag grafisch uitgezet tegen het aantal kisten voor de ventilatorwand. Hoe kleiner het verschil in luchtsnelheid tussen twee opeenvolgende kisten (de lijn loopt dan bijna horizontaal), hoe kleiner het debiet (m3/uur per kist). Hoe groter dat verschil (de lijn loopt dan erg steil) hoe groter het debiet. De lijn die de meetpunten per laag verbindt kan in de grafiek worden vergeleken de lijn die de luchtsnelheid aangeeft die zou zijn gemeten als door elke kist precies evenveel lucht zou gaan.

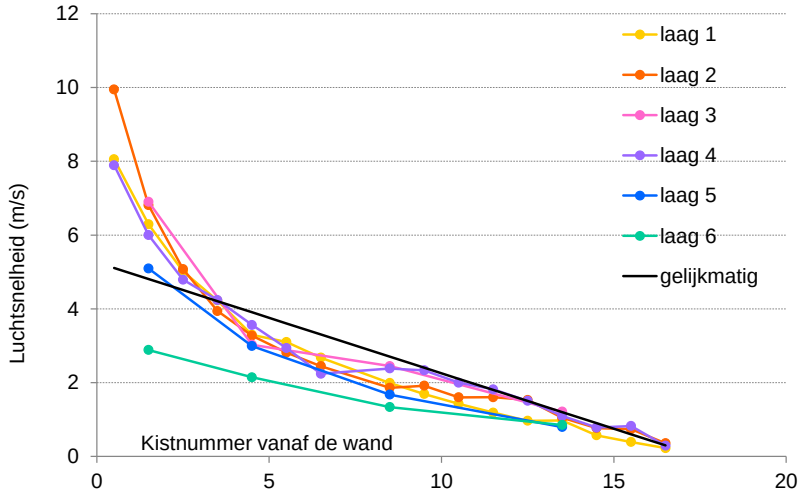
In de éénlaagssystemen is in de uitblaasopening gemeten en in één geval ook ter hoogte van de 6de en de 8ste kist in het palletkanaal.

Per bedrijf is het bewaarsysteem kort beschreven en zijn de resultaten van de metingen gepresenteerd. Vervolgens is een vergelijking tussen de 3 bewaarsystemen gemaakt.

3 Resultaten

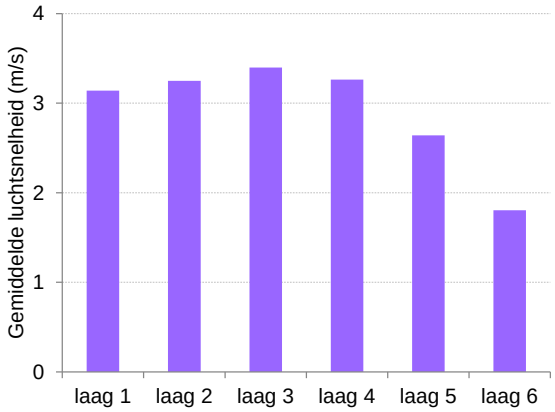
3.1 Bedrijf 1

Op bedrijf 1 werden nog ongesorteerde grote uien bewaard in lattenkisten, 17 diep x 6 hoog gestapeld in 2 rijen in een zuigsysteem. In de gang tussen de twee rijen is de luchtsnelheid gemeten halverwege elk van de 17 kisten, met uitzondering van kist 8, en op alle kisthoogtes, m.u.v. laag 3, 5 en 6. Van deze laatste lagen is alleen gemeten bij kist 2, 5, 9 en 14.
De metingen zijn uitgevoerd bij een ventilatorinstelling van 75%. In figuur 3 is per laag de luchtsnelheid uitgezet tegen het kistnummer (geteld vanaf de drukwand). De zwarte lijn in deze figuur geeft aan wat de luchtsnelheid zou zijn indien uit elke kist evenveel lucht komt.



Figuur 3: Gemeten luchtsnelheid in de gang tussen 2 rijen.

Vergelijking met deze lijn laat zien dat de kisten die het dichtst bij de drukwand (kist nr. 1 t/m 4) staan veel meer lucht krijgen dan de kisten in het midden en verderop in de stapeling, met uitzondering van de kisten in de 6de laag. Gemiddeld krijgen de kisten in laag 1 t/m 4 ongeveer evenveel lucht, maar laag 5 en vooral laag 6 krijgt fors minder, figuur 4. De verticale spreiding in luchtsnelheid (de maximale afwijking rond het gemiddelde) over de 6 lagen was 27%, de horizontale spreiding over de 17 kisten (kolommen) was 51%.



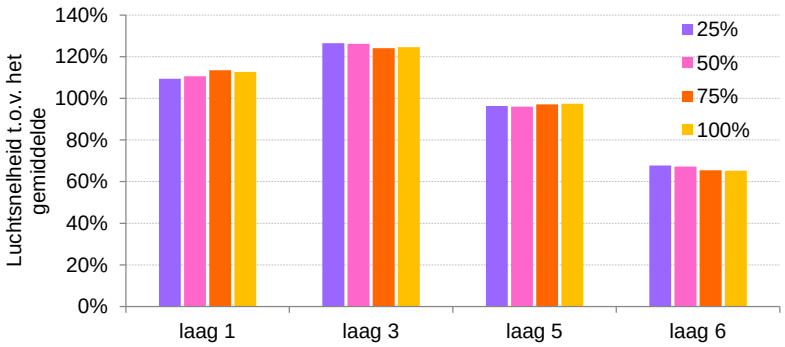
Figuur 4:Gemiddelde luchtsnelheid per laag.

Ter demonstratie is bij enkele meetopstellingen ook de ventilatorinstelling veranderd, tabel 2 en figuur 5:

Tabel 2: Gemiddelde luchtsnelheid per laag en spreiding over lagen per ventilatorstand

Ventilatorstand	Gemiddelde luchtsnelheid (m/s)					Spreiding
	laag 1	laag 3	laag 5	laag 6	gem	
25%	1,87	2,16	1,65	1,16	1,71	29%
50%	2,35	2,68	2,04	1,43	2,13	30%
75%	3,03	3,32	2,59	1,75	2,67	29%
100%	3,29	3,64	2,85	1,91	2,92	30%

De tabel laat duidelijk zien dat de spreiding over deze vier lagen onafhankelijk is van de ventilatorstand (lees toerental). Door laag 3 stroomt de meeste lucht, door laag 6 het minst en dit verandert niet door de ventilator op- of terug te toeren.



Figuur 5: Relatieve luchtsnelheid per laag per ventilatorstand

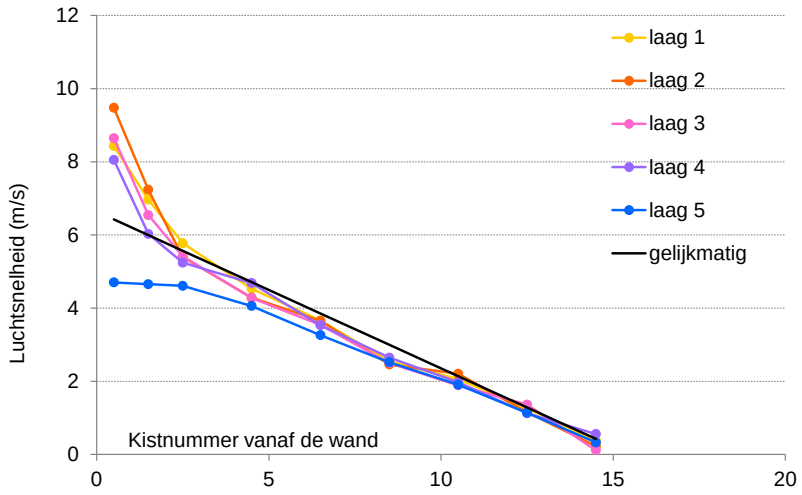
Samenvattend:
- de kisten het dichtst bij de wand krijgen veel meer lucht dan gemiddeld,
- de kisten in het midden en verder van de wand krijgen minder dan gemiddeld.
- laag 6 krijgt het minste,
- ongeacht de ventilatorstand

3.2 Bedrijf 2a

Op Bedrijf 2 werden fijne sjalotten met veel terra, dode wortels en bladeren (foto 3) bewaard. Dit geeft veel meer weerstand dan de grote uien op Bedrijf 1. De sjalotten werden bewaard in lattenkisten, 15 diep in 2 rijen gestapeld. In de schuur stonden 5 x 2 rijen, waarbij de twee buitenste dubbele rijen 4 kisten hoog en de overige 5 hoog waren gestapeld. Ventilatie vindt plaats d.m.v. met een zuigsysteem. Er is gemeten in de gang tussen de 2 middelste rijen, bij kist nr. 1, 2, 3, 5, 7, 9, 11, 13 en 15 op alle laaghoogtes. Tot slot is ook in elk van de 5 uitblaasopeningen gemeten om na te gaan wat het effect van de hoogte van de stapeling (4 of 5 hoog) op het debiet per kist is.

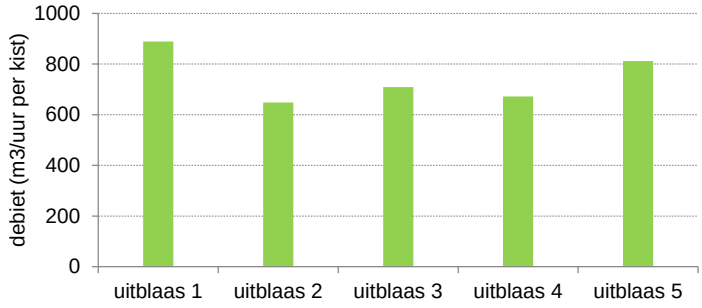
Foto 3

Het resultaat van de metingen in de gang is samengevat in figuur 6. Hierin geeft de zwarte lijn weer aan hoe de luchtsnelheid zou zijn geweest indien uit elke kist evenveel lucht zou komen en geven de gekleurde lijnen de metingen weer op de verschillende kist- en laaghoogtes. Vanaf de drukwand tot de 4de of 5de kist is er een fors verschil tussen de 5de laag en de andere lagen. Ook krijgen de eerste 2 - 3 kisten in de onderste 3 lagen duidelijk meer lucht dan de andere kisten. Vanaf de 3de – 5de kist is de luchtverdeling over de kisten echter zeer gelijkmatig. De verticale spreiding over de 5 lagen was slechts 13%. De horizontale spreiding over de 15 kisten (kolommen) was 25%.



Figuur 6: Gemeten luchtsnelheid in de gang tussen 2 rijen.

De metingen in de uitblaasopeningen van de 5 dubbele rijen gaven luchtsnelheden van 9,5 tot 10,9 m/s, wat met een oppervlak van de uitblaasopening van 0,5 x 5,74 = 2,87m^2 tot een gemiddeld debiet van 106.500 m3/uur optelde. Gemiddeld per kist per dubbele rij levert dat rond de 700 m3/uur per kist op. De kisten in de 4 hoog gestapelde rijen krijgen de meeste lucht, figuur 7.



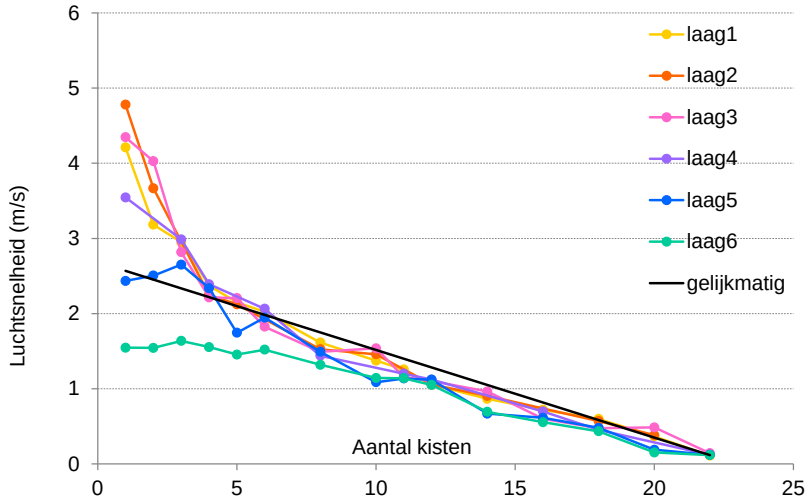
Figuur 7: Gemiddeld debiet per kist per uitblaasopening

Samenvattend:
- op de eerste 3 kisten na is het debiet per kist en per laag gelijkmatig verdeeld
- vooral de eerste 3 kisten in de 5de (bovenste) laag krijgen het minste lucht
- De 4 hoog gestapelde rijen krijgen per kist meer lucht dan de 5 hoog gestapelde rijen.

3.3 Bedrijf 3

Bedrijf 3 bewaart consumptieaardappelen en pootaardappelen in lattenkisten die in 2 rijen x 6 hoog x 22 diep gestapeld zijn. De aanzuigopening is 64 cm breed. Er is gemeten bij *alle* kisten van laag 1, 3, 5 en 6. Van laag 2 is *niet* gemeten bij de kisten 3, 6, 11, 16 en 22; van laag 4 is *niet* gemeten bij kist 2, 5, 10, 14 en 20.
Alle metingen zijn gedaan bij een ventilatorstand van 100%, 75% en 30%. De metingen bij de ventilatorstand van 100% zijn samengevat in figuur 8. De metingen laten zien dat de eerste 4 kisten in de onderste 4 lagen

fors meer lucht krijgen dan de overige kisten. De kisten in laag 6 en laag 5 krijgen juist veel minder lucht en ook de kisten verder dan kist 10 krijgen minder dan gemiddeld.



Figuur 8: Gemeten luchtsnelheid in de gang tussen 2 rijen.

De metingen bij de ventilatorstanden van 75% en 30% laten hetzelfde beeld zien, maar dan bij lagere gemiddelde luchtsnelheden, tabel 3. De verticale spreiding over de lagen blijft vrijwel hetzelfde en ook de horizontale spreiding over de kisten is bij de verschillende ventilatorstanden van dezelfde orde.

Tabel 3: Gemiddelde luchtsnelheid (m/s) en spreiding hierin over lagen en kisten

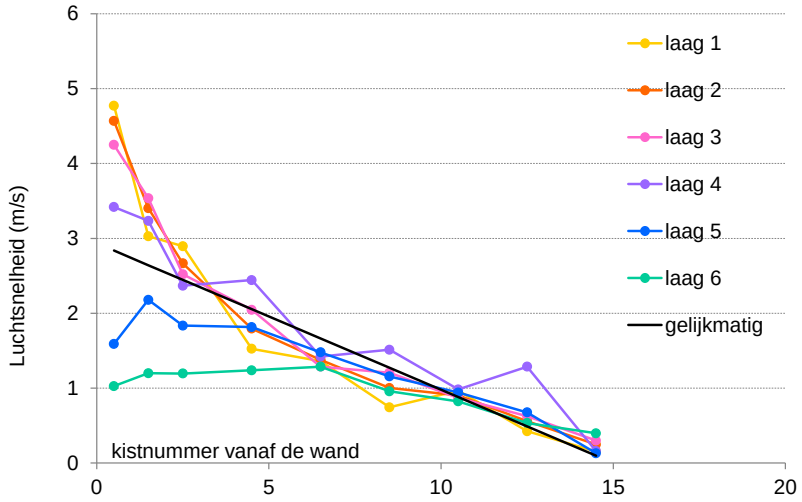
ventilator stand	gemiddelde luchtsnelheid	spreiding over lagen	spreiding over kisten
100%	2,23	27%	23%
75%	1,97	27%	32%
30%	1,41	25%	33%

De tabel laat ook zien dat de gemiddelde luchtsnelheid recht evenredig met de ventilatorstand is, en dat bij 0% de ventilator op 25 Hz (half-toeren) draait.

Samenvattend:
- ook bij deze kistenstapeling krijgen de eerste 4 kisten de meeste lucht
- tot/met de 10de kist krijgt de 6de (bovenste) laag het minst
- de spreiding is onafhankelijk van de ventilatorstanden

3.4 Bedrijf 4

Ook op Bedrijf 4 worden consumptieaardappelen bewaard in lattenkisten. Deze zijn in 2 rijen gestapeld x 6 hoog x 15 diep en worden door een zuigsysteem geventileerd. De opening in de ventilatorwand is minder hoog, nl. 440 cm en erg smal, 30 cm. Hierdoor moesten de luchtsnelheidsmeters op een andere manier aan de latten geschroefd worden om toch in het midden van de gang te kunnen meten.
Er is gemeten op alle lagen ter hoogte van kist 1, 2, 3, 5, 7, 9, 11, 13 en 15, alsmede *in* de opening in de ventilatorwand.
De resultaten van de metingen zijn samengevat in figuur 8, en laten zien dat het stromingspatroon iets grilliger is dan bij de andere systemen, mogelijk gerelateerd aan de smalheid van de gang. Tot en met de 6de kist vanaf de ventilatorwand is er een groot verschil in debiet tussen de onderste 4 lagen en laag 6, en



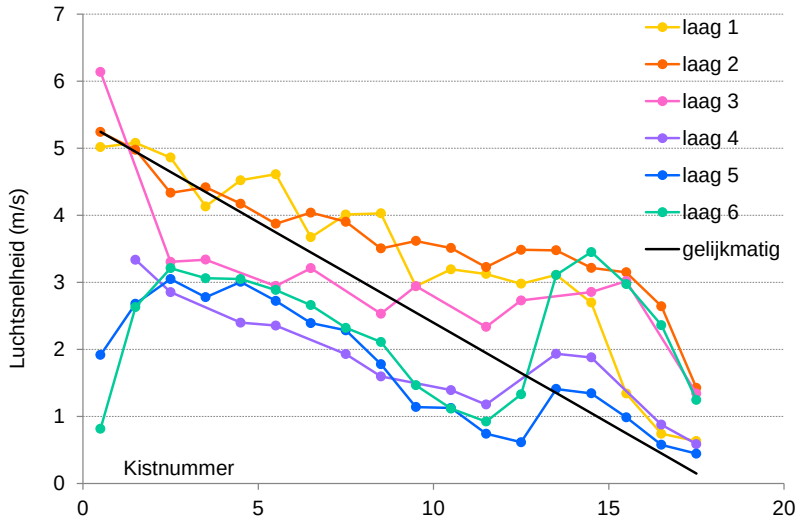
Figuur 9: Gemeten luchtsnelheid in de gang tussen 2 rijen.

tot en met de 3de kist ook met laag 5, met als waarschijnlijke achtergrond dat de opening in de ventilatorwand niet hoger is dan 4,4 meter, *plus* dat er geen extra ruimte zit tussen de wand boven de ventilatoren en de kistenstapeling, zie het schema in figuur 2, waar in dit geval A=0.
De verticale spreiding over de gemiddelde waarden per laag was 29%, de horizontale spreiding over de kisten was 21%.

Samenvattend:
- t/m de 6de kist is er een groot verschil in debiet tussen laag 5 + 6 en 1 t/m 4.
- achtergrond hierbij is de beperkte hoogte van de aanzuigopening

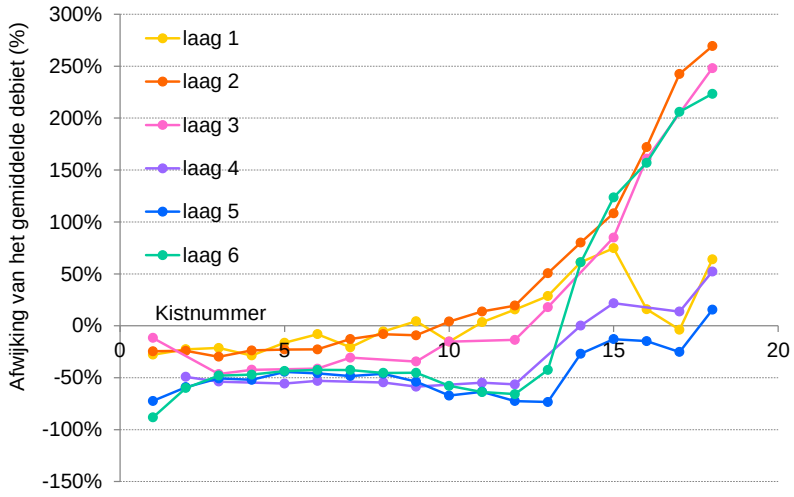
3.5 Bedrijf 5a

Op Bedrijf 5 worden o.m. uien in lattenkisten met het 2-rijen systeem bewaard. Deze worden 18 diep x 6 hoog gestapeld en de kisten worden aangeblazen i.p.v. aangezogen. De uitblaasopening van de ventilatorwand is relatief breed, 70 cm, en hoog, nl. 670 cm. De ruimte tussen de 2 rijen bovenin de stapeling wordt afgesloten met een luchtkussen en aan het eind van de gang door een extra kist.
In laag 1, 2, 5 en laag 6 is op alle kistposities gemeten, in laag 3 *niet* bij kist 2, 5, 8, 11, 14 en 17, en in laag 4 *niet* bij kist 1, 4, 7, 10, 13 en 16. De resultaten zijn samengevat in figuur 10:



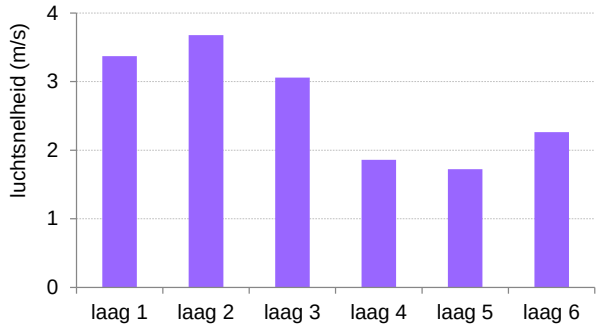
Figuur 10: Gemeten luchtsnelheid tussen de 2 rijen.

Vergeleken met de zuigsystemen valt op dat de verschillen tussen lagen fors groter zijn en dat het patroon in luchtsnelheden grilliger is. In figuur 11 is per meetpunt de afwijking van het gemiddelde debiet uitgezet. Bij instroom tussen de rijen is het gemiddelde debiet bij de kist berekend door de luchtsnelheid te delen door het aantal kisten wat *na* het meetpunt in de rij staat. Verder naar het eind van de stapeling blijkt dan dat het debiet fors toeneemt.



Figuur 11: Spreiding in debiet over de kisten vanaf de wand

De gemiddelde luchtsnelheid per laag is samengevat in figuur 12. De meeste lucht gaat door laag 2, door laag 5 het minst. De gemeten luchtsnelheid bij laag 6 is weer iets hoger, maar dit leidt vermoedelijk niet tot een hoger debiet, omdat het luchtkussen ook een deel van de spleten in de kist afdekt.



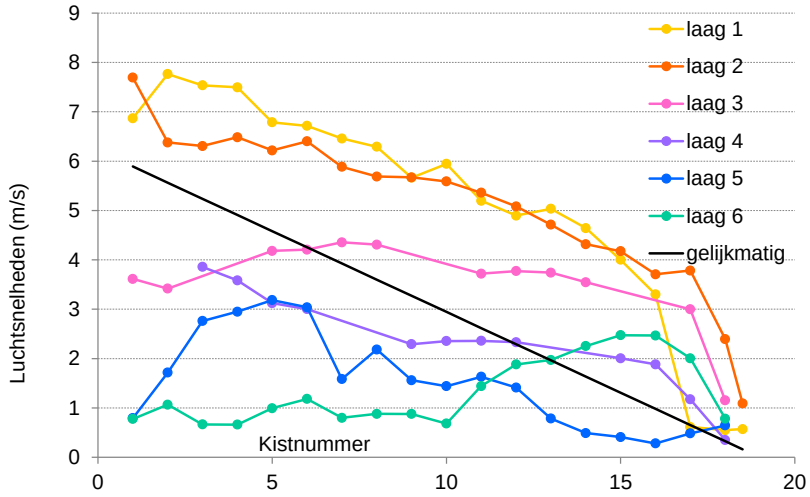
Figuur 12: Gemiddeld luchtsnelheid per laag

Gemeten bij een ventilatorstand van 100% was de horizontale spreiding in luchtsnelheid over de kisten 95%, de verticale spreiding over de lagen (berekend met *alle* kisten per laag) 37%. Vanaf kist 7 is er ook gemeten bij een ventilatorstand van 50%. De spreiding over de lagen *vanaf* kist 7 was bij 100% en bij 50% in beide gevallen 45% (de meeste spreiding zit na kist 7).

Samenvattend:
- De luchtstroom is in dit systeem grilliger
- er is een groot verschil tussen de lagen
- tot kist 10 krijgen alle lagen, maar vooral laag 4 t/m 6, minder lucht dan gemiddeld
- na kist 12 krijgen vooral laag 1 en 2 (maar ook laag 6) veel meer lucht dan gemiddeld

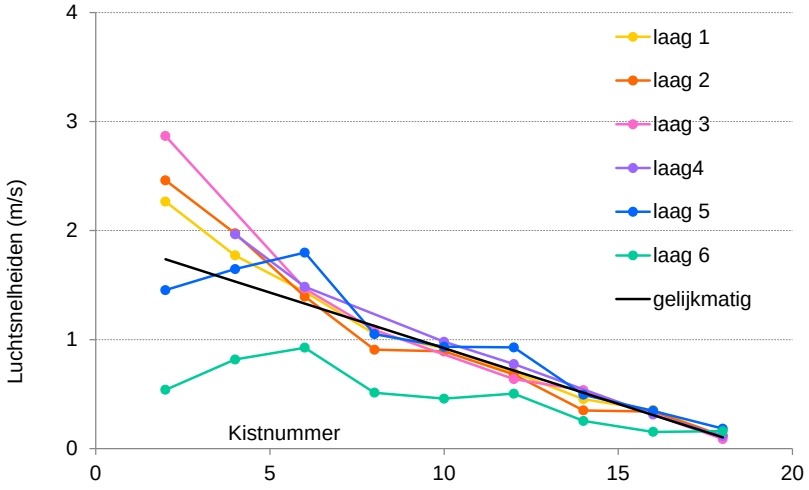
3.6 Bedrijf 6

Op bedrijf 6 worden aardappels bewaard in lattenkisten, die in 2 rijen x 6 hoog x 18 diep zijn gestapeld en aangeblazen worden. De rijen zijn zo gestapeld dat de gang vanaf de wand iets taps toeloopt: de uitblaasopening van de wand is 65 cm breed en aan het eind van de stapeling is de breedte van de gang 47 cm. De luchtsnelheid is hiervoor gecorrigeerd.
Bij laag 1, 2, 5 en laag 6 is gemeten bij alle kisten, bij laag 3 *niet* bij kist 3, 4, 9, 10, 15 en 16 en bij laag 4 *niet* bij kist 1, 2, 7, 8, 13 en 14.
De draairichting van de ventilator kan omgedraaid worden zodat met dit systeem ook gezogen kan worden. Er is gemeten bij ventilatorstanden blazend bij 100% en bij 50%, en zuigend bij 100%. De resultaten bij 100% blazend zijn samengevat in figuur 13.



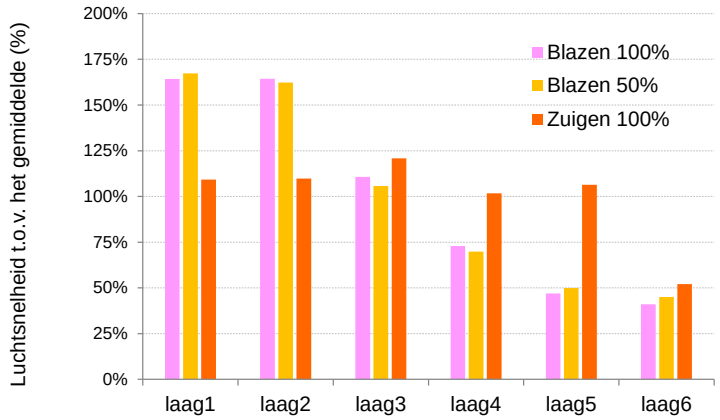
Figuur 13: Gemeten luchtsnelheid tussen de 2 rijen.

Ook hier is het verloop in luchtsnelheid erg grillig en zijn de verschillen over lagen erg groot. De kisten in laag 6 krijgen aan het begin van de gang erg weinig lucht. De kisten aan het eind van de gang krijgen veel meer lucht dan die aan het begin, vooral de kisten in de onderste lagen.
Zuigend bij een ventilatorstand van 100% laat de luchtverdeling hetzelfde patroon zien als op de bedrijven met een zuigsysteem, figuur 14. Nu krijgen de kisten aan het begin van de gang teveel lucht, maar de verdeling is veel gelijkmatiger. Het debiet is echter wel een factor 3 lager.



Figuur 14: Luchtsnelheden bij zuigen

In figuur 15 is de relatieve luchtsnelheid per laag (d.w.z. in procenten t.o.v. het gemiddelde) bij blazen op 100% en op 50%, en bij zuigen op 100% uitgezet.



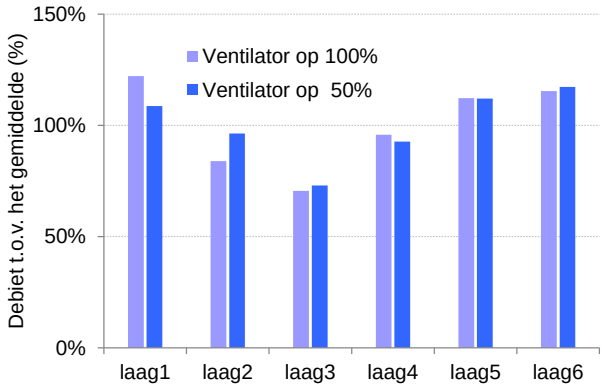
Figuur 15: Spreiding rond de gemiddelde luchtsnelheid

Bij blazen is er tussen een ventilatorstand van 100% en van 50% geen verschil in luchtverdeling over de lagen (verticale spreiding van 62%). De luchtverdeling bij zuigen en een ventilatorstand van 100% lijkt veel gelijkmatiger dan bij blazen. De verticale spreiding in luchtsnelheid over de lagen was 34%, de horizontale spreiding over de kisten was 22%. Vooral laag 4 en 5 krijgen bij zuigen meer lucht.

Samenvattend:
- ook in dit blaassysteem krijgen de kisten in de bovenste laag maar weinig lucht
- de kisten aan het eind van de gang krijgen de meeste lucht
- als de ventilator in zuigstand staat is de luchtverdeling veel gelijkmatiger

3.7 Bedrijf 5b en 2b

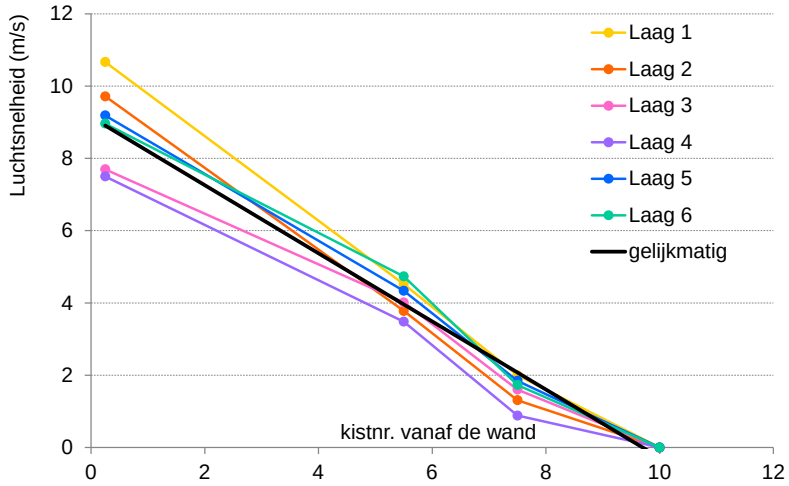
Op bedrijf 5 zijn ook éénlaagssystemen (blazen) in gebruik. In de drukkamer is een schuine wand geplaatst die naar boven toe steeds dichter bij de uitblaasopeningen komt (zie ook foto 2 en figuur 2). De onderste uitblaasopeningen zijn verkleind met een balk. Tijdens de metingen werden plantuitjes bewaard in palletkisten 6 hoog x 11 diep. Er is gemeten in de uitblaasopeningen van de wand, bij een ventilatorstand van 100% en van 50%.



Figuur 16: Luchtverdeling over de lagen.

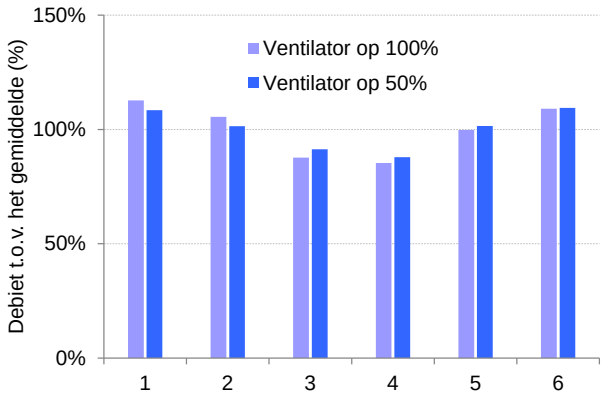
De luchtverdeling is samengevat in figuur 16. De spreiding is bij de verschillende ventilatorstanden vrijwel gelijk: resp. 26% en 22%.

Ook op Bedrijf 2 is er naast het rijensysteem een éénlaagssysteem in gebruik, met in de drukkamer een schuine wand en een door een plank verkleinde onderste uitblaasopening. Tijdens de metingen werden schone sjalotten bewaard in palletkisten 6 hoog x 9 diep. Er is in de uitblaasopeningen gemeten, en in het palletkanaal ter hoogte van de 6de kist en van de 8ste kist. De resultaten zijn samengevat in figuur 17.



Figuur 17: Luchtsnelheidsmetingen in het palletkanaal.

Hoewel op slechts 3 afstanden van de drukwand gemeten is laten de resultaten wel zien dat over de kisten de luchtverdeling gelijkmatig is. Ook over de lagen is de verdeling gelijkmatig, figuur 18. De luchtverdeling is bij een ventilatorstand van 50% vrijwel gelijk aan die bij 100%. De spreiding is dan resp. 16% en 18%.

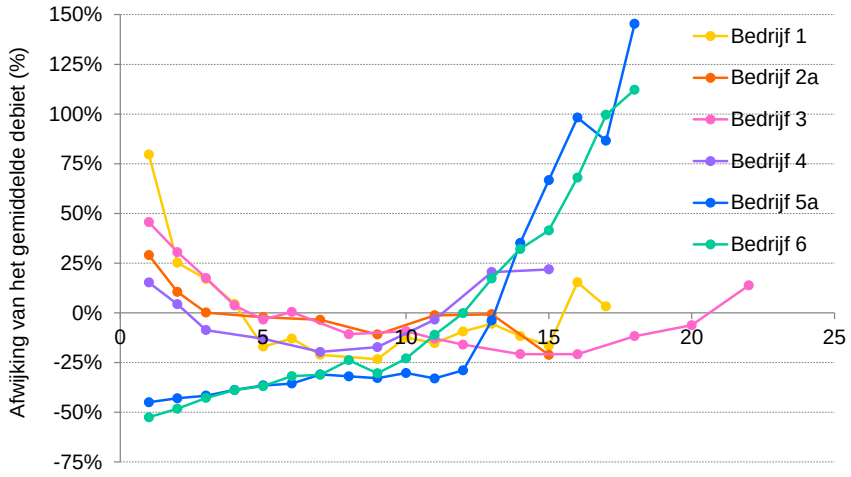


Figuur 18: Verdeling over de lagen.

Samenvattend:
- de luchtverdeling over de lagen is bij de éénlaagssystemen relatief gelijkmatig
- op beide bedrijven krijgen de middelste lagen de minste lucht
- ook de verdeling over de kisten is gelijkmatig

3.8 Synthese

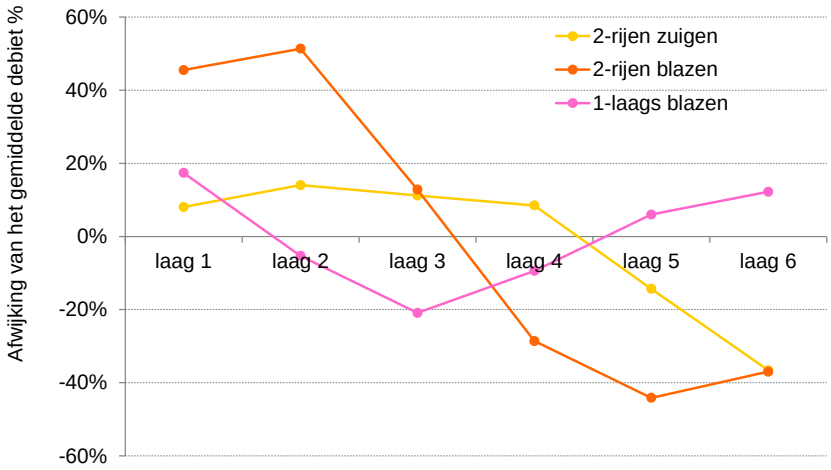
De drie verschillende bewaarsystemen laten forse verschillen zien in de luchtverdeling over de kisten (horizontaal) en over de lagen (verticaal). De 2-rijensystemen waar de lucht door gezogen wordt (Bedrijf 1 t/m 4) lijkt een gelijkmatiger luchtverdeling te hebben dan wanneer de lucht er door geblazen wordt (Bedrijf 5 en 6), figuur 19.



Figuur 19: Spreiding in debiet over kisten vanaf de drukwand.

De meetmethode kan hierbij ook van invloed zijn: bij blazen wordt aan de blaas-, dus turbulente kant van de ventilator in de luchtroom gemeten, bij zuigen zit de turbulente luchtroom aan de andere kant van de ventilator. Hier wordt dus in de gelijkmatigere stroming gemeten.

Beide systemen hebben echter hun ongelijkmatigheden: Bij de zuigsystemen krijgen de kisten het dichtst bij de wand de meeste lucht, bij de blaassystemen zijn het juist de kisten het verst van de wand die de meeste lucht krijgen. Bij blaassystemen lijken deze verschillen echter groter. Wel is het zo dat ook bij zuigsystemen de bovenste laag de minste lucht krijgt, zie figuur 20.



Figuur 20: Spreiding over lagen bij de 3 systemen.

De figuur laat ook zien dat bij éénlaags (blaas)systemen de verdeling over de lagen gelijkmatiger is. Bij deze systemen krijgt de middelste laag het minst.

De verschillen tussen de zuigsystemen kunnen deels verklaard worden door de weerstand in het systeem: hoe meer weerstand hoe gelijkmatiger de luchtverdeling. Dus fijne sjalotten met veel terra, wortels en blad, of een kleiner spleetoppervlak van de kist, geven meer weerstand en een betere vluchtverdeling dan grot uien of aardappelen. Mogelijk is ook juist een smallere uitblaasopening gunstig voor de horizontale verdeling over kisten. Meer kisten voor de wand (Bedrijf 3 vs. Bedrijf 4) geven minder weerstand en daardoor een grotere spreiding.

Kistinhoud (soort product), aantal kisten (diep en hoog), breedte van de uitblaasopening, en de verticale spreiding over lagen en de horizontale spreiding over kisten (kolommen) zijn voor de verschillende bedrijven samengevat in tabel 4. De totale spreiding over lagen *en* kisten (kolommen) is minstens de som van beide.

Tabel 4: Vertikale en horizontale spreiding in luchtsnelheid voor de verschillende bewaarsystemen.

		systeem		kistenstapeling		uitblaasopening			gemiddelde spreiding	
	inhoud			diepte	hoogte	breedte	hoogte	oppv	lagen	kisten
						cm	cm	m2	vertikaal	horizontaal
Bedrijf 1	Grote uien, ongesorteerd	zuigen	2-rijen	17	6	40	700	2,8	27%	51%
Bedrijf 2a	fijne Sjalotten met veel spul	zuigen	2-rijen	15	5	50	575	2,9	13%	25%
Bedrijf 3	aardappels (cons + ptgd)	zuigen	2-rijen	22	6	64	575	3,7	27%	33%
Bedrijf 4	aardappels consumptie	zuigen	2-rijen	15	6	30	440	1,3	29%	21%
Bedrijf 5a	uien	blazen	2-rijen	17	6	70	670	4,7	37%	95%
Bedrijf 6	aardappels consumptie	blazen	2-rijen	18	6	65	527	3,4	62%	82%
		zuigen							34%	22%
Bedrijf 2b	Sjalotten	blazen	1-laags	9	6		14	2,1	14%	
Bedrijf 5b	plantuitjes (zeer fijn)	blazen	1-laags	11	6			2,2	26%	

Afmeting van de kisten: 123 x 160 x 120 (h x b x d)

4 Conclusies en aanbevelingen

Wanneer de 3 bewaarsystemen vergeleken worden (2-rijensystemen blazend of zuigend en het éénlaagssysteem) lijkt het éénlaagssysteem het meest gelijkmatig.

Een vergelijking tussen de zuig- en de blaassystemen lijkt aan te geven dat het zuigsysteem de lucht beter over de kisten verdeeld dan het blaassysteem. Beide systemen hebben echter hun onregelmatigheden:

Bij het zuigsysteem krijgen de kisten het dichtst bij de wand de meeste lucht en de kisten in het midden het minst. Ook de kisten in de bovenste laag krijgen veel minder dan gemiddeld, vooral juist de kisten dicht bij de wand. Dit laatste moet geverifieerd worden door ter hoogte van de betreffende kisten ook de verticale luchtsnelheid te meten.

Bij het blaassysteem krijgen juist de kisten het verst van de wand de meeste lucht. De kisten het dichtst bij de wand, vooral de bovenste lagen, krijgen het minst. De verschillen tussen de meest en de minst beluchte kist lijken groter dan bij het zuigsysteem.

Omdat bij het blaassysteem aan de turbulente kant van de ventilator in de luchtroom wordt gemeten, en bij zuigsystemen aan de andere kant van de ventilator (in de gelijkmatigere luchtstroming) kan dit een vertekend beeld geven. Een belangrijke aanbeveling is daarom om enkele metingen bij het blaassysteem te herhalen, nu niet in de gang tussen de twee rijen, maar in de gang tussen twee dubbele rijen, daar waar de lucht uit de kisten treedt.

De ventilatorstand heeft geen (of een verwaarloosbare) invloed op de verticale en horizontale spreiding in debiet per kist.

De luchtverdeling bij het blazende 2-rijensysteem zal op een andere manier verbeterd moeten worden dan bij het zuigende systeem. Bij dit laatste systeem kan b.v. gedacht worden aan permeabele zeilen die vanaf de 5de of 4de laag aan de buitenkant van de eerste 4 kisten afhangen. Hierdoor wordt de luchtaanvoer bij deze kisten verminderd, hetgeen ten goede komt van de kisten verder van de wand. Bij blazende systemen zouden deze zeilen in de gang aan het eind gehangen moeten worden, en/of misschien zijn schansstructuren in de uitblaasopening mogelijk om de bovenste laag meer debiet te geven.

Met behulp van CFD-berekeningen kunnen de eerste stappen naar verbeteringen worden nagegaan, en ook wat de invloed is van bijvoorbeeld kistinhoud (fijn of grof, d.w.z. met veel of weinig weerstand) en de breedte en hoogte van de openingen in de ventilatorwand.

De volgende stap is dan om de meest praktische aanpassingen op de bedrijven te testen en de ontwerpen te verbeteren.

Het resultaat zal zijn dat met lagere ventilatorstanden hetzelfde bereikt wordt als nu met hogere ventilatorstanden. Door het 3de machtsverband tussen toerental en energieverbruik zal het energieverbruik van de ventilatoren fors afnemen. De extra warmte die deze ventilatoren bij hoge ventilatorstand produceren hoeft dan niet teruggekoeld te worden zodat er ook energie bij het koelen bespaard wordt. En daarnaast zal het product in de kisten die eerst een forse overmaat aan lucht kregen minder uitdrogen

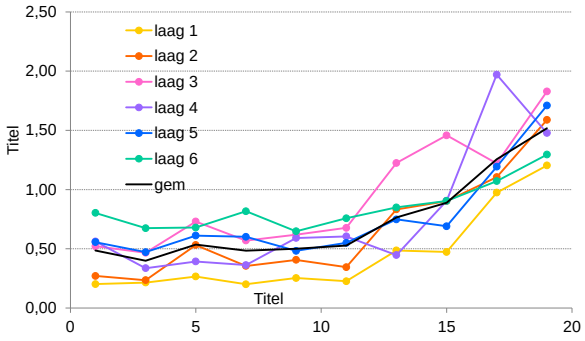
Bijlage 4: Vervolg Metingen in Aardappel- en uienopslag

Na de besprekingen (27 feb en 4 maart) van de resultaten van de luchtsnelheidsmetingen is besloten om:

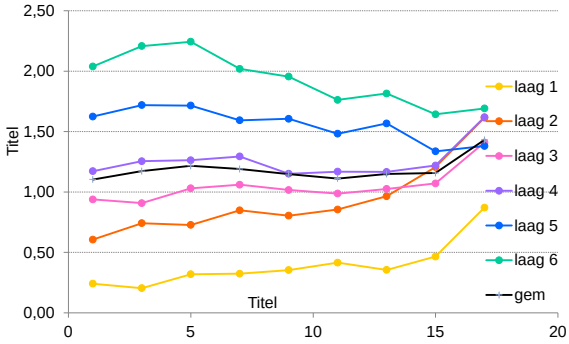
- Bij de blazende systemen ook *tussen* de dubbele rijen te meten en
- niet alleen de horizontale luchtsnelheid te meten, maar ook de verticale luchtsnelheid
- Ook bij de zuigende systemen verticaal te meten om met name voor de 6de laag, dichter tegen de ventilator, een beter beeld van de luchtstroom te krijgen

Bij de zuigende systemen kon niet meer gemeten worden daar niemand meer een cel met volle rijen had. Bij het blazende systeem is gemeten bij De Groene. Verticaal en horizontaal *tussen* de dubbele rijen, dus aan de kant waar de lucht de kisten *uit* komt.
De luchtsnelheid is daar, vooral dicht bij de ventilator erg laag, net op het randje van wat nog goed te meten is. Ook de aangrenzende dubbele rij diende geventileerd te worden omdat anders de luchtsnelheid te laag was om met deze meters te meten.

De resultaten zijn samengevat in de volgende figuren:

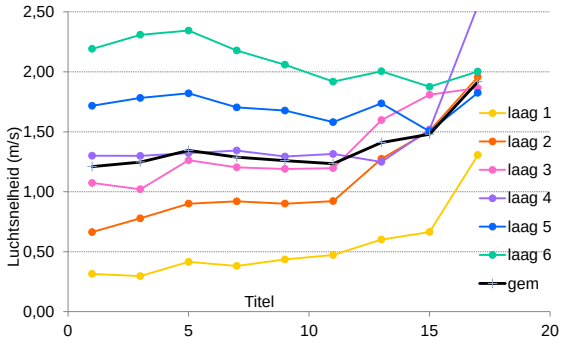


Figuur 1: Horizontale luchtsnelheid aan de uitblaaskant



Figuur 2: Verticale luchtsnelheid aan de uitblaaskant

Verder van de ventilator vandaan neemt de horizontale luchtsnelheid toe. De verticale luchtsnelheid bij de bovenste 2 lagen neemt daar iets af. De totale luchtsnelheid (horizontaal + verticaal als vectorsnelheid) is weergegeven in figuur 3.



Figuur 3: Vectorsnelheid aan de uitblaaskant

De metingen *tussen* de dubbele rijen (dus aan de uitblaaskant van de kisten) geven een veel rustiger beeld dan de metingen in de gang *in* de dubbele rij. Het patroon is echter gelijk: verder van de ventilator vandaan krijgen de meeste lucht.

Bijlage 5: Testen Verbeteringen

Inhoudsopgave

pagina

SAMENVATTING 61

1 INLEIDING 63

2 WERKWIJZE 65

3 RESULTATEN 65
3.1 Weerstand waar de lucht uittreedt 65
3.2 Weerstand in de ventilatorgang 67

4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN 69

© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Samenvatting

Eerdere metingen aan de luchtstroom in de bewaarsystemen voor uien en aardappelen in lattenkisten lieten zien dat bij de zuigende systemen de kisten het dichtst bij de ventilator fors meer lucht krijgen dan de kisten het verst van de ventilator. Bij blazende systemen is dit juist andersom, en lijken de kisten het dichtst bij de ventilator soms zelfs nauwelijks lucht te krijgen. Onderzoek om de luchtverdeling te verbeteren gaf aan dat zuigende systemen verbeterd kunnen worden door in de gang naast de dubbele rij met winddoek de luchtstroom af te remmen. Het blaassysteem verbeterde door juist in de ventilatorgang in de dubbele rij met een half winddoek de luchtstroom af te remmen. Deze verbeteringen zijn nog niet voldoende. In een windtunnel zijn daarom winddoeken en andere materialen op luchtdoorlatendheid getest. En in het blaassysteem zijn metingen gedaan bij 2 benaderingen om de luchtverdeling verder te verbeteren: 1) door weerstand te creëren aan de kant van de lattenkisten waar de lucht uittreedt en 2) door weerstand te creëren in de ventilatorgang.

De resultaten lieten zien dat het afsluiten van het verticale deel van de opening van de gang tussen twee dubbele rijen waarin de uittredende lucht uitstroomt geen enkel effect heeft op de luchtverdeling over de kisten in de dubbele rij ernaast. Ook het afdekken van het horizontale deel van de opening boven kist 20 t/m kist 10 heeft geen effect. Het afsluiten van de palletopeningen heeft een klein (positief) effect op de lucht verdeling over de kisten.

Het stuwen van de luchtstroom met een V-vormige paal met de punt in de wind ter hoogte van de 6de kist heeft een sterk effect op de luchtverdeling wanneer de breedte 30 cm is. Een breedte van 20 cm heeft veel minder effect. Plaatsing van een 30 cm brede V-paal ter hoogte van de 8ste kist benadert een gelijkmatige luchtverdeling het best, maar voorkomt niet dat de laatste kisten nog steeds meer lucht dan gemiddeld krijgen. Een 2de V-paal ter hoogte van de 18de kist bracht de luchtsnelheid ter hoogte van de laatste kisten flink terug. Ondanks deze positieve effecten van de V-palen is er echter nog geen optimale positionering gevonden.

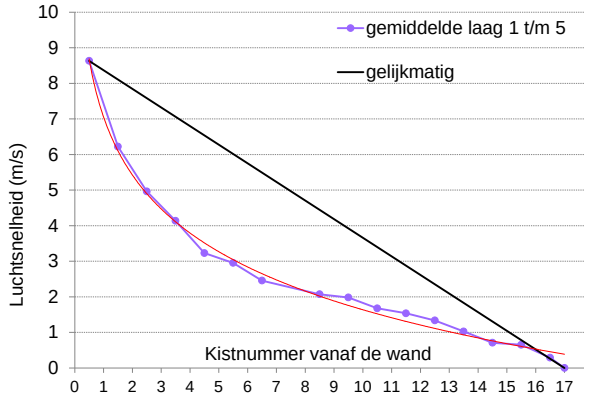
Aanbevelingen zijn om voor het blaassysteem beide benaderingen, nl. weerstand creëren aan de kant waar de lucht uit de kisten treedt of weerstand creëren in de ventilatorgang verder te ontwikkelen:
Het horizontale deel moet minstens tot kist 5 worden afgesloten. Dit remt mogelijk het teveel aan lucht bij de laatste 4 kisten en vergroot de luchthoeveelheid bij de eerste 6-7 kisten.
Ter verbetering van het zuigsysteem is de aanbeveling de benadering waarmee de luchtstroom in de tussengang wordt afgeremd voort te zetten, maar nu met geperforeerde triplex platen. Deze zijn makkelijker te plaatsen dan het winddoek.

© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

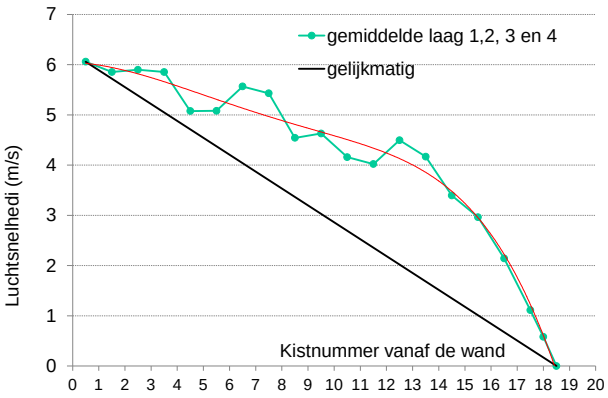
© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

1 Inleiding

In dit project lieten eerdere metingen aan de luchtstroom in de ventilatorgang in bewaarsystemen voor uien en aardappelen in lattenkisten zien dat bij de zuigende systemen de kisten het dichtst bij de ventilator fors meer lucht krijgen dan de kisten het verst van de ventilator, figuur 1. Bij blazende systemen is dit juist andersom, en lijken de kisten het dichtst bij de ventilator soms zelfs nauwelijks lucht te krijgen, figuur 2.

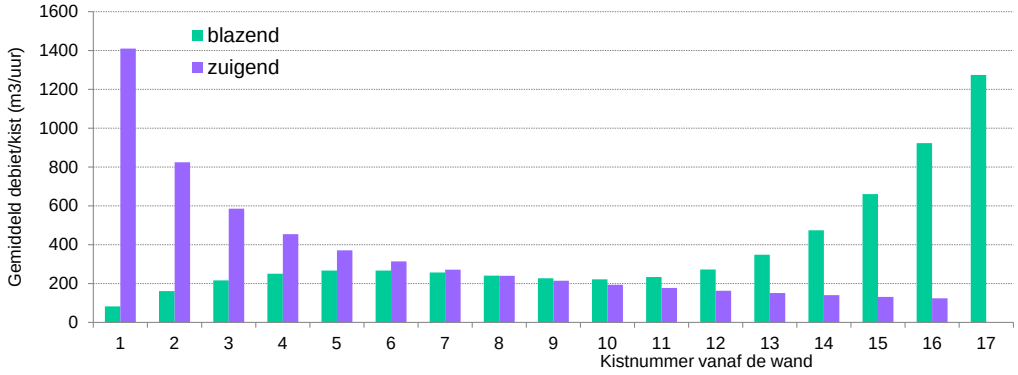


Figuur 1: Luchtsnelheden in de ventilatorgang, zuigend



Figuur 2: Luchtsnelheden in de ventilatorgang, blazend.

In de figuren is met een zwarte lijn weergegeven wat de luchtsnelheid in de ventilatorgang zou zijn indien de lucht perfect over de kisten verdeeld zou zijn. Elke kist krijgt dan evenveel lucht en de luchtsnelheids-verandering (de helling) is na elke kist even groot. Met de rode lijn zijn de meetpunten “gefit” en uit deze luchtsnelheden (m/s) is het gemiddelde debiet (m3/uur) per kist afgeleid, figuur 3.



Figuur 3: Gemiddeld debiet per kist, zuigend versus blazend.

Het verschil tussen de meest en de minst beluchte kist kan bij beide systemen oplopen tot zeker een factor 5 – 6.

Naast het effect van de positie van de kist in de rij speelt de kistinhoud een belangrijke rol: hoe meer weerstand het product geeft, hoe beter de lucht zich over de kisten verdeelt. Het totale debiet door de stapeling wordt dan wel minder. Grote aardappelen vergeleken met kleine plantuien, of met kleine sjalotten met veel vellen en wortels, geven veel minder weerstand en dus een slechtere verdeling over de kisten. Ook de diepte en de hoogte van de stapeling spelen mee: een stapeling van 22 kisten diep en 6 hoog heeft een lagere weerstand dan een stapeling van 5 hoog x 15 diep.

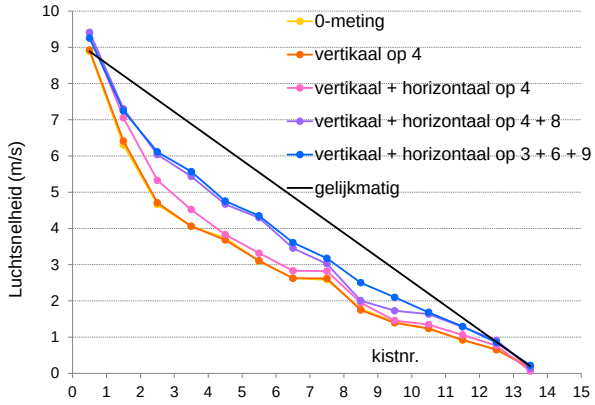
De belangrijkste doelstelling van dit onderzoek is het verbeteren van de luchtverdeling over de kisten in de stapeling. Hiermee wordt de energie-efficiëntie van de verschillende bewaarsystemen verbeterd, terwijl de

© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

productkwaliteit tegen zo laag mogelijke kosten gewaarborgd blijft. Het beoogde resultaat is dat:

- met lagere ventilatorstanden hetzelfde bereikt wordt als nu met hogere ventilatorstanden. Door het 3de machtsverband tussen toerental en energieverbruik zal het energieverbruik van de ventilatoren dan fors afnemen.
- de extra warmte die deze ventilatoren bij hoge ventilatorstand produceren dan niet teruggekoeld hoeft te worden, zodat er ook energie bij het koelen bespaard wordt.
- het product in de kisten die eerst een forse overmaat aan lucht kregen minder uitdroogt en het product in de kisten die te weinig lucht kregen bij het inschuren nu sneller droog en/of op temperatuur is. Verderop in de bewaring is in deze kisten dan minder kans op bewaarziekten.

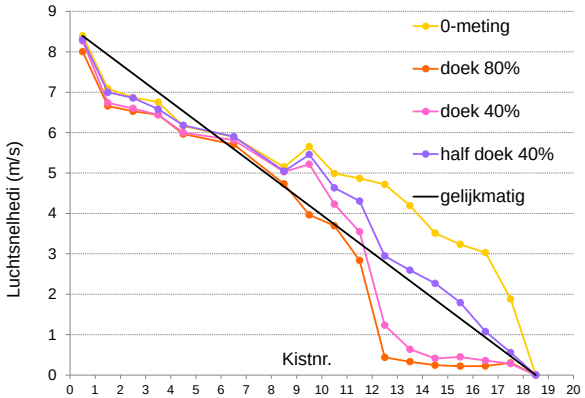
Hiertoe is met winddoeken geprobeerd de luchtverdeling te beïnvloeden: De beste resultaten bij het zuigende systeem bleek uiteindelijk het met winddoek dat 80% van de luchtstroom tegenhoudt aan de bovenkant horizontaal *en* in de gang verticaal afsluiten van de gangen tussen de dubbele rijen kisten, figuur 3 met foto.



Figuur 3: Luchtsnelheden ventilatorgang met winddoeken

Alleen een verticaal aangebrachte doek ter hoogte van kist 4 in de gang heeft geen enkel effect, pas als ook horizontaal wordt afgedekt verandert er iets aan de luchtstroom. Uiteindelijk moest op 2 tot 3 plaatsen doek geplaatst worden (bv. ter hoogte van kist 3, 6 en 9) om de gelijkmatige luchtverdeling enigszins te benaderen.

Bij het blazende systeem is in de ventilatorgang met verschillende doeken ter hoogte van kist 12 geprobeerd de luchtstroom te verbeteren, figuur 4 met foto. Een in de lengte gehalveerd 40%-doek gaf



Figuur 4: Luchtsnelheden ventilatorgang met winddoeken

het beste resultaat. Andere proefopstellingen met meerdere doeken gaven niet de gewenste resultaten. Bij deze meetsessies is om paktische redenen alleen ter hoogte van de 2de laag gemeten.

© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

2 Werkwijze

Om de geschiktheid van winddoeken en andere materialen voor het beinvloeden van luchtstromen in kaart te brengen, zijn deze bij uiteenlopende luchtsnelheden in een windtunnel op luchtdoorlatendheid getest (zie Bijlage 1).
Aan het blazende systeem zijn meerdere metingen verricht. Om de horizontale luchtverdeling over de kisten in een blazend (uien)bewaarsysteem te verbeteren, zijn twee benaderingen getest:

1) door weerstand te creëren aan de kant van de lattenkisten waar de lucht uittreedt.
2) door weerstand te creëren in de ventilatorgang

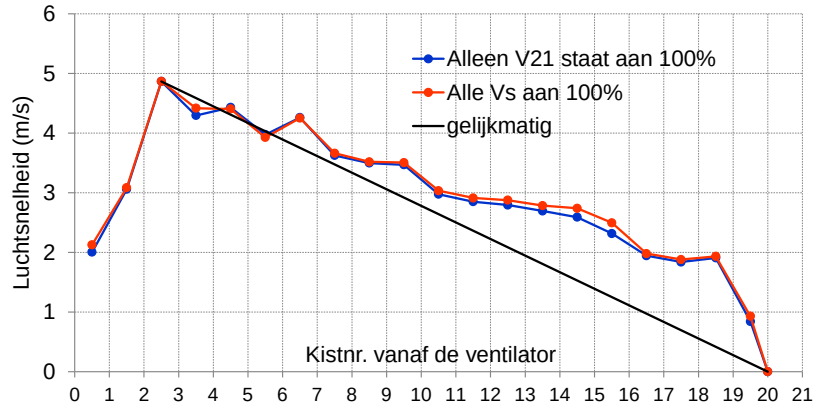
Een voordeel van de 1ste benadering is dat dit ook de luchtverdeling *in* de kist zou kunnen verbeteren, nadeel is dat dit geen optie is voor een enkele dubbele rij.

Luchtsnelheidssensoren zijn in de ventilatorgang geplaatst ter hoogte van laag 2. In de bewaarcel staan 3 x 2 = 6 rijen kisten 6 hoog gestapeld en 20 kisten diep. De ventilatorgang tussen 2 rijen kisten is 70 cm breed, de gang tussen 2 dubbele rijen kisten waar de lucht uit de kisten treedt is ongeveer 40 cm. Per dubbele rij zijn 2 ventilatoren geplaatst.

3 Resultaten

3.1 Weerstand waar de lucht uittreedt

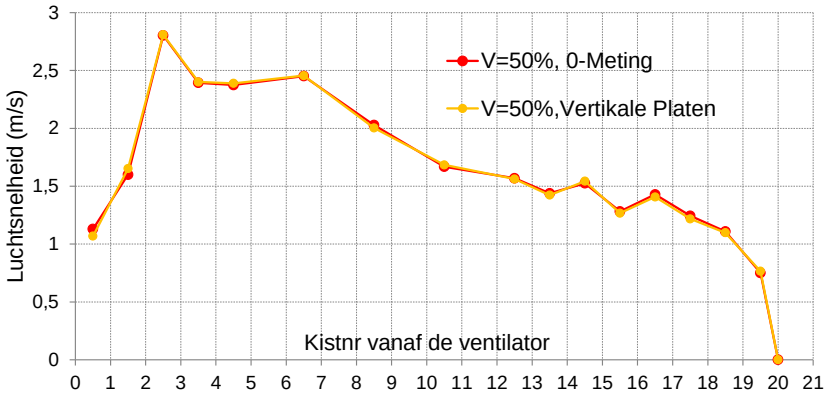
Wanneer de gang van 40 cm breedte weerstand oplegt aan de uittredende lucht moet het verschil maken of alle ventilatoren in de cel aanstaan, of alleen de ventilatoren van de middelste ventilatorgang waar de sensoren staan opgesteld, figuur 5.



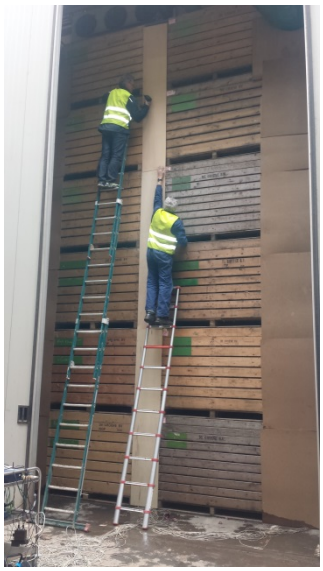
Figuur 5: Horizontale luchtsnelheid ter hoogte van 2de laag

Figuur 5 laat zien dat de luchtsnelheid op sommige punten iets lager is als alleen de ventilatoren van de ventilatorgang waar de sensoren staan opgesteld aan staan (er is op die punten iets meer lucht uitgetreden), maar het verschil is erg klein. De figuur laat ook zien dat de lucht onder de 1ste 2 sensoren doorgaat. Ter hoogte van de 3de kist is de luchtstroom volledig naar boven uitgewaaierd.
Vervolgens zijn de gangen aan weerszijden van de dubbele rij, waarin de lucht uit de kisten treedt, verticaal bij de 20ste kist van onder tot boven met triplex plaat afgesloten, figuur 6 + foto.

© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

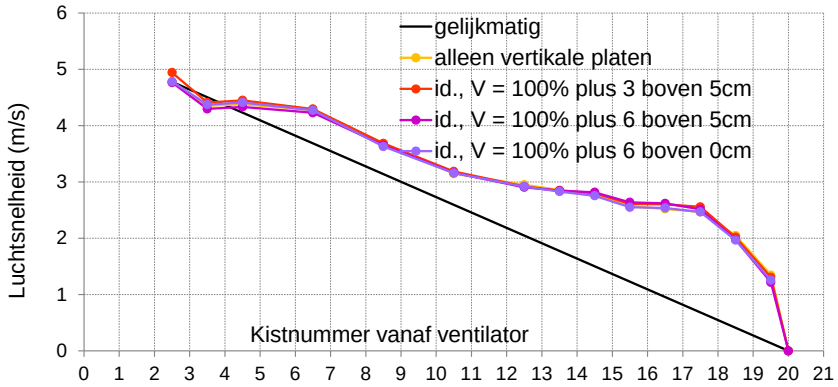


Figuur 6 : Horizontale luchtsnelheid ter hoogte van de 2de laag.



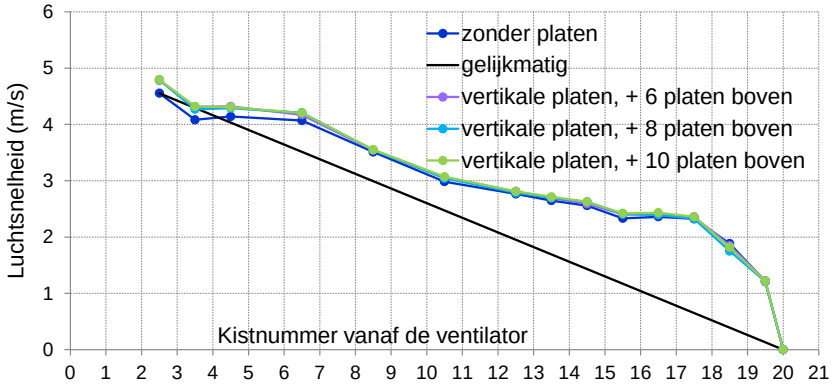
Figuur 6 (i.d.g. stonden de ventilatoren op 50%) laat zien dat dit geen enkel effect heeft op de luchtsnelheidsverdeling in de ventilatorgang. Dit creëert dus geen extra weerstand. Wel is dit gunstig voor eventuele metingen aan de uittredende lucht: die stroomt nu dus altijd vrijwel verticaal omhoog.

Vervolgens zijn de tussengangen ook bovenop met plaat (1 plaat triplex per kist) afgesloten. Eerst kist 20 t/m 18, toen ook 17 t/m 15, beide keren met tussen de platen 5 cm opening, en vervolgens zonder opening (0 cm) tussen de platen, figuur 7. Ook deze afdekking creëert geen extra weerstand.



Figuur 7: Luchtsnelheden ter hoogte vd 2de laag.

De tussengang afdekken tot en met de 10de kist, zonder opening tussen de platen, geeft het zelfde resultaat, figuur 8.

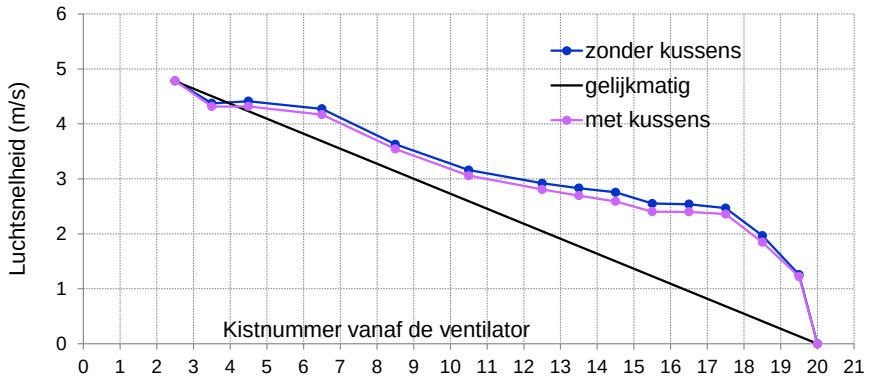


Figuur 8: Horizontale luchtsnelheid ter hoogte vd 2de laag.

© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Afsluiten van de verticale opening plus de eerste helft van de horizontale opening van de tussengangen creëert nog onvoldoende weerstand om de luchtstroom te beïnvloeden. De doorlatendheid van een lege lattenkist is 4,8%. Met een geschatte effectieve doorlatendheid van de lattenkist *plus* inhoud van ± 3% is het totale oppervlak van de opening van de tussengang naar boven toe 1,75 maal zo groot. Met het afdekken van de eerste helft is dat oppervlak nog 0,9 maal zo groot, hetgeen te weinig is om weerstand op te leveren (zie ook Bijlage 1). Pas met het afdekken van ongeveer ¾ van de opening wordt voldoende weerstand gecreëerd om de luchtstroom te beïnvloeden.

Het afsluiten van de palletopeningen met schuimrubberen blokken heeft maar een klein, maar wel meetbaar effect op de luchtstroom in de ventilator gang, figuur 9.

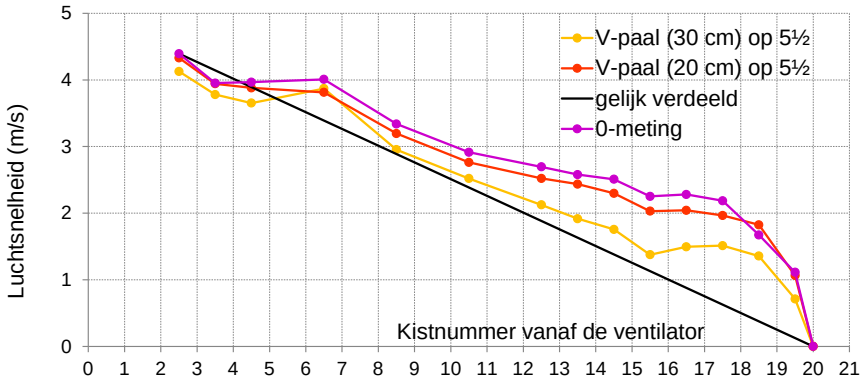


Figuur 9: Luchtsnelheid ter hoogte vd 2de laag met en zonder kussens.

3.2 Weerstand in de ventilatorgang

Om weerstand in de ventilatorgang te creëren en daarmee te bewerkstelligen dat de eerste kisten *meer* en de laatste kisten *minder* lucht krijgen zijn nu in plaats van winddoeken V-vormige palen gebruikt die met de punt in wind de luchtstroom afremmen. Door de V-vorm wordt de lucht in de ervoor staande kisten geduwd. In de punt van de V is een pianoscharnier aangebracht, zodat de breedte van de paal ingesteld kan worden.

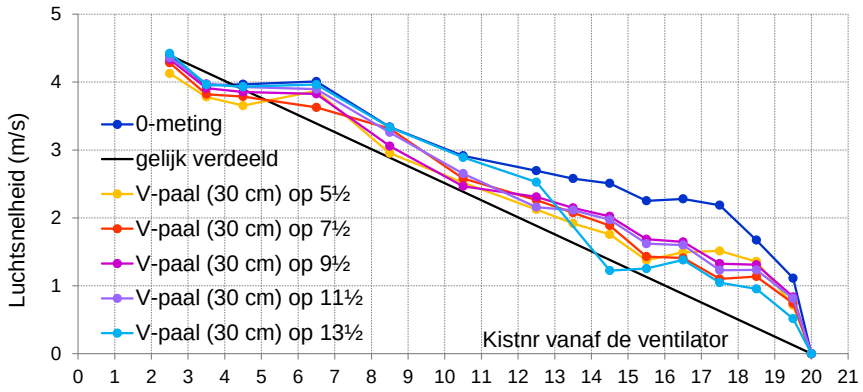
Bij een eerste test is de V-paal ter hoogte van de 6de kist geplaatst, eerst 20 cm breed, vervolgens 30 cm breed, figuur 10: Een breedte van 20 cm heeft te weinig effect.



Figuur 10: Luchtsnelheden ter hoogte vd 2de laag.

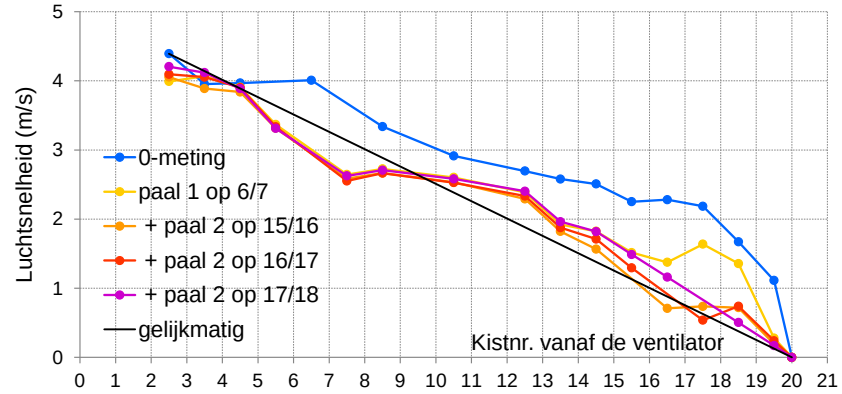
© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Daarna is de V-paal met een breedte van 30 cm getest halverwege kist 8, kist 10, 12 en 14, figuur 11.



Figuur 11: Luchtsnelheden ter hoogte van de 2de laag.

Plaatsing halverwege kist 8 (positie 7½) benadert de gelijkmatige verdeling het best, maar de laatste kisten krijgen nog steeds meer lucht dan gemiddeld. Reden waarom een 2de paal getest is op posities ter hoogte van kist 16, 17 en 18, figuur 12.



Figuur 12: Horizontale luchtsnelheid ter hoogte van de 2de laag

Bij deze laatste meetsessie bleek het effect van paal 1 op de luchtstroom vrij sterk waardoor er meer lucht door de eerste kisten verdween. Het toevoegen van een 2de V-paal bleek op positie van kist 18 het gunstigst.

Plaatsing van de V-palen in de ventilatorgang heeft een sterk effect op de luchtverdeling. Er is echter nog geen optimale positionering gevonden. Ook bleek de V-paal te zwaar om snel te kunnen verplaatsen en niet stabiel genoeg om steeds in dezelfde positie geplaatst te kunnen worden.

© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

4 Conclusies en aanbevelingen

- Uittredende lucht van de ene dubbele rij kisten heeft nauwelijks tot geen effect op de luchtverdeling over de kisten in de dubbele rij ernaast.
- Het afsluiten van het verticale deel van de opening van de gang tussen twee dubbele rijen waarin de uittredende lucht uitstroomt, heeft geen enkel effect op de luchtverdeling over de kisten in de dubbele rij ernaast.
- Ook het afdekken van het horizontale deel van de opening boven kist 20 t/m kist 10 heeft geen effect.
- Berekening op bases van een geschatte effectieve doorlatendheid van de van de lattenkist plus inhoud geven aan dat er minstens t/m kist 5 moet worden afgedekt om voldoende weerstand te creëren om de luchtverdeling te beïnvloeden.
- Het afsluiten van de palletopeningen heeft een klein (positief) effect op de lucht verdeling over de kisten.
- Het stuwen van de luchtstroom met een V-vormige paal met de punt in de wind ter hoogte van de 6de kist heeft een sterk effect op de luchtverdeling wanneer de breedte 30 cm is. Een breedte van 20 cm heeft veel minder effect.
- Plaatsing van een 30 cm brede V-paal ter hoogte van de 8ste kist benadert een gelijkmatige luchtverdeling het best, maar voorkomt niet dat de laatste kisten nog steeds meer lucht dan gemiddeld krijgen.
- Een 2de V-paal ter hoogte van de 18de kist bracht de luchtsnelheid ter hoogte van de laatste kisten flink terug.
- Ondanks deze positieve effecten van de V-palen is er echter nog geen optimale positionering gevonden.

Aanbevelingen zijn om voor het blaassysteem beide benaderingen, weerstand creëren aan de kant waar de lucht uit de kisten treedt of weerstand creëren in de ventilatorgang verder te ontwikkelen:

Het horizontale deel moet minstens tot kist 5 worden afgesloten. Dit remt mogelijk het teveel aan lucht bij de laatste 4 kisten en vergroot de luchthoeveelheid bij de eerste 6-7 kisten. Mogelijk dat ook het volledig afdekken met geperforeerd triplex (zie Bijlage 1) een verbetering geeft.

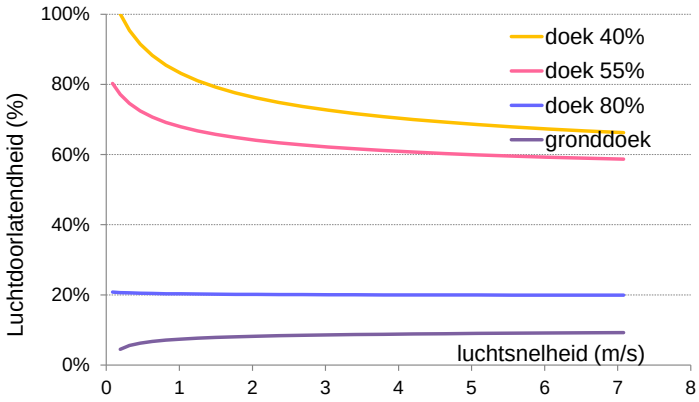
Ter verbetering van het zuigsysteem is de aanbeveling de benadering zoals beschreven in de inleiding voort te zetten, maar nu met geperforeerde triplex platen. Deze zijn makkelijker te plaatsen dan het winddoek.

© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Bijlage 6: Metingen in de windtunnel

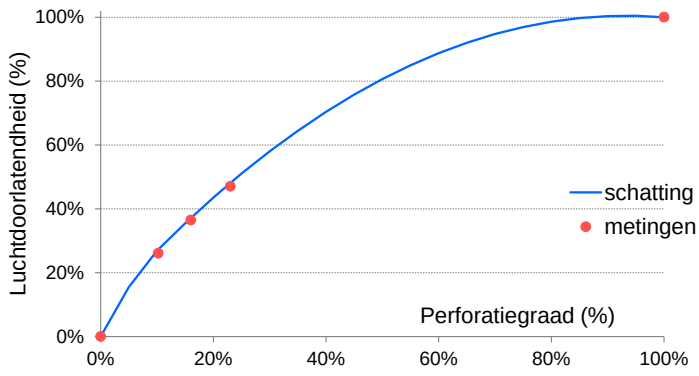
Om de geschiktheid van winddoeken en andere materialen voor het beinvloeden van luchtstromen in kaart te brengen, zijn deze bij uiteenlopende luchtsnelheden in het midden van een windtunnel (zie fotos) geplaatst en op luchtdoorlatendheid getest. Winddoeken met de opgegeven “windschaduw” van 40% en 55% (een luchtdoorlatendheid van 60% en 45%) bleken in de windtunnel meer lucht door te laten dan opgegeven, vooral bij lagere luchtsnelheden (< 1m/s), figuur 1. Juist aan intredende kant bij het zuigsysteem treden deze lage luchtsnelheden op.



Figuur 1: Doorlatendheid bij verschillende luchtsnelheden

Het winddoek met een opgegeven schaduw van 80% (20% doorlatendheid) gaf echter een constant resultaat van precies 20%, ongeacht de luchtsnelheid. Ook het gronddoek gaf een vrijwel constant resultaat van bijna 10% doorlatendheid.

Ter voorbereiding van nieuwe metingen aan het zuigsysteem is de doorlatendheid van platen triplex met daarin ronde gaten (Ø = 6,2 cm) bepaald. Er zijn 3 platen getest met een perforatiegraad van respectievelijk 10%, 16% en 23%. De doorlatendheid bij verschillende luchtsnelheden verschilt weinig (iets meer doorlatendheid bij lagere luchtsnelheden). Het effect van de perforatiegraad is samengevat in figuur 2. De figuur laat zien dat bij een perforatiegraad van 50% de luchtdoorlatendheid nog 80% is en om slechts 20% door te laten moet de perforatiegraad ± 7% zijn. Bij een perforatiegraad van 80 % wordt geen lucht meer tegengehouden.

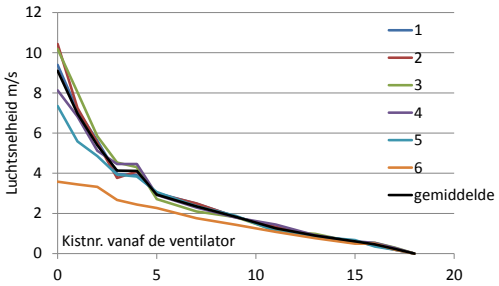


Figuur 2: Doorlatendheid en perforatiegraad triplex

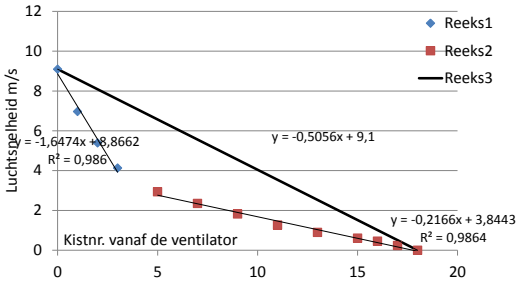
© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Bijlage 7: Testen op Bedrijf 1



Figuur 1: De 0-metingen



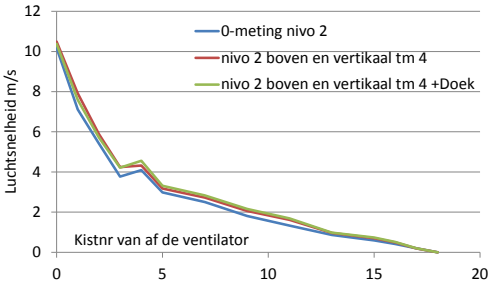
Figuur 2: Gemiddelde van 0-metingen, excl. niveau 6.

Afgezien van niveau 6 zijn de 0-metingen op de verschillende niveaus vrijwel gelijk, vooral vanaf kist 4 t/m 18 (verst van de ventilator), figuur 1. Het gemiddelde (excl. niveau 6) laat zien dat kisten 3-4 ruim 7 x zoveel lucht krijgen als kisten 5 t/m 18.

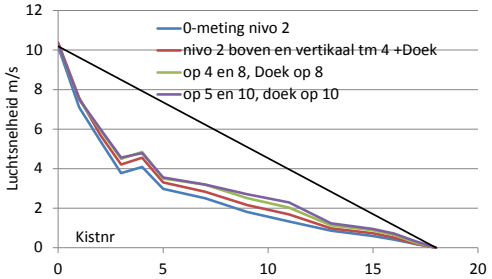
Uitgeprobeerd zijn:

1) Afdekken tussengangen met hard board op latjes van 1,8 cm dik t/m kist 4 *plus* verticale strook in de tussengang ter hoogte van kist 4, gemeten op niveau 2.
2) *Plus* afdekken van de bovenste kisten met gronddoek naast het blauwe zeil.
3) Afdekken tussengangen t/m kist 8 *plus* verticale stroken ter hoogte van kist 4 en kist 8, plus gronddoek t/m kist 8.
4) Idem, maar t/m kist 5 en kist 10.
5) Idem, maar de latjes onder het board t/m de 5de kist weggehaald.
6) Idem, gemeten op niveau 3
7) Idem, gemeten op niveau 5
8) De verticale stroken weggehaald, gemeten op niveau 5,
9) Idem, gemeten op niveau 3.

Het verschil tussen 1 en 2 is het effect van het doek. Figuur 3 laat zien dat dit minimaal is.
Op niveau 2 gemeten sorteert het afdekken van de tussengang t/m kist 10 *plus* verticale stroken op 5 en 10 het meeste effect.



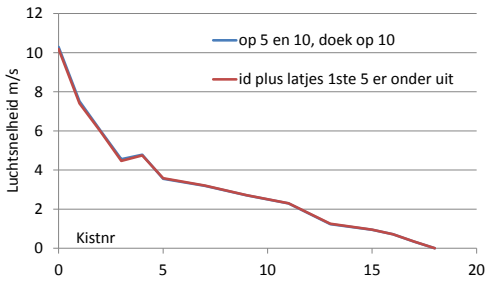
Figuur 3: Afdekken tussengang 4de kist plus doek.



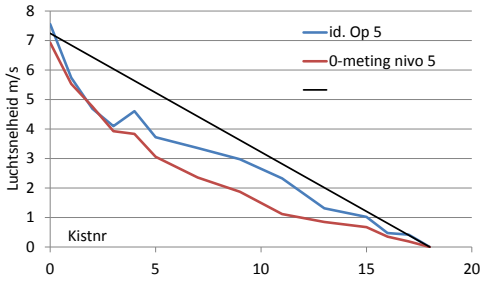
Figuur 4: Afdekken tussengang t/m kist 4, 4&8 en 5&10

Het verwijderen van de latjes onder het hardboard dat de tussengang ter hoogte van de 1ste 5 kisten afdekt heeft geen enkel effect of de luchtsnelheden op niveau 2, figuur 5. De meting op niveau 5 liet zien dat het effect op de luchtsnelheden daar veel groter is, vgl. figuur 6 met figuur 4.

© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

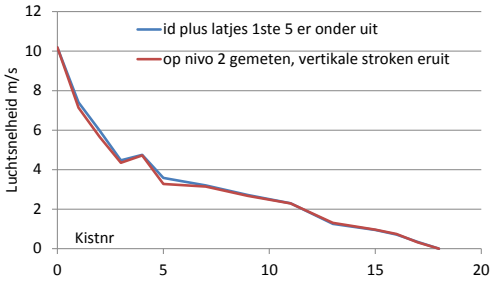


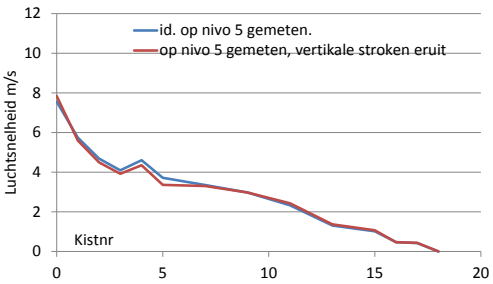
Figuur 5: Latjes onder het board vandaan t/m kist 5



Figuur 6: idem, meting op niveau 5.

Tot slot het effect van het weghalen van de verticale stroken, terwijl de tussengang afgedekt blijft. Gemeten op niveau 2, zie figuur 7 en gemeten op niveau 5, zie figuur 8: Het effect van de verticale stroken was minimaal, maar het grootst op niveau 5.





Conclusies:

- Het effect van het gronddoek is minimaal
- Latjes onder het board weghalen heeft geen invloed
- De verticale stroken weghalen heeft nauwelijks effect
- Het afdekken van de tussengang t/m kist 10 heeft iets meer effect dan het afdekken t/m kist 8 en dat heeft duidelijk meer effect dan afdekken t/m kist 4.
- Het effect van afdekken t/m kist 10 is groter op niveau 5 dan op niveau 2.

De verticale stroken waren tekort: ongeveer 80cm. Ze werden tot bovenaan de bovenste kist opgehangen zodat het gat beneden zat. Dit verklaart mogelijk waarom 1) ze weinig effect hebben, maar 2) wel iets meer op niveau 5 dan op niveau 2.

© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Bijlage 8: Luchtsnelheidsmetingen aan plantuitjes in lattenkisten

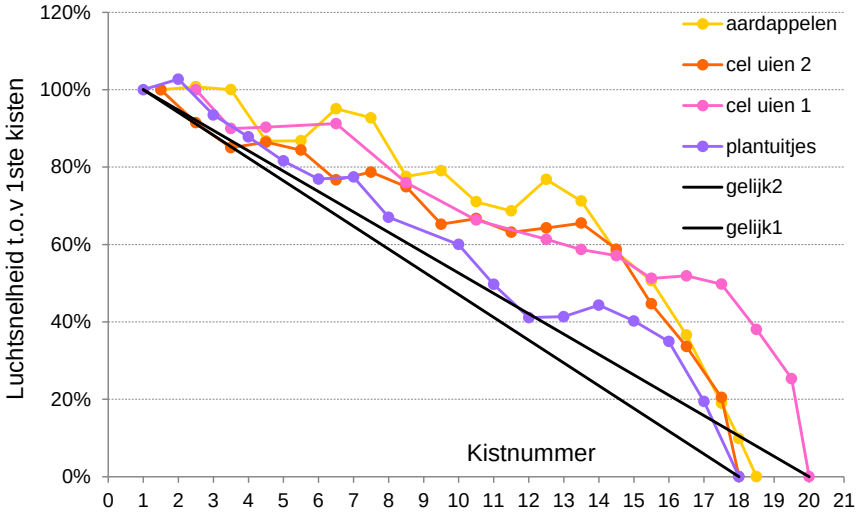
1 Werkwijze

De luchtsnelheidsmetingen in het blaassysteem zijn gedaan in de zg. ventilatorgang tussen de 2 rijen van 18 kisten diep, 6 hoog. In de kisten werden kleine plantuitjes bewaard. Er is gemeten op 15 (horizontaal) x 6 (verticaal) = 90 punten. Naast de 2 rijen was vrije ruimte. Van die gelegenheid is gebruik gemaakt door ook aan de kant waar de lucht uittreedt *in* de kistspleten de luchtsnelheid te meten. Deze metingen werden aan de eerste en de laatste 7 kisten gedaan, op laag 1 t/m laag 5.

Uit eerdere metingen bleek dat de eerste kisten in een blaassysteem minder lucht krijgen dan de kisten in het midden. De kisten aan het eind van de ventilatorgang krijgen juist veel meer lucht dan de kisten in het midden. Behalve de zg. 0-metingen, zijn daarom ook enkele test-metingen gedaan na het plaatsen van een verticaal gespannen gronddoek ter hoogte van kist 5 of 6 en kist 15 of 16 (zie foto's).

2 Resultaten

De resultaten van de metingen in de ventilatorgang laten zien dat door de hoge weerstand van de plantuitjes de luchtverdeling over de kisten een stuk gelijkmatiger is dan bij grote uien of bij aardappels, figuur 1.



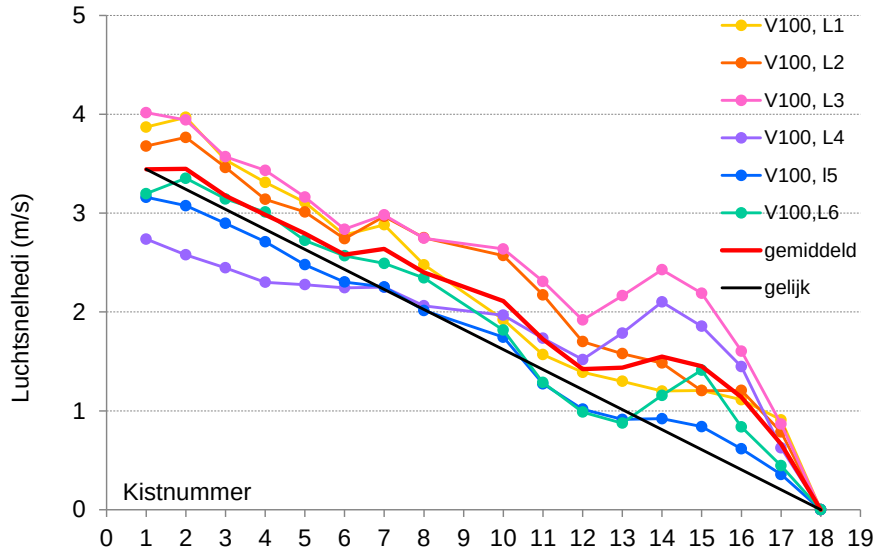
Figuur 1: Luchtverdeling bij plantuitjes, aardappelen en grote uien.

In de figuur is de gemiddelde luchtsnelheid over de onderste 4 of 6 kisten weergegeven. De zwarte lijnen geven de afname van de luchtsnelheid weer zoals die zou zijn indien steeds per evenveel lucht naar buiten

© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

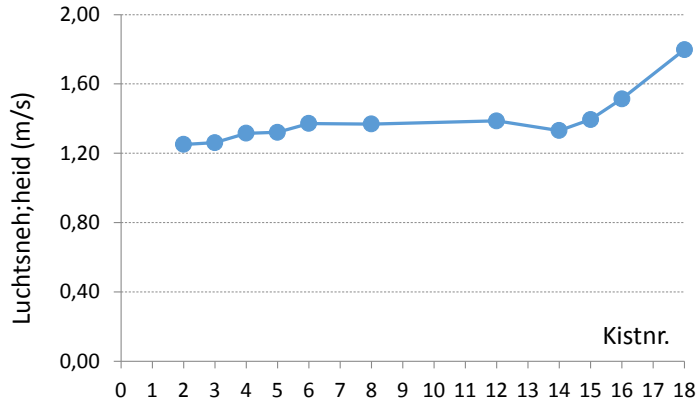
zou gaan, de gekleurde lijnen en punten geven de werkelijk gemeten luchtsnelheid weer. De paarse lijn van de plantuitjes ligt duidelijk dichter bij z'n zwarte lijn dan de overige lijnen.

Figuur 2 laat voor plantuitjes de luchtverdeling per laag zien. De lijnen liggen dicht bij elkaar en vertonen t/m kist 13 ongeveer gelijke hellingen (ongeveer gelijke afname van de snelheid, dus ongeveer gelijke hoeveelheid lucht per kist. Na kist 13/14 is de helling veel sterker, vooral bij laag 3.



Figuur 2: luchtverdeling per laag bij plantuitjes.

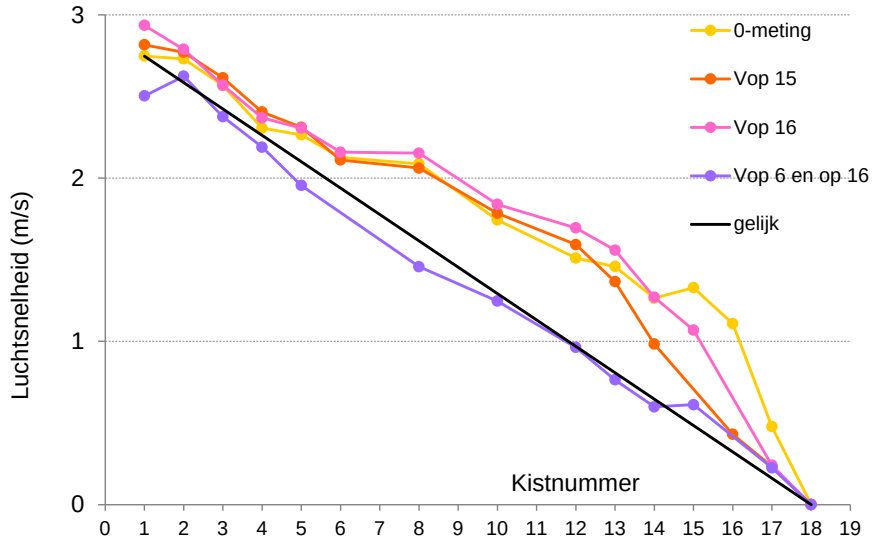
De metingen in de spleet aan de buitenkant van de kisten, zijn minder nauwkeurig en door de plaatsing dicht op uitjes en velletjes soms zeer afwijkend. In dit laatste geval zijn de metingen zijn buiten beschouwing gelaten. De gemiddelden over laag 1 t/m laag 5 zijn weergegeven in figuur 4 en geven een indicatie in dezelfde richting als de metingen in de ventilatorgang: Er komt door de eerste kisten minder lucht dan door de kisten in het midden, en door de laatste kisten fors meer dan door de middelste kisten.



Figuur 4: luchtsnelheden in de kistspleet

De verticaal in een V-vorm gespannen gronddoeken (zie foto's) zijn o.a. getest ter hoogte van kist 6 en kist 16. De luchtsnelheid is hierbij gemeten ter hoogte van de 3de laag kisten. De resultaten zijn samengevat in figuur 5.

© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.



Figuur 5: Luchtverdeling ter hoogte van laag 3.

Een V-doek ter hoogte van kist 15 heeft een gunstiger effect op de luchtverdeling over de laatste kisten dan een V-doek ter hoogte van kist 16. Maar op de verdeling over de eerste kisten heeft de plaatsing van het doek ter hoogte van kist 15 of kist 16 geen effect. Plaatsing van een 2de doek ter hoogte van kist 6 zorgt voor een vrijwel gelijke luchtverdeling over alle kiste.

3 Conclusies en aanbevelingen

- Door de (veel) hogere weerstand van de kleine plantuitjes, is de luchtverdeling over de kisten vergeleken met grote uien of aardappelen veel gelijkmatiger. Dit zit hem vooral in een gelijkmatigere verdeling over de eerste 13 – 14 kisten. De laatste 4 kisten krijgen echter ook bij de plantuitjes fors meer lucht dan de eerste 13 – 14 kisten.

- De V-doeken geplaatst ter hoogte van kist 6 en 16 zorgen voor een vrijwel gelijkmatige verdeling over alle kisten.
  (daarnaast: het werken met deze doeken is een stuk gemakkelijker dan met de multiplex versie en ze zijn preciezer te installeren. Ook de hoek van de V-vorm is eenvoudiger bij te stellen).

- Metingen in de spleet van een lattenkist zijn te vaak onnauwkeurig, bovendien in een volle cel onmogelijk.

Aanbeveling is om ook in een volle cel, met de gangbare grote uien of aardappels, met de V-doeken de juiste posities en V-hoek te bepalen om voor een vrijwel gelijkmatige luchtverdeling te zorgen.

© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Bijlage 9: Metingen bij bedrijf 5

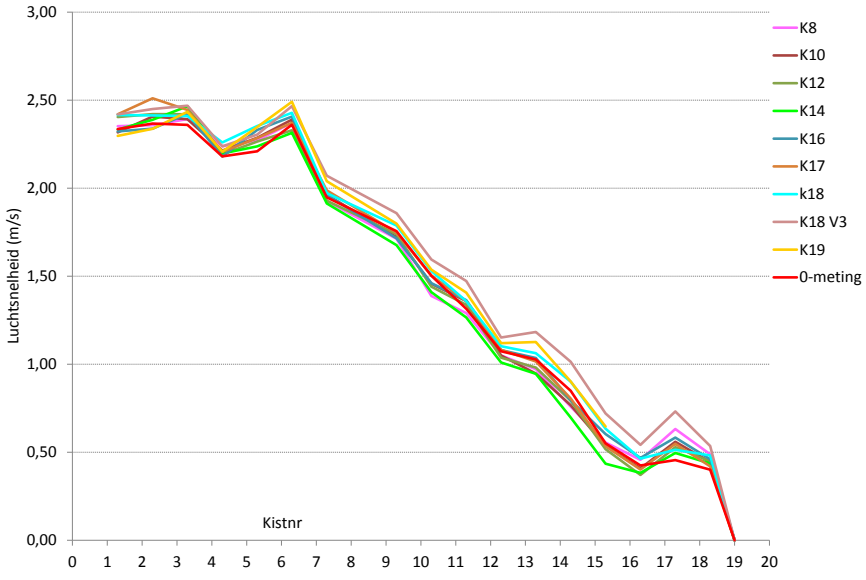
Bij deze **metingen** zijn 2 mogelijke sporen verder getest om de luchtverdeling over de kistenstapeling te verbeteren:

1) Het afdekken van de gang tussen dubbele rijen, zodat de uittredende lucht geremd wordt om op deze manier de luchtverdeling te verbeteren.

2) In de ventilatorgang met 3 hoekig gespannen gronddoek (V-doek) de luchtstroom op 2 plaatsen af remmen, nl. in het begin zodat de eerste kisten meer lucht krijgen, en aan het eind zodat de laatste minder lucht krijgen.

De **resultaten** van de 1de benadering, zie foto's, zijn samengevat in figuur 1 (metingen ter hoogte van de 3de laag):

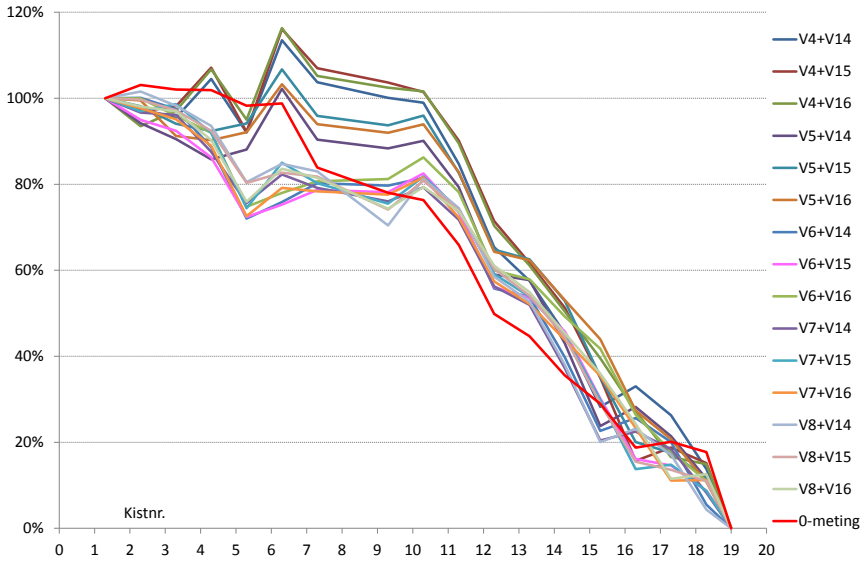
Opvallend is dat zelfs het afdekken van (bijna) de gehele tussengang (K18 of K19) nauwelijks effect op de luchtverdeling: De lucht wordt treedt nu niet uit in de afgedekte tussengang, maar gaat door de kistenrij ernaast en treedt dan uit in de volgende tussengang.



Figuur 1: resultaten bij afdekken tussengangen.

© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

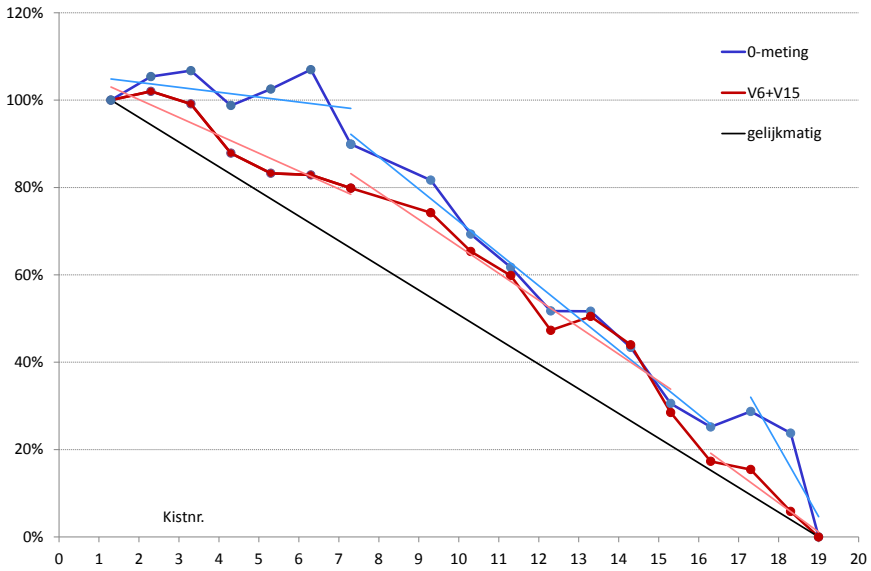
De 2 V-doeken (zie foto's) zijn op verschillende plaatsen getest: tussen kist 4 en 5 (V4), tussen kist 5 en 6 (V5), V6, V7 en V8, telkens gecombineerd met een 2de V-doek tussen kist 14 en 15 (V14), V15 en V16. De resultaten zijn samengevat in figuur 2 (metingen ter hoogte van de 3de laag).



Figuur 2: resultaten bij 2 gespannen V-doeken op verschillende posities.

Uit deze 15 combinaties is V6 + V15 gekozen om niet alleen op laag 3 maar ook op laag 2, 4 en 5 te meten. Het gemiddelde van deze metingen is vergeleken met het gemiddelde van de 0-metingen op deze lagen, figuur 3:

© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.



Figuur 3: resultaten over laag 2 t/m 5 V-doeken op positie ter hoogte van kist 6 en 15

Vergeleken met de 0-meting geeft de meting bij V6+V15 een gelijkmatiger beeld: De helling van de lijn door de 1ste 7 punten is veel steiler dan bij de 0-meting, en de helling van de lijn door de laatste 4 punten is juist minder steil.

Wat e.e.a. betekent voor de luchtverdeling over de kisten is samengevat in tabel 1:

Tabel 1: Verbetering luchtverdeling bij spannen van een V-doek ter hoogte van kist 6 en kist 15, zie figuur 3.

		1ste 7 kisten	middelste 7	laatste 4	gew. Gemid	spreiding
0-meting	afname luchtsnelheid (m/s/kist)	-0,011	-0,077	-0,083	-0,053	
	m3/uur/kist	24	166	178	114	68%
V6+V15	afname luchtsnelheid (m/s/kist)	-0,041	-0,068	-0,067	-0,057	
	m3/uur/kist	88	146	144	123	23%
gelijkmatig	afname luchtsnelheid (m/s/kist)		-0,056			
	m3/uur/kist		122			

Uit deze resultaten zijn de volgende **conclusies** te trekken:

- Het geheel of gedeeltelijk afsluiten en afdekken van de tussengangen heeft geen/nauwelijks effect op de luchtverdeling. De lucht zoekt z'n weg naar buiten via de kisten ernaast en de daaropvolgende tussengangen.
- Dit geeft eens te meer aan dat de weerstand van de kist veel te laag is voor een goede luchtverdeling.
- Dit verklaart ook waarom bij zuigende systemen het afdekken van alleen 2 tussengangen geen effect heeft.

- Het aanbrengen van de gespannen V-doeken verbetert de luchtverdeling wel. Vooral in combinatie met meer weerstand in de kist, zoals bij de vorige metingen bij plantuitjes.

© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

To explore the potential of nature to improve the quality of life

Wageningen University & Research
Praktijkonderzoek AGV
Edelhertweg 1
Postbus 430
8200 AK Lelystad
T | (+31)320 29 11 11 1
www.wur.nl/agv

Rapport 37 361 628 00

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.