



Natuurkundige analyse van de vocht- en energie balans van een tuinbouwkas

Het handhaven van een energiezuinig groeiklimaat in kassen met behulp van natuurlijke en geforceerde ventilatie

P.A. van Weel¹, J.O. Voogt²

¹ Wageningen UR Glastuinbouw, Wageningen

² Hoogendoorn Growthmanagement, Vlaardingen



Referaat

Planten zijn net als alles onderhevig aan de wetten van de natuurkunde. De wet van behoud van energie speelt daarbij een belangrijke rol. In dit rapport schetsen de auteurs in hoofdlijnen welke factoren van belang zijn voor de energiehuishouding van een plant en een kas en hoe een ondernemer natuurkundige kennis kan inzetten in de klimaatregeling. De noodzaak voor een opfrissing van deze kennis kwam aan het licht toen “Het Nieuwe Telen” op de bedrijven zijn intrede deed. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de mogelijkheid om een forse besparing op warmte-energie te behalen door meer te isoleren zonder de traditionele negatieve gevolgen van het sluiten van schermen zoals schimmelziekten of gebrek aan verdamping door oplopende luchtvochtigheid of stilstaande lucht. Uit gesprekken met ondernemers en adviseurs bleek maar al te vaak dat klimaatregelen vooral gebaseerd is op menselijk gevoel. Een plant heeft echter een heel andere energiehuishouding dan een mens. De mens produceert zelf zijn benodigde energie, een plant is geheel aangewezen op energietoevoer van buiten door straling en convector. En ook het mechanisme om een teveel aan toegevoerde energie af te voeren verschilt. Als een mens zich onbehaaglijk voelt vanwege een dood en kalm klimaat, hoeft dat vaak niet te betekenen dat een plant dat ook als stress ervaart of omgekeerd. Veel zonnestraling gecombineerd met een lage luchtvochtigheid is voor een mens goed uit te houden, terwijl een plant dat juist als stress ervaart. En een hoge temperatuur gecombineerd met een hoge RV is voor een mens zeer onaangenaam, terwijl een plant daar juist flink bij kan groeien omdat er veel CO₂ opgenomen kan worden. Zonder straling van de zon geeft een hoge RV echter meer risico voor schimmelziekten en dus moeten we leren begrijpen hoe we dat risico sterk kunnen verkleinen. De natuurwetten bieden ons de kennis die we daarvoor nodig hebben. Dit rapport is gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie en het Productschap Tuinbouw.

Abstract

Physics plays an important role in plant production. The law of conservation of energy may be one of the most important aspects of physics in greenhouses. In this report, the authors describe what factors influence the energy-balance of a plant in a greenhouse and how a producer of plants can use them to obtain a greenhouse climate that suits best to the needs of the plants. Not based on its effects on human well-being, leading to a climate control based on human feelings, but on laws of physics to create an environment where a plant can control its stomata in such a way that over-temperature is prevented, sufficient transpiration is achieved for the transport of chemical elements and CO₂ consumption is maximised. Also, the understanding of laws of physics, can help us to get more grip on fungal diseases and how to prevent them. This opens new roads to a substantial reduction of heat losses of a greenhouse. This report was financed by the Ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation and the Dutch Horticultural Product Board.

© 2012 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Violierenweg 1
: Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Tel. : 0317 - 48 56 81
Fax : 010 - 52 25 193
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

1	Inleiding / probleemstelling	5
2	Doel van deze analyse	7
3	De energie balans van de kas	9
3.1	Energieafvoer door ventilatie	9
3.2	Effectief en werkelijk ventilatievoud	10
3.3	De vochtbalans van de kas	10
3.4	De energiebalans en de waterbalans van het gewas	10
3.5	Energie afvoer door convectie	10
3.6	Stressvermindering door schermen of door verneveling	11
3.7	Planttemperatuur versus luchttemperatuur	11
3.8	Functie van de huidmondjes in energie- en water balans	11
3.9	Oorzaken en gevolgen van uitstraling	12
3.10	Energiebalans en vochtbalans in verschillende situaties en seizoenen	14
3.10.1	De dagsituatie in de winter	14
3.10.2	De dagsituatie in het voorjaar	15
3.10.3	De nachtsituatie in de winter en het voorjaar	15
3.10.4	De nachtsituatie in het voorjaar en de zomer	15
3.10.5	De nachtsituatie in het najaar	16
3.11	Verschil enthalpie en vocht binnen - buiten	16
3.11.1	Gewas- en regio afhankelijkheid	19
4	Vochtbeheersing onder gesloten schermdoek	21
4.1	Vochtproblemen voorkomen is beter dan genezen	21
4.2	Een actief groeiklimaat voor de plant	22
5	Luchtbeweging in de kas	23
5.1	Luchtbeweging onvoorspelbaar en moeilijk stuurbaar	25
5.2	Natuurlijke luchtbeweging ten opzichte van geforceerde beweging	25
5.3	Hoe kunnen we gewenste luchtbeweging creëren?	27
5.4	Voordelen van verticale luchtbeweging	27
5.5	Het tegengaan van ongewenste luchtstromingen	28
5.6	Systemen voor luchtbeweging met ventilatoren	29
6	Ontvochtigen met het inblazen van buitenlucht	33
6.1	De natuurkundige principes	33
6.2	Systemen voor buitenlucht inblazen	34
6.3	Warmterugwinning niet rendabel	35
6.4	Vochtbeheersing en luchtbeweging niet combineren	35

7	Effectiever schermen tegen warmteverlies en uitstraling	37
8	Samenvatting	39
9	Bijlagen	41
9.1	Psychrodiagram	41
9.2	Begrippenkader	41

1 Inleiding / probleemstelling

Het telen van gewassen, zowel vruchtgroenten als sierteelt, in kassen komt voort uit de noodzaak om de gewassen te beschermen tegen de wisselingen van het weer en de omstandigheden voor een optimale productie en kwaliteit te kunnen beheersen.

De keerzijde is dat er in de moderne en steeds beter geïsoleerde kassen ook ongewenste situaties kunnen ontstaan door met name ophoping van vocht als er geen goede balans is tussen vochtproductie door o.a. gewasverdamping en vochtafvoer.

Met de gangbare middelen om vocht af te voeren zoals het gedeeltelijk openen van schermen (vochtkier), het inzetten van de verwarming voor “droogstoken” (minimum buis) en het gedeeltelijk openen van de luchtramen (raamstand vocht) lukt dit slechts in zekere mate en het gaat gepaard met onnodig veel energie verbruik en ongewenste verstoring van het groeiklimaat zoals temperatuurverschillen, kouval en condensatie op het gewas. Veelal wordt bij het besturen van het kasklimaat afgegaan op het gevoel dat een minimum buis of luchtbeweging de verdamping stimuleert en daarmee de gewasgroei of de opname van calcium. Uit metingen blijkt dat dit gevoel onbetrouwbaar is, zeker in dichtere of beter geïsoleerde kassen. De hoeveelheid vocht die tegen het kasdek of tegen het isolatiescherm condenseert is mede afhankelijk van de mate van isoleren of het toepassen van kunstlicht. Ook daarmee zal in steeds grotere mate rekening gehouden moeten worden.

Recent zijn een aantal nieuwe instrumenten op de markt gekomen om de vochthuishouding en de verdamping in de kas beter en nauwkeuriger te beïnvloeden namelijk verticale ventilatie en het geforceerd inblazen van buitenlucht.

Het effectief inzetten van “oude” en “nieuwe” instrumenten blijkt in de praktijk echter nog niet zo eenvoudig. Bij onderzoeken en testen blijkt ondermeer dat de luchtbeweging in een echte kas heel anders kan zijn dan op de tekentafel en dat het effect van ventilatoren mede daardoor niet overeenkomt met de verwachtingen. Verder blijkt dat veranderingen in het kasklimaat soms onverwachte effecten geven op de groei en ontwikkeling van het gewas. Deels omdat zoals gezegd de werkelijkheid anders is dan de gehanteerde theorie, deels omdat de gangbare methoden in de “oude” praktijk geen stand houden bij een nadere natuurkundige analyse. Vandaar de algemeen gehoorde verzuchting: “we moeten opnieuw leren klimaatregelen”.

2 Doel van deze analyse

Het doel is om vanuit een natuurkundige benadering een helder beeld te krijgen van wat er werkelijk gebeurt in een kas met een gewas onder verschillende omstandigheden en op welke manier de oude en nieuwe instrumenten daar invloed op hebben. Om vervolgens te komen tot richtlijnen voor kasinstallaties en het effectief gebruik daarvan.

De tekst bevat naast de algemene analyse praktische toepassingen op karakteristieke en herkenbare situaties. De opzet is zodanig gekozen dat het geheel of in delen gepresenteerd kan worden en eventueel later eenvoudig kan worden aangevuld.

Om de toegankelijkheid te verhogen is een korte, op de praktijk gerichte omschrijving van in de tekst gehanteerde begrippen opgenomen. Zie Bijlage Begrippenkader.

3 De energie balans van de kas

Als we nauwkeurig gaan kijken naar alle verschillende vormen van energie uitwisseling die in een kas plaatsvinden dan is dat een zeer uitgebreide en complexe lijst.

Maar er is één eenvoudige regel die altijd opgaat, en dat is de Wet van behoud van energie. Energie kan onderling worden uitgewisseld door straling of convection. Energie kan worden gebruikt voor opwarming of voor verdamping. Maar energie kan nooit spontaan ontstaan of verdwijnen. En dat maakt het rekenen aan de energiebalans weer overzichtelijk: alle energiestromen moeten bij elkaar opgeteld precies 0 opleveren.

En dat geldt niet alleen voor technische elementen als een verwarmingsbuis of een assimilatielamp, maar ook voor een plant of een deel daarvan zoals een blad. En dat heeft de laatste jaren geleid tot geheel nieuwe inzichten in gewasverdamping en huidmondjes gedrag die onder andere bij de semi gesloten teelt van groot belang gebleken zijn.

Overdag zorgt de zon voor verreweg de meeste energietoevoer in de vorm van straling. Hierdoor warmt de kasconstructie, de lucht, de bodem en het gewas op. Door convection geeft het kasdek weer energie af aan de buitenlucht, maar ook door ventilatie door de luchtramen. De lucht die zo uit de kas verdwijnt bevat zowel voelbare als latente warmte, maar het latente deel is verreweg het grootste. Dat betekent in praktische zin dat het vochtgehalte van de lucht een veel belangrijker rol speelt in de energiebalans dan de kaslucht temperatuur. Een deel van de straling die door het gewas wordt opgevangen wordt omgezet in verdamping. Omdat de verdampingswarmte van water zo enorm hoog is, namelijk ca 2500 kJ/kg is dit een krachtige manier van koeling.

Om hiervan een idee te geven kan de volgende berekening gemaakt worden. Als midden in de zomer de globale straling een waarde van ca 1000 W/m² bereikt dan dringt ca 70% hiervan, dus 700 W/m² door in de kas. De andere 30% wordt direct of indirect gereflecteerd door het glas of het gewas. Per uur levert dat een energietoevoer op van $700 \times 3600 = 2,52 \text{ MJ/m}^2$. Een enorme hoeveelheid energie die gelijk staat aan het verstoken van bijna 0,1 m³ aardgas. Deze hoeveelheid energie kan echter worden “geabsorbeerd” door het verdampen van ca 1 liter water.

3.1 Energieafvoer door ventilatie

Zonnestraling levert veel energietoevoer op, en om te voorkomen dat de kastemperatuur te ver oploopt moet die energie ook afgevoerd worden.

Als de kastemperatuur hoger is dan de buitentemperatuur zal er energie wegvloeien vanwege geleiding via het glas van de kasomhulling. Stel dat het temperatuur verschil binnen-buiten 10 graden is, dan zal er dus ongeveer $10 \times 7 = 70 \text{ W/m}^2$ worden afgevoerd.

Bij hogere instraling, en we hebben gezien dat dit in de zomer tot ca 700 W/m² kan oplopen is dit dus veel te weinig. Het verschil moet worden afgevoerd door ventilatie. Hoeveel ventilatie hier voor nodig is laat zich berekenen uit het enthalpie verschil binnen-buiten. Bij een kastemperatuur van 25 graden en een RV van 70% lezen we in het Psychrodiagram voor de enthalpie de waarde 61 kJ/kg af. Stel dat het buiten 23 graden is bij een RV van 50%, dan is de enthalpie ca 45 kJ/kg.

Per uur is de energietoevoer van de zon : $700 \times 3600 = 2,52 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{u}$

Om dit af te voeren is dus nodig een ventilatiesnelheid van :

$$2,52 \text{ MJ} / (61 - 45) \text{ kJ} = 157,5 \text{ kg luchtuitwisseling per m}^2 \cdot \text{uur}$$

Door te delen door het soortelijk gewicht van lucht, ca 1,15 kg/m³ en te delen door de kashoogte van ca 5 mtr krijgen we het ventilatievoud van ca 27,5 per uur. De ramen moeten dus zover open staan dat de hele kasinhoud bijna elke 2 minuten ververscht wordt. Voor de eenvoud hebben we hierbij het effect van geleiding verwaarloosd.

3.2 Effectief en werkelijk ventilatievoud

Bovenstaande berekening geeft in feite het effectieve of gemiddelde ventilatievoud aan, alsof de luchtuitwisseling door de luchtramen strikt geordend plaats vindt in nette pakketjes lucht die in - en uit gaan. In werkelijkheid is dat veel chaotischer en zal bovenin de kas vlak bij de luchtramen het ventilatievoud veel hoger zijn dan onderin waar het gewas remmend werkt op de luchtbeweging. Sommige onderzoeken wijzen op een factor 10 verschil in ventilatievoud tussen de bovenlaag en de onderlaag.

3.3 De vochtbalans van de kas

Door ventilatie wordt niet alleen energie afgevoerd, maar ook vocht. De mate waarin dat gebeurt is afhankelijk van het verschil in absoluut vochtgehalte binnen en buiten.

In de hiervoor beschreven situatie bevat de kaslucht (25 grd, RV = 70%) 14 gr/kg waterdamp. De buitenlucht bevat (23 grd, RV=50%) ca 8,5 gr/kg.

Bij de berekende ventilatiesnelheid van 157,5 wordt er dan:

$$157,5 \times (14 - 8,5) = 866 \text{ gram/m}^2\text{.uur aan vocht afgevoerd.}$$

Als de gewasverdamping minder is dan deze hoeveelheid zal de kaslucht dus droger worden, en als de gewasverdamping hoger is zal de vochtigheid toenemen.

Netto 700 W/m² instraling is weliswaar een extreme situatie, maar het geeft wel aan dat bij hoge instraling het uithoudingsvermogen van het gewas op de proef wordt gesteld.

3.4 De energiebalans en de waterbalans van het gewas

We kunnen de energiebalans ook toepassen op het gewas en zelfs op elk blad en elke bloem afzonderlijk. Dus als een blad een bepaalde hoeveelheid energie krijgt toegevoerd, dan moet dit ook worden afgevoerd.

De krachtigste manier is door verdamping. We hebben gezien dat de maximale hoeveelheid straling in Nederland, ca 700 W/m² in de kas, kan worden geabsorbeerd door het verdampen van ca 1 liter water / m².uur. Dat is voor veel gewassen veel te veel, zeker om lang vol te houden.

Gelukkig zijn er een aantal factoren die de plant helpen om de energiebalans toch in evenwicht te houden:

- de lichtonderschepping van het gewas is vrijwel altijd lager dan 100% . De plant kan dit zelf beïnvloeden door de bladeren te draaien of “slap” te laten hangen.
- planten zijn in staat om een flink deel van de (IR) straling te reflecteren. Planten met glanzende bladeren zijn in het voordeel.
- Het gewas kan ook energie afstaan door convectie.

3.5 Energie afvoer door convectie

Het feit dat planten energie kunnen afstaan door convectie wordt vaak onderschat. Het is weliswaar een klein effect ten opzichte van gewasverdamping, maar het is cruciaal voor de plant om te overleven, zeker voor matig verdampende gewassen. Daarom iets meer over convectie rondom de plant.

Afhankelijk van o.a. luchtbeweging, de vorm en de stand van de bladeren kunnen we de convectie schatten op ca 10 - 20 W/m².K voor elke m² blad. Hierbij mogen we meenemen dat het bladoppervlak groter is dan het kasoppervlak. Deze verhouding wordt de LAI Leaf Area Index genoemd en bedraagt voor Tomaat en Roos bijvoorbeeld 3-4 en voor Paprika 5-7. De effectieve overdracht voor een volgroeid tomatengewas ligt in de praktijk rond ca 50 W/m².K voor elke m² kas.

Als de plant voldoende water ter beschikking heeft en voldoende verdampingscapaciteit om alle zonne-energie af te voeren, dan zal de bladtemperatuur niet behoeven te stijgen tot boven de kaslucht temperatuur. Bij sterk verdampende gewassen zal het blad zelfs kouder worden dan zijn omgeving doordat meer water verdampt wordt dan nodig is om de stralingsenergie te compenseren. De extra verdampingsenergie wordt geleverd uit de kaslucht door convectie. Als het blad kouder wordt dan de omgeving stroomt immers extra energie toe. Dit wordt het natte-bol effect genoemd.

Als de plant daarentegen onvoldoende water of verdampingsvermogen ter beschikking heeft om alle zonne-energie af te voeren door verdamping zal de planttemperatuur toenemen en bij een verschil van bijvoorbeeld 1,5 graad met de kaslucht wordt dan $1,5 \times 50$ (tomaten gewas) = 75 W/m^2 door convectie afgevoerd. En bij potplanten die minder verdampingscapaciteit hebben kan het verschil in planttemperatuur en kastemperatuur oplopen in de richting van 5 - 10 graden, zodat de convectieve warmteoverdracht navenant toeneemt.

3.6 Stressvermindering door schermen of door verneveling

Bij weinig verdampende teelten zal de bladtemperatuur door de instraling dus behoorlijk boven de kastemperatuur stijgen. Door de oplopende VPD-plant moeten de huidmondjes sluiten om uitdroging te voorkomen en komt de plant in stress. Om dit te voorkomen wordt vaak geschermd om de toegelaten zonne-energie te verminderen, maar op basis van de energiebalans kan ook worden beredeneerd dat het verhogen van de vochtinhoud van de lucht door middel van verneveling ook kan zorgen voor een betere vocht balans en dus minder stress.

Steeds duidelijker wordt dat planten beter functioneren bij de combinatie van hoge temperatuur en hoge RV, dan bij lagere temperatuur en lage RV. Anders gezegd: plantstress kan vaak beter worden bestreden met een hoge RV dan met een lagere temperatuur of een lager lichtniveau.

3.7 Planttemperatuur versus luchttemperatuur

Het besef neemt toe dat de werkelijke gerealiseerde temperatuur van blad, vrucht of groeipunt meer zegt over groei, vruchtzetting of afrijping dan alleen de luchttemperatuur. Het probleem is dat vrijwel alle kennis over planten groei gedocumenteerd is in de vorm van luchttemperaturen en slechts zelden in de vorm van planttemperaturen. Laat staan dat temperaturen van de verschillende zones (wortels, vruchten, kop,) hierbij in rekening zijn gebracht. Dat maakt onder andere dat veel onderzoeksresultaten die gevonden zijn in klassieke open kassen niet één op één vertaald kunnen worden naar teelten in semi gesloten kassen waar het verticale temperatuurprofiel heel anders kan zijn dan in de gangbare open kas

3.8 Functie van de huidmondjes in energie- en water balans

De plant heeft niet alleen te maken met de energiebalans, maar ook met een waterbalans. Al het water voor de verdamping moet opgenomen kunnen worden door de wortels, anders droogt de plant uit. Om uitdroging te voorkomen beschikt de plant over huidmondjes (stomata).

Het is bekend dat planten met hun huidmondjes de mate van verdamping kunnen beïnvloeden. Maar hoe werkt dat nu precies? Welnu, dat werkt op een indirecte manier via de energiebalans. Immers als de huidmondjes gedeeltelijk sluiten, maar de energietoevoer blijft het zelfde, dan zal de planttemperatuur toenemen. Hierdoor wordt het verschil tussen planttemperatuur en kaslucht groter en zal de convectie afvoer toenemen. En dus blijft er minder energie over om water te verdampen. Met andere woorden: door de stand van de huidmondjes regelt de plant zelf de bladtemperatuur en daarmee de verhouding tussen convectie en verdamping.

Dit druist in tegen de heersende opvatting dat de VPD bepalend is voor de verdamping. Uit de energiebalans volgt in feite het omgekeerde, namelijk dat de plant met de huidmondjes zelf de bladtemperatuur ten opzichte van de kasluchttemperatuur regelt. En bij een hogere bladtemperatuur hoort een hoge dampspanning. Een hoge VPD-plant is dus eerder het gevolg van het sluiten van huidmondjes dan een teken voor een hoge verdamping.

3.9 Oorzaken en gevolgen van uitstraling

Uitstraling is een algemeen bekend verschijnsel waarmee bedoeld wordt dat iets kan afkoelen door het afgeven van langgolvlige stralingswarmte aan een koudere omgeving. We ervaren dit zelf als we in een warme kamer dicht bij een koud raam staan, of als we op een zomeravond bij heldere hemel in de tuin zitten. We kunnen dit tegen gaan door de gordijnen dicht te trekken of een parasol op te zetten.

Ook voor gewassen in de kas en met name siergewassen speelt dit probleem. Stellen we ons voor een bloem die op een steel boven het bladgewas uitsteekt bij een kastemperatuur van 18 graden, terwijl het kasdek slechts 10 graden is.

Volgens de formule van uitstraling geeft de bloem dan ca 40 W/m² aan langgolvlige straling af aan het kasdek. Hierdoor zal de temperatuur van de bloem dalen tot onder de kasluchttemperatuur en daardoor zal er een convectieve warmtestroom op gang komen die de bloem weer opwarmt. Uiteindelijk zal er een evenwicht ontstaan waarbij de som van alle energie stromen precies 0 is.

Maar het is heel goed mogelijk dat dit evenwicht ontstaat bij een bloemtemperatuur die onder het dauwpunt van de kaslucht ligt, en dat de bloem dus nat wordt van condens. In feite is dit hetzelfde fenomeen waardoor autoruiten 's nachts aan de buitenkant beslaan onder een heldere hemel.

Onnodig te zeggen dat hiermee de bloem heel kwetsbaar is voor o.a. Botrytis en dit dus voorkomen moet worden. De bekende maatregel is dan het sluiten van het energiescherm, maar het is helaas een misvatting om te denken dat het probleem hiermee volledig is opgelost. Want als in het zelfde voorbeeld de buitentemperatuur 0 graden is, dan zal de temperatuur van het schermdoek waarschijnlijk in de buurt van de 10 graden liggen en zal de bloem dus nog steeds tot onder het dauwpunt kunnen afkoelen.

In het kader van het project vochtbeheersing in Gerbera is een oriënterend onderzoek gedaan naar de gevolgen van uitstraling.

Met microsensoren werd de temperatuur van de bloem, zowel in het hart als tussen de bloemblaadjes gemeten en vergeleken met de kasluchttemperatuur.

Het bleek dat de aanwezigheid van een (extra) scherm duidelijk kon worden vastgesteld aan de hand van de bloemtemperatuur.



Figuur 3.9.1. Met een micro-sensor is de temperatuur in het hart van de bloem gemeten.

Het effect van uitstraling al dan niet met een (extra) scherm blijkt uit de volgende figuur:



Figuur 3.9.2. Gemeten temperaturen van geschermden en ongeschermden bloem vergeleken met de kasluchttemperatuur.

Uit het verloop van de verschillende lijnen komt naar voren dat de ongeschermd bloem duidelijk lager in temperatuur is dan de afgeschermd bloem. En dat kan juist het verschil uitmaken tussen wel en geen condensatie in de bloem of tussen de blaadjes en dus wel of geen kieming van Botrytis sporen.

De conclusie uit dit oriënterend onderzoek is dat uitstraling als oorzaak van Botrytis waarschijnlijk een onderschatte factor is en dat er in de praktijk nog veel te winnen is met een betere schermstrategie. Maar ook dat voor het daadwerkelijk oplossen van dit probleem een dubbel energiescherm noodzakelijk is.

3.10 Energiebalans en vochtbalans in verschillende situaties en seizoenen

De energiebalans speelt een centrale rol in het kasklimaat, en inzicht in de energiebalans geeft dus een handvat om het klimaatverloop te begrijpen en te beïnvloeden met de verschillende regelinstrumenten. Daarbij is niet alleen de energiebalans en de vochtbalans van de kas maatgevend, maar ook die van het gewas dat zich immers moet aanpassen aan de omstandigheden.

Globaal kunnen we per etmaal de volgende 6 kenmerkende situaties in de kas onderscheiden:

- nacht, zonder PAR straling
- nacht, maar met kunstmatige belichting
- overgang nacht -> dag
- dag met weinig instraling
- dag met veel instraling
- overgang dag -> nacht

Omdat de energiebalans en de vochtbalans weer samenhangen met de buitenomstandigheden is het zinvol om verder onderscheid te maken tussen verschillende seizoenen of weertypen:

- winter; weinig straling, lage buitentemperatuur, lage luchtvochtigheid
- voorjaar ; toenemende straling, lage buitentemperatuur, lage luchtvochtigheid
- zomer ; veel straling, hoge buitentemperatuur, lage luchtvochtigheid
- najaar, afnemende straling, hoge buitentemperatuur en hoge luchtvochtigheid

Voor de volledigheid zouden we dus een matrix moeten maken van alle voorkomende combinaties. In het kader van dit rapport worden enkele situaties behandeld, zodat de lezer vervolgens zelf de overige situaties naar behoefte kan uitwerken. We zullen beginnen met de “gemakkelijke” situaties en geleidelijk opbouwen naar de “moeilijke” gevallen.

3.10.1 De dagsituatie in de winter

Voor de groei van het gewas is PAR licht onmisbaar, dus moet elk straaltje van de schaarse zon worden benut. Daarbij moeten we ons wel realiseren dat door de lage buitentemperatuur veel energie nodig is om de kas op temperatuur te houden. En als de zon schijnt hebben we ook nog extra energieverlies door uitstraling naar de heldere hemel. Het zal dan ook regelmatig voorkomen dat het open trekken van het energiescherm om de zon zijn werk te laten doen beduidend meer stook energie kost, dan dat er aan stralingsenergie binnen komt. Een eenvoudig rekenvoorbeeld laat dit zien. Stel de kastemperatuur is 18 graden, en buiten is het 5 graden. Bij een K-waarde van $7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ is het warmteverlies dus $(18 - 5) \times 7 = 91 \text{ W/m}^2$.

De globale straling is 100 W/m^2 , en daarvan komt minder dan 70% in de kas. Bij een heldere hemel kan de uitstraling gemakkelijk 50 W/m^2 zijn.

De energiebalans levert dan op (windstil weer):

Een netto verlies van : $91 + 50 - 70 = 71 \text{ W/m}^2$. Met een beetje wind kan dit gemakkelijk nog 50% meer zijn.

Even voor het gemak: 100 W/m^2 warmteverlies betekent dat er $100 [\text{W/m}^2] \times 10.000 [\text{m}^2 / \text{ha}] \times 3600 [\text{sec/uur}] / 31,65 [\text{MJ/m}^3] =$ bijna 115 m^3 aardgas per hectare per uur verstoekt moet worden om de kas op temperatuur te houden.

Het is dus zeker de moeite waard om een lichtdoorlatend scherm, of vaste folie te overwegen.

Vochtproblemen zullen nauwelijks aan de orde zijn omdat de condensatie op het kasdek zorgt voor voldoende afvoer en bovendien de verdamping beperkt is.

3.10.2 De dagsituatie in het voorjaar

Door de toenemende straling zit de groei er goed in en blijft de kastemperatuur goed op peil met weinig of geen stookkosten. In het vroege voorjaar is de gewasverdamping nog beperkt (minder straling en kleiner gewas) en door de lage buitentemperatuur kan veel vocht afgevoerd worden door condensatie aan het kasdek. Als dit onvoldoende is kan overtollige energie en vocht door het grote verschil in temperatuur en vochtigheid binnen- buiten afgevoerd worden met een minimale raamstand.

Later in het voorjaar treedt er een verschuiving op doordat de straling verder toeneemt, en meestal ook de gewasgrootte en daarmee de verdamping. Er moet steeds meer geventileerd worden voor vochtafvoer en dat kan bij lage buitentemperaturen wel eens lastig zijn doordat er “teveel kou in de kas gelucht wordt”. Bij moeilijk verdampende gewassen kan het omgekeerd ook voorkomen dat de kaslucht te droog wordt als er voor de temperatuur handhaving ook maar een “snippertje” gelucht moet worden.

3.10.3 De nachtsituatie in de winter en het voorjaar

Vanwege de lage buitentemperatuur is het verstandig om zo veel mogelijk te schermen met zomogelijk een dubbel energie doek om de stookkosten laag te houden. Hierdoor wordt de K-waarde van de kas verlaagd.

Er behoeft dan weinig gestookt te worden om de energiebalans in evenwicht te houden.

Maar hoe staat het met de vochtbalans?

De gewasverdamping in de nacht zonder belichting hangt voornamelijk af van de luchtvochtigheid uitgedrukt in RV of VD. Als de buitentemperatuur laag is zal ook de kasdektemperatuur laag zijn en door condensatie zal dan de vochtigheid boven het gesloten schermdoek ook laag zijn.

Het overtollig vocht uit de kas zal door het poreuze schermdoek naar boven trekken (diffusie) en er zal een evenwicht optreden tussen verdamping en vochtafvoer bij een RV van bijvoorbeeld 75 - 85%. Bij traag verdampende gewassen kan dit aanzienlijk lager zijn, bijvoorbeeld 50%.

3.10.4 De nachtsituatie in het voorjaar en de zomer

Naarmate het voorjaar vordert zullen de nachttemperaturen steeds hoger worden. Dat is gunstig voor de energie balans, want er hoeft minder gestookt te worden.

Maar voor de vochtbalans is dit problematisch. Er zal immers minder condensatie optreden op het kasdek en het verschil in vochtigheid onder en boven het schermdoek wordt dus kleiner. Het afvoeren van vocht door een gesloten energiescherm wordt moeilijker en dat zal er toe leiden dat de RV in de kas hogere waarden gaat bereiken.

We komen steeds meer in de gevarenzone zoals vermeld onder het hoofdstuk “actief groeiklimaat voor de plant”. Dit moet voorkomen worden.

De vraag is nu; hoe kunnen we dit het beste aanpakken? De gangbare manier is vaak: het inzetten van een minimum buis, vervolgens een vochtkier in het schermdoek, en als laatste de luchtramen op een kiertje. Natuurkundig gezien is dit echter de verkeerde manier en is juist de omgekeerde volgorde de beste. Zie verder onder “vochtbeheersing onder gesloten schermdoek”.

3.10.5 De nachtsituatie in het najaar

Deze situatie wordt gekenmerkt door het moeizaam afvoeren van vocht uit de kas. Komend vanuit een zonnrijke periode is het gewas vaak sterk ontwikkeld (vegetatief) met een hoge LAI en zal dus bij een gegeven vochtigheid in de kas relatief veel vocht produceren.

Dit terwijl het verschil in vochtigheid binnen-buiten juist gering is. En bovendien wordt er door het afnemende zonlicht juist gestreefd naar een zo laag mogelijke etmaal temperatuur. In de praktijk betekent dit: de (energie) schermen en de ramen wijd open zetten en er verder het beste van hopen.

Maar is dit dan per definitie ook de beste (of de minst slechte) aanpak?

Allereerst moeten we de situatie dan toetsen aan de voorwaarden voor een “actief groeiklimaat voor de plant” Zie het betreffende hoofdstuk.

In deze situatie zal dat betekenen dat er gezorgd moet worden voor luchtbeweging.

Maar er is nog meer nodig, en dat is voldoende verschil tussen de absolute vochtigheid binnen en buiten. Immers als er geen verschil is, zal er geen vocht afgevoerd kunnen worden. En de enige mogelijkheid is om de kastemperatuur te verhogen ten opzichte van de buitentemperatuur, door te stoken. We moeten dit echter slim doen, want stoken kost geld, maar stoken bevordert ook de gewasverdamping. Het inzetten van een minimum buis in de geschetste situatie is dus niet handig. Doordat alles open staat wordt de kastemperatuur er nauwelijks door verhoogd, en er wordt wel meer vocht afgevoerd, maar ook meer vocht geproduceerd en de RV zal dus weinig afnemen.

De beste aanpak is daarom: het energiedoek sluiten, de kastemperatuur enige graden verhogen ten opzichte van de buitentemperatuur om een kunstmatig verschil te creëren en de (geforceerde) ventilatie te regelen op RV.

Een goede manier is om de verwarmingsregeling te sturen op een bepaald minimaal verschil in enthalpie binnen-buiten.

3.11 Verschil enthalpie en vocht binnen - buiten

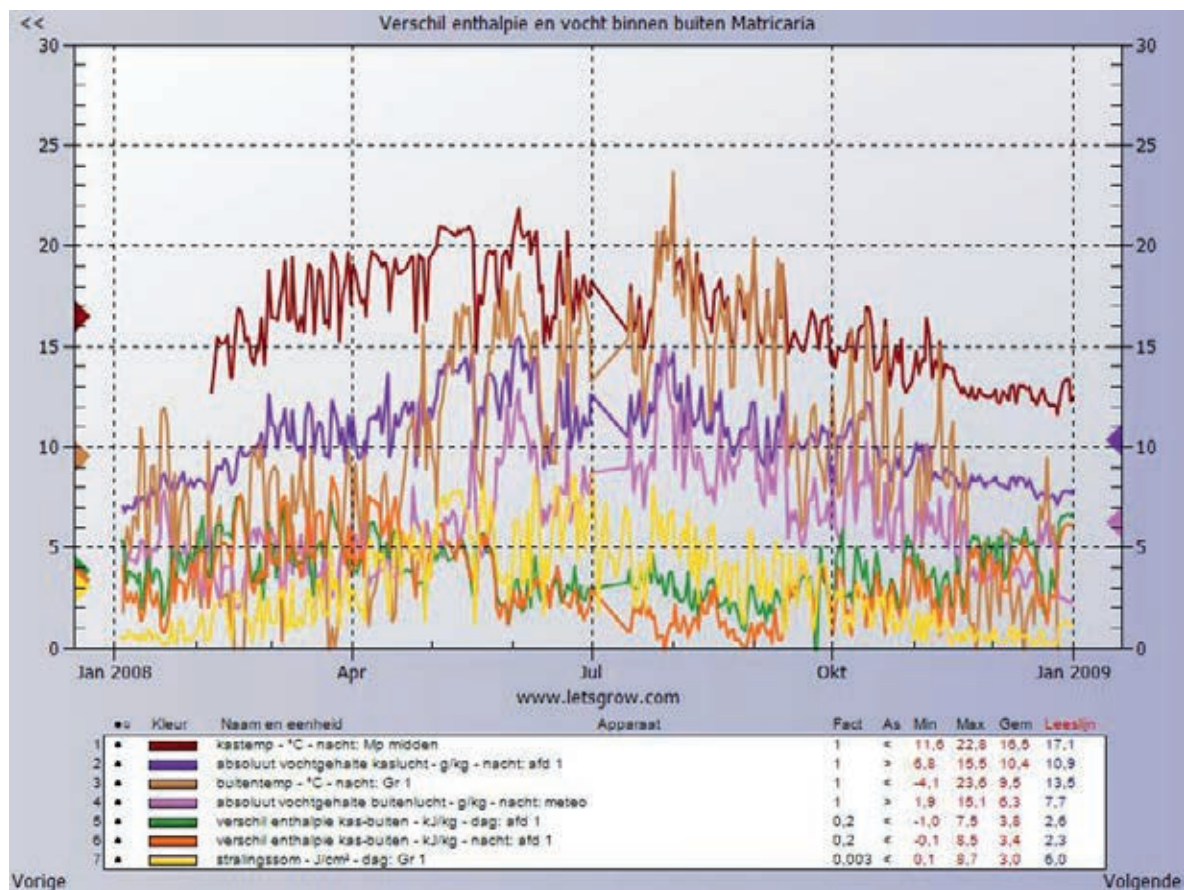
Elke kweker weet dat het kasklimaat in hoge mate samenhangt met de buitenomstandigheden. Dat geldt zeker voor het geval er geventileerd moet worden, hetzij op een natuurlijke manier via de luchtramen, hetzij geforceerd met ventilatoren.

Kenmerkend zijn hierbij het verschil in enthalpie en het verschil in absolute vochtigheid.

- Het verschil in enthalpie is bepalend voor de mate waarmee we met buitenlucht de kas kunnen koelen.
- Het verschil in absolute vochtigheid is bepalend voor de mate waarin we met buitenlucht de kas kunnen ontvochtigen.

In de praktijk is er een sterke koppeling tussen die twee, omdat ontvochtigen dankzij de gewasverdamping gepaard gaat met koeling.

Het is interessant om te kijken hoe het verloop is in verschillende jaren. In Figuur 3.11.1 is het verloop van absoluut vocht en enthalpie weergegeven voor het jaar 2008 en wel in de vorm van een nachtgemiddelde. Problemen met vochtafvoer spelen immers voornamelijk in de nacht, al dan niet met gesloten schermdoeken.

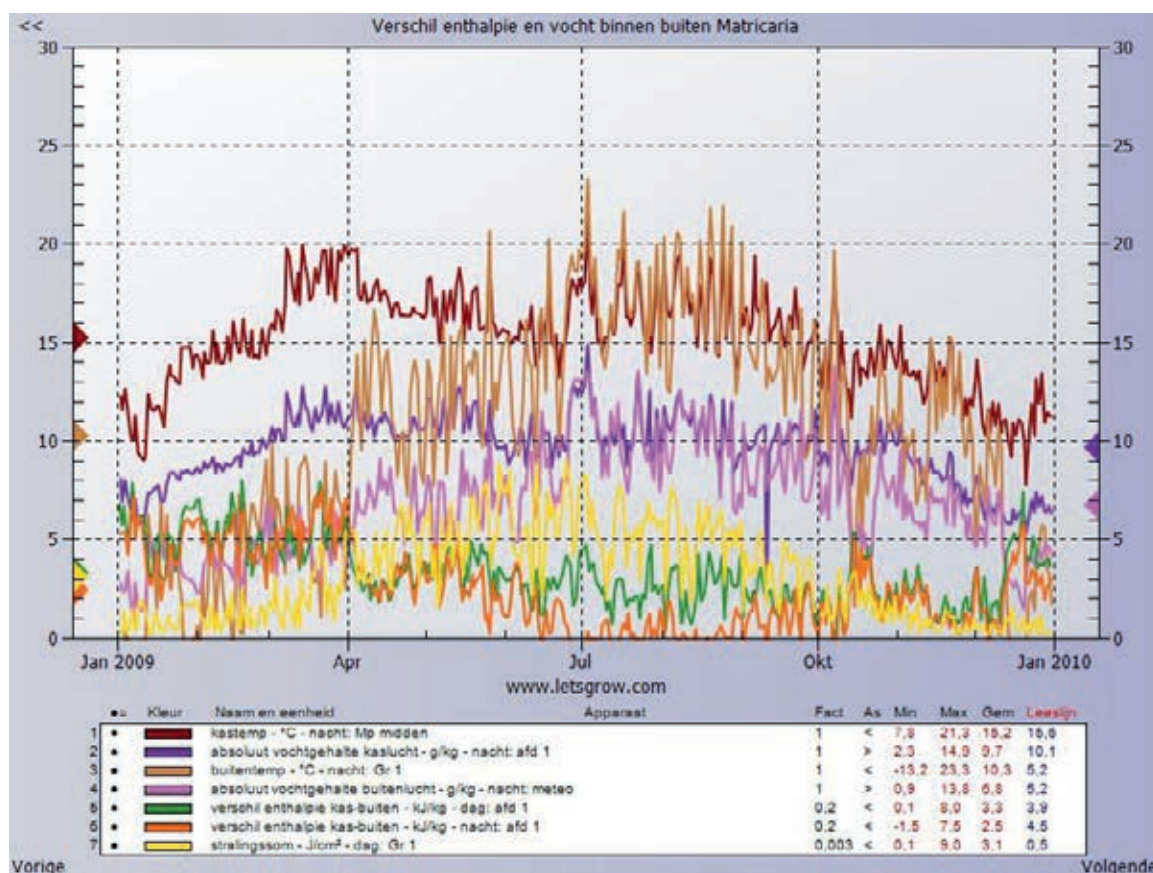


Figuur 3.11.1. Verloop enthalpieverschil binnen/buiten in 2008.

Let op de dat de enthalpie waarden geschaald zijn weergegeven ($\times 0,2$) om de lijnen gescheiden onder elkaar in de grafiek te krijgen.

Het verschil in enthalpie is zowel als daggemiddelde (donker groen) als nachtgemiddelde (oranje) weergegeven om het verschil duidelijk te maken.

Uit de grafiek blijkt dat het overgrote deel van het jaar het verschil in absoluut vocht binnen (paars) -buiten (roze) 's nachts groter is dan 3-5 gram. Met name in de periode van eind juli tot begin oktober is het verschil echter klein. Dat betekent dat voldoende vochtafvoer in de nacht toen lastig(er) was. Dat beeld zien we ook terug in het verloop van het enthalpie verschil. Maar ook in de moeilijke periode zien we dat zowel overdag (donker groen) als 's nachts (oranje) er enig verschil in enthalpie was.



Figuur 3.11.2. Verloop enthalpieverschil binnen/buiten in 2009.

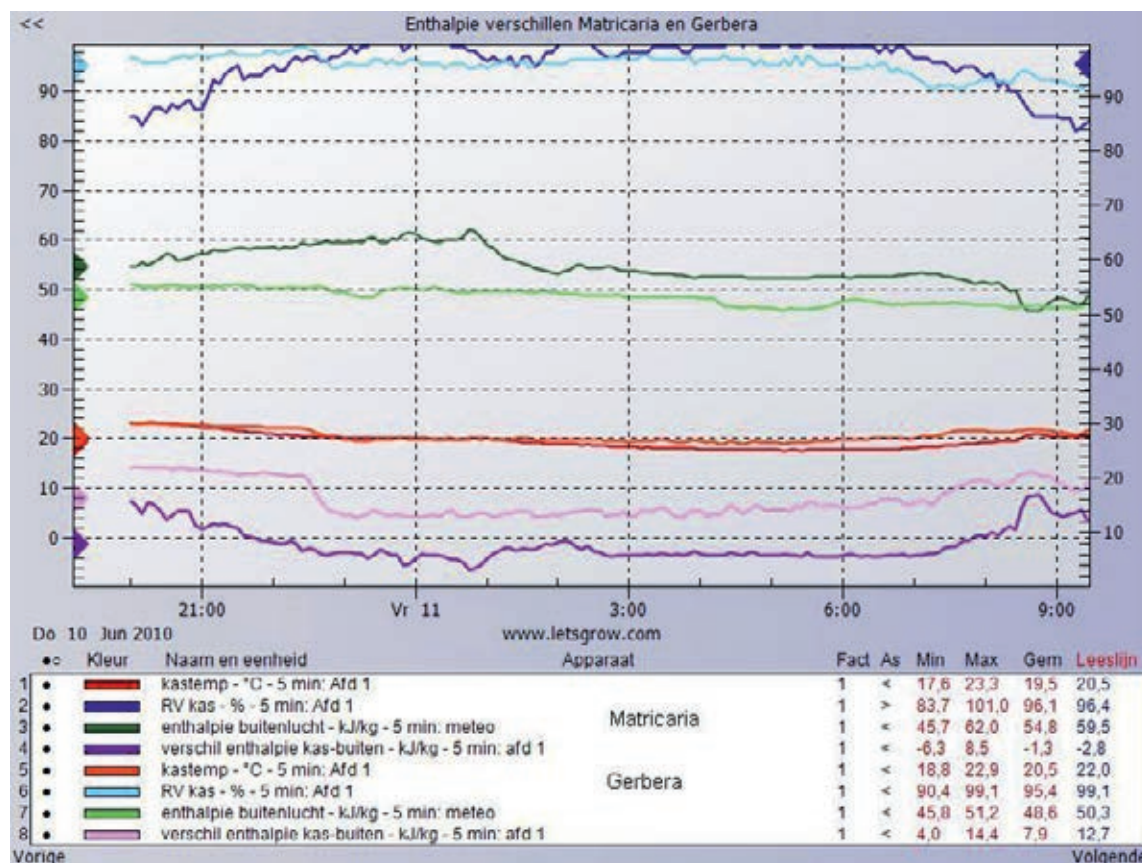
Figuur 3.11.2. toont dezelfde informatie, maar dan voor 2009. Het meeste is niet veel anders dan in 2008. Maar de “moeilijke periode” voor vochttafvoer is langer, want begint al in juni en loopt met onderbrekingen door tot begin oktober. En ook het verschil in enthalpie is in deze periode met name 's nachts kleiner dan in 2008.

Uit deze grafieken blijkt dus dat de problematiek van vochttafvoer uit de kas per seizoen verschilt. Met name de nazomer is algemeen erkend als lastige periode. Maar ook dat het ene jaar anders kan zijn dan het andere. Deze grafieken, afkomstig uit het onderzoek naar mogelijkheden van vochtbeheersing bij Matricaria, sloten goed aan bij de ervaring van de kweker, namelijk dat hij in de nazomer van 2009 meer moeite had met de vochthuishouding dan het jaar ervoor.

Zoals in het deel “Nachtsituatie in het najaar” besproken is het eenvoudig onmogelijk om vocht af te voeren als er geen verschil is tussen binnen en buiten. De enige manier is dan om kunstmatig een verschil te creëren door de kastemperatuur te verhogen.

3.11.1 Gewas- en regio afhankelijkheid

De enthalpie in de kas is afhankelijk van de teelttemperatuur, de gewasverdamping en de vochtafvoer. Voor ieder gewas ligt dit anders. Naarmate de teelttemperatuur lager is gekozen of de gewasverdamping hoger is zal het aantal momenten in het jaar toenemen dat er een te klein of zelfs een negatief verschil is met de enthalpie van de buitenlucht. Maar de vochtigheid en enthalpie buiten kan zeker ook nog per regio verschillen. Dat blijkt bijvoorbeeld uit de volgende grafiek Figuur 3.11.3. waarin voor dezelfde nacht in juni voor Gerbera (regio Oostland) en Matricaria (regio Venlo) het verschil in enthalpie tussen binnen en buiten is weergegeven.



Figuur 3.11.3. Enthalpie verschillen binnen/buiten voor regio Oostland en Venlo.

De kastemperaturen (rood - oranje) zijn vrijwel gelijk en de vochtigheid in de kas (donker en licht blauw) zijn beiden zeer hoog.

De enthalpie buiten (donker en licht groen) is echter voor Matricaria duidelijk hoger dan voor Gerbera. Daarom is het verschil in enthalpie binnen/buiten (donker en licht paars) voor Matricaria zeer klein en zelfs negatief. Voor Matricaria is daarom gedurende lange tijd geen vochtuitwisseling met buiten mogelijk, voor Gerbera nog wel, zij het weinig. Met name de iets hogere enthalpie van de buitenlucht laat het probleem bij Matricaria dus ontstaan. Dit uit zich in een hele hoge RV.

De enige manier om dit op te lossen is in dit geval een verhoging van de kastemperatuur. En dat is natuurlijk wat er feitelijk gebeurt bij het inzetten van een minimum buis.

4 Vochtbeheersing onder gesloten schermdoek

Vocht beheersing onder een gesloten schermdoek is een interessant probleem omdat er zoveel verschillende factoren in het spel zijn. Het uitgangspunt moet zijn: een actief groeiklimaat voor de plant. Zie het betreffende hoofdstuk. Kort samengevat komt dat neer op luchtbeweging, voldoende en gelijkmatige verdamping, en het voorkomen van uitstraling, met bij voorkeur een dubbel energiescherm.

Hiermee is de energie balans op orde, maar de vochtbalans vormt vaak het grootste probleem. Zolang het buiten koud genoeg is valt het allemaal wel mee. Er is dan genoeg verschil in vochtigheid onder en boven het schermdoek voor voldoende diffusie snelheid, en de condensatie op het kasdek zorgt voor voldoende afvoer.

Maar zodra de buitentemperatuur toeneemt en (navenant) de absolute vochtigheid wordt het steeds moeilijker om vocht af te voeren.

De klassieke maatregelen om te hoge vochtigheid in de kas te bestrijden zijn:

- inzet minimum buis
- vochtkier in het schermdoek
- vochtkier in de raamstand

Natuurkundig gezien is echter deze volgorde niet handig. De minimum buis zal immers (ook) de gewasverdamping verhogen, maar weinig bijdragen aan meer afvoeren van vocht. Het verhogen van de kastemperatuur zorgt voor een tijdelijk grotere "buffer", maar biedt geen permanente oplossing.

Het inzetten van een schermkier zal zorgen voor een hoger transport van vocht naar boven, maar tevens voor een hogere kasdek temperatuur, en dus juist voor minder condensatie. Anders gezegd: de verhouding tussen warmteverlies en vochttafvoer wordt ongunstiger. Tevens kan de vochtkier leiden tot kouval en trek in de kas, met alle ongewenste gevolgen van dien.

Pas bij de laatste maatregel, het inzetten van een raamstand wordt daadwerkelijk meer vocht naar buiten afgevoerd.

De betere manier is het juist andersom te doen:

- Alleen stoken om de kastemperatuur op de streefwaarde te houden, dus géén minimum buis inzetten. Hierdoor wordt de produktie van vocht niet nodeloos gestimuleerd
- door het doek gesloten te houden, maar te ventileren boven het schermdoek wordt de afvoer van vocht verbeterd terwijl de thermische isolatie van het schermdoek volledig in tact blijft.
- Als dit onvoldoende helpt, dan is kennelijk de vochtdoorlatendheid van het schermdoek het knelpunt, en dan kan een minimale kier worden ingezet. Onderzoek heeft uitgewezen dat 1- 2% vochtkier al heel veel doet. Grotere kieren kunnen leiden tot kouval en moeten liefst vermeden worden.
- Als dit geen soulaas biedt, dan is kennelijk het verschil in vochtigheid binnen- buiten het probleem, en dan moet de kastemperatuur verhoogd worden. Daarbij zou het mooi zijn als niet zozeer de temperatuur tussen het gewas omhoog gaat, maar vooral net onder het schermdoek. Dan wordt de gewastemperatuur zo min mogelijk onnodig verhoogd. Stoken met een bovennet of het aanzetten van de lampen is dan een goede actie.

4.1 Vochtproblemen voorkomen is beter dan genezen

Voor een actief microklimaat en een gezonde groei is ook onder het gesloten schermdoek een bepaalde minimum gewasverdamping noodzakelijk. In de praktijk is er echter naast gewasverdamping ook soms sprake van andere bronnen van vochtproduktie. Bijvoorbeeld door natte potten, natte vloeren of een natte bodem. Voor bijvoorbeeld de Phalaenopsis geldt dat het in de huidige teeltwijze moeilijk is om de planten gelijkmatig water te geven, en dat daarom een enorme overmaat aan water wordt toegediend. Het duurt dan soms meer dan een dag om al dit overtollige vocht weer af te voeren. Dit geldt ook voor teelten waar nog steeds van boven wordt beregend in plaats van met druppelaars of dergelijke alternatieven. Het is daarom voor verschillende teelten zeker de moeite waard om te kijken of er verbeteringen mogelijk zijn in de watergeef strategie of misschien zelfs in de hele manier van watergeven.

4.2 Een actief groeiklimaat voor de plant

Wat is een actief groeiklimaat voor de plant? Om die vraag te beantwoorden kunnen we beginnen te kijken naar zaken die we in elk geval willen vermijden, te weten:

- stagnatie van verdamping
- condensatie op het gewas
- stilstaande lucht

Dit zijn namelijk de kenmerken van een “dood klimaat” en er is een brede praktijkervaring dat dit tot problemen leidt, door meerdere oorzaken:

- bij hogere RV neemt de verdamping af en daardoor het transport van voedingsstoffen naar de groeipunten. Met name de aanvoer van Calcium is van belang omdat dit alleen kan gebeuren door transport van water. Stagnatie in verdamping leidt daarom tot zwakke cellen met allerlei groeistoringen: bladrandjes, broeikoppen, neusrot, etc.
- bij hogere RV komt de dauwpuntstemperatuur heel dicht in de buurt van de kastemperatuur. Temperatuur verschillen van 1 - 2 graden zijn in een normale kas niet bijzonder, maar kunnen er wel voor zorgen dat op koudere plekken condensatie op het gewas optreedt. En dat zijn invalspoorten voor o.a. Botrytis.

Om deze problemen te vermijden moet het volgende worden voorkomen:

- vochtophoping rondom en tussen het gewas
- temperatuur verschillen in de kas
- uitstraling naar een koud kasdek of een koud energiescherm

Om condensatie te voorkomen kan gestreefd worden naar een lage RV. Maar dan moeten we ons realiseren dat verlagen van de RV de gewasverdamping zal bevorderen.

Bij een sterk verdampend gewas betekent dit dat het afvoeren van vocht letterlijk gelijk staat aan “dweilen met de kraan open”. Hoe meer vocht er afgevoerd wordt, hoe meer het gewas zal verdampen. De kunst is dus eigenlijk om de RV in de kas niet onnodig te verlagen, maar liever de negatieve gevolgen van een hogere RV te bestrijden.

Voor meerdere factoren is cruciaal het creëren van een subtiele gelijkmatige luchtbeweging. De beste manier is om dit lokaal te doen. Het over grote afstanden verplaatsen van lucht kost veel energie en kan zelfs temperatuur verschillen oproepen. Zie verder onder “luchtbeweging in de kas” en “installaties voor luchtbeweging”.

Een andere belangrijke en vaak onderschatte oorzaak van condensatie op het gewas is afkoeling door uitstraling. Door langgolelige uitstraling naar een koudere omgeving zoals het kasdek of een schermdoek kan de temperatuur van gewaskoppen of bloemen onder het dauwpunt van de kastemperatuur komen. Het is een misvatting dat het sluiten van een enkel schermdoek de uitstraling “stopt”, alleen een dubbel schermdoek met luchtsponw biedt voldoende bescherming.

Door toepassing van een dubbel schermdoek met een hoge thermische isolatie kan echter de vochttafvoer een probleem worden. Om die reden is dan vochttafvoer door geforceerde ventilatie met buitenlucht een goede oplossing. Zie hiervoor het betreffende hoofdstuk.

Samenvattend kan een energiezuinig en actief groeiklimaat worden gecreëerd door een combinatie van de volgende maatregelen:

- subtiele gelijkmatige luchtbeweging bij voorkeur lokaal en vertikaal
- dubbel energie scherm
- niet meer stoken dan nodig is om de streef temperatuur te handhaven
- geforceerde ventilatie met buitenlucht voor vochtbeheersing

5 Luchtbeweging in de kas

Natuurlijke luchtbeweging in de kas

In een kas kunnen we verschillende vormen van natuurlijke luchtbeweging onderscheiden. Zeker in de moderne kassen met afmetingen in de orde van 100 x 200 mtr en groter, en kashoogten van 6 mtr en hoger, kunnen deze behoorlijk krachtig zijn en de gelijkmatige verdeling van temperatuur en vochtigheid stevig verstoren.

Turbulente beweging bij geopende luchtramen

De meest voor de hand liggende luchtstromingen ontstaan doordat de wind door geopende luchtramen doordringt in de kas en boven en tussen het gewas zorgt voor luchtbeweging. Afhankelijk van de windrichting, de windsnelheid, het al dan niet gesloten zijn van schermdoek (en), het gewastype, etc, etc kan dit allerlei vormen van luchtstromingen veroorzaken. Kenmerkend is dat de stromingen turbulent zijn, dat wil zeggen voortdurend wisselend van richting en sterkte, net als de wind dat van nature doet.

Uiteraard is er verschil tussen het effect van voor- en tegenlucht, ook weer afhankelijk van de windrichting ten opzichte van de nok. Luchten aan de luwe zijde zorgt voor uitwisseling door middel van “zuiging”. Luchten aan de windzijde zorgt voor meer turbulente stromingen, zeker als het lucht “scheppend” staat.

Het grote voordeel van luchtramen is dat ze zeer regelmatig verdeeld zijn waardoor lucht nooit een lange weg hoeft af te leggen. Bij dichte gewassen betekent dit dat er vocht en warmte uit het gewas gedreven wordt doordat er lucht in het gewas zakt en iets verderop er weer uit gezogen wordt. Vocht en warmte gaan op die wijze via de kortste weg naar buiten. Dat is anders bij systemen waarbij de afvoer via geforceerde luchtstromen vanaf de gevel plaats vindt, zoals bij de in warme streken gebruikelijke “pad-and-fan” systemen. Daarbij wordt aan de gevel buitenlucht bevochtigd via een “pad” en daarna met een grote ventilator naar de tegenoverliggende gevel met afvoerrooster geblazen. Onderweg neemt de lucht warmte en vocht op. Bij dit systeem warmt de lucht dus onderweg op en zijn de verschillen in de kas permanent groot. Dat beperkt de kaplengte in belangrijke mate.

Maar er zijn ook luchtbewegingen die ontstaan als de ramen en/of de schermen gesloten zijn.

Warmtetrek onder invloed van de wind

Allereerst noemen we de bekende “warmte trek” onder invloed van de wind. Als de wind tegen de gevel van een kas blaast, dan ontstaat er langs de rand een verhoging van de lichtsnelheid. Verderop boven het kasdek zal die snelheid gaandeweg weer afnemen. Door het zogenaamde Venturi effect ontstaat hierdoor aan de windzijde van de kas een onderdruk. En dat zorgt voor de algemeen bekende ervaring dat “warmte tegen de wind in trekt”. Afhankelijk van de mate van lekkage van de kas is er niet persé een retourstroom in de kas, omdat de lucht deels uit de kas wordt gezogen.

Circulatie als gevolg van verwarming

De algemene regel is dat warme lucht opstijgt en koudere lucht daalt. Hierdoor kan een hete verwarmingsbuis zorgen voor plaatselijke circulatie van lucht, die op een andere plaats weer kouval kan veroorzaken.

Circulatie onder invloed van afschot

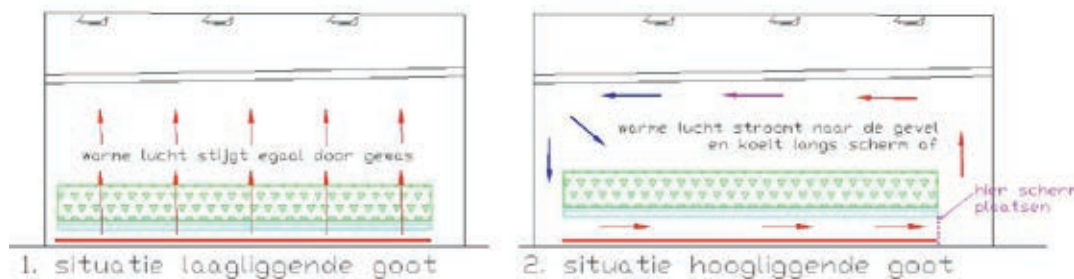
Verder liggen alle kassen op afschot om het regenwater vanaf het middenpad naar de gevels af te voeren. Omdat warme lucht naar boven trekt kan er als gevolg van de verwarming een luchtcirculatie op gang komen op gewasniveau in de richting van het middenpad terwijl er langs het schermdoek of langs het kasdek een retourstroom in de richting van de gevel is. Dat kan leiden tot verschillende stromingen in afhankelijkheid van het al dan niet gesloten zijn van het schermdoek, het warm zijn van lampen of verwarmingsbuizen en de kansen voor lucht om onder de teeltgoten of boven het gewas te gaan stromen.

Omdat deze retourstroom afkoelt door het contact met het koudere kasdek of schermdoek zal de lucht in de buurt van de zijgevels “naar beneden komen” en aldaar zorgen voor een koudere zone.

We zullen dit “Afschot-trek” noemen.

Stromingen onder de teeltgoten en teelttafels

Bij teelten op verhoogde goten of teelttafels kunnen langs de grond stevige luchtstromingen voor komen. Deze “ondertrek” ontstaat omdat de lucht in horizontale richting minder weerstand ondervindt dan in verticale richting. De lucht zal dan niet meer door het gewas stromen, maar naar een gevel, daar afkoelen en boven de goten tot temperatuurverschillen leiden. Afsluiten van deze ruimte met een plastic scherm zal de lucht weer verticaal door het gewas dwingen.



Figuur 5.0.1. Illustreert diverse vormen van luchtstromen rondom teeltgoten.

Stromingen boven het schermdoek

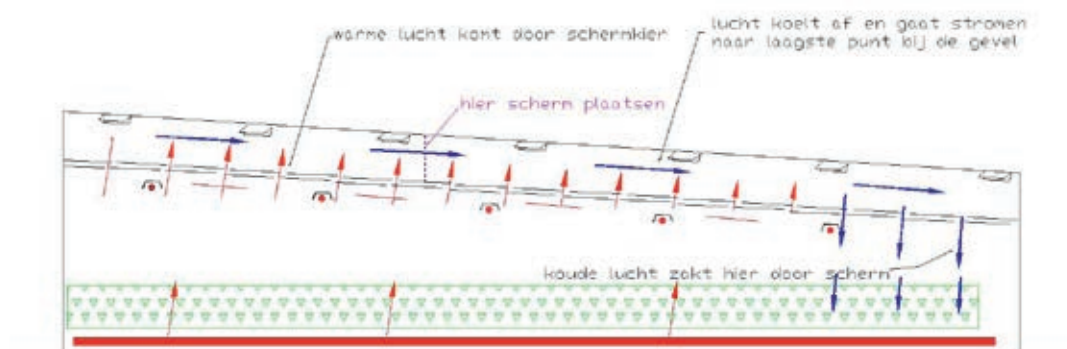
Vergelijkbaar met de Ondertrek kunnen ook luchtstromingen ontstaan boven het gesloten schermdoek: “Boventrek”. Tussen het kasdek en het scherm wordt als het ware een kanaal gevormd waarin de lucht nauwelijks weerstand ondervindt. Bij geopende luchtramen zal daardoor aan de hoogste zijde van de kas lucht ontsnappen, terwijl bij de laagste zijde juist koude lucht naar binnen zal komen. Bij een doek met open bandjes of bij een schermkier zullen dan lokaal ook onder het doek temperatuurverschillen ontstaan.

Kouval bij vochtkieren of schermen met “open bandjes” of een kier

Berucht is de “kouval” door kieren in het schermdoek. Plaatselijk kan warme kaslucht door een kier naar boven trekken en na afgekoeld te zijn tegen het kasdek op andere plaatsen naar beneden komen.

Dit zelfde effect kan op treden bij schermdoeken die vanwege de vochtdoorlatendheid zijn uitgevoerd met “open bandjes”.

Deze kouval kan zorgen voor grote plaatselijke temperatuurverschillen in de kas van meerdere graden. Kouval kan leiden tot gewascondensatie, maar ook op den duur tot ongelijkheid in groei.



Figuur 5.0.2. Illustreert de trek boven en onder het doek als gevolg van opstijgende warme lucht door lampen en verwarming en dalende koude lucht bij de gevelzone.

5.1 Luchtbeweging onvoorspelbaar en moeilijk stuurbaar

In de praktijk kunnen meerdere van de genoemde vormen van luchtbeweging tegelijk optreden en kan het van subtiele factoren afhangen welke vorm de overhand krijgt.

Kenmerkend voor alle luchtbewegingen is dat lucht altijd de weg van de minste weerstand kiest en dat luchtstromingen die eenmaal ontstaan zijn zichzelf door de massastraagheid in stand kunnen houden. Dit betekent dat luchtbewegingen behoorlijk “onvoorspelbaar” zijn en dat het heel lastig is om lucht die in een ongewenste beweging is gekomen weer in goede banen te leiden.

Eén van de voorbeelden is het zogenaamde “schoorsteen effect” bij kieren in het schermdoek. Als er door een kier eenmaal een opgaande luchtstroming is ontstaan is deze moeilijk meer te stoppen. Het verminderen van de kiergrootte heeft nauwelijks effect op de stroming, totdat de kier vrijwel geheel gesloten is. Dan pas komt de luchtstroom tot stilstand en is de uitwisseling door een nieuwe kieropening weer “regelbaar”.

5.2 Natuurlijke luchtbeweging ten opzichte van geforceerde beweging

De algemene conclusie is dat de natuurlijke luchtbewegingen in een kas behoorlijk sterk zijn en dat het moeilijk is deze op kunstmatige wijze te beïnvloeden.

De natuurlijke krachten zijn één tot twee orden ($10 - 100 \times$) groter dan die van kunstmatige middelen. Een simpel voorbeeld uit de praktijk maakt dat snel duidelijk. Als we op een zomerdag ventileren met de luchtramen spreken we al gauw over ventilatievouden van $20 - 30$. Dit komt dus neer op een ventilatiesnelheid van $100 - 150 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{uur}$. Vergelijken we dit met een gangbare ventilator die gebruikt wordt voor horizontale luchtverplaatsing dan praten we over $2000 - 3000 \text{ m}^3/\text{uur}$. Om met deze ventilatoren in de buurt te komen van de natuurlijke ventilatie zouden we dus op elke 20 m^2 kasoppervlak een dergelijke ventilator moeten ophangen. In werkelijkheid worden ze echter toegepast met een dichtheid van 1 op ca 500 m^2 . Theoretisch zorgen deze ventilatoren dus slechts voor enkele procenten van de totale luchtbeweging en mogen we er weinig effect van verwachten. Zeker niet als de ventilatoren boven in de kas hangen. Alleen het heel gericht inzetten van ventilatoren zal een gewenst effect kunnen veroorzaken, bijvoorbeeld door reeds bestaande natuurlijke luchtstromen te versterken of heel lokaal, daar waar het op te lossen probleem zit, lucht te blazen.

Ook in situaties met vrijwel gesloten luchtramen worden in kassen als gevolg van natuurlijke druk- en temperatuurverschillen al turbulente stromingen gemeten met lichtsnelheden in de orde van $0,5 - 1 \text{ m/s}$. Een kunstmatig opgewekte luchtstroming met een gemiddelde lichtsnelheid van bijvoorbeeld 5 cm/s wordt dus letterlijk “weggeblazen” door de natuurlijke stroming die in dit geval $10-20$ keer sterker is.

Een situatie die iedereen uit de praktijk zal herkennen is de enorme invloed op de temperatuur verdeling en de luchtbeweging in de kas van één kapotte ruit of van een openstaande deur. Met rookproeven kan zichtbaar gemaakt worden dat een dergelijk “tochtgat” tot op $50 - 100 \text{ mtr}$ afstand de luchtstroming domineert.

Het idee dat met de bekende horizontale ventilatoren bovenin de kas een luchtstroom kan worden opgewekt die als een “slingerende slang” door de kas loopt, en bedoeld was om horizontale temperatuurverschillen als gevolg van warmtetrek te vereffenen is enkele jaren geleden al naar het rijk der fabelen verwezen. Uit onderzoek bleek dat deze ventilatoren het meeste effect hebben als ze in een breed front allemaal de zelfde kant op blazen. Dit is echter niet praktisch omdat de wind, als veroorzaker van de warmtetrek immers van richting wisselt.

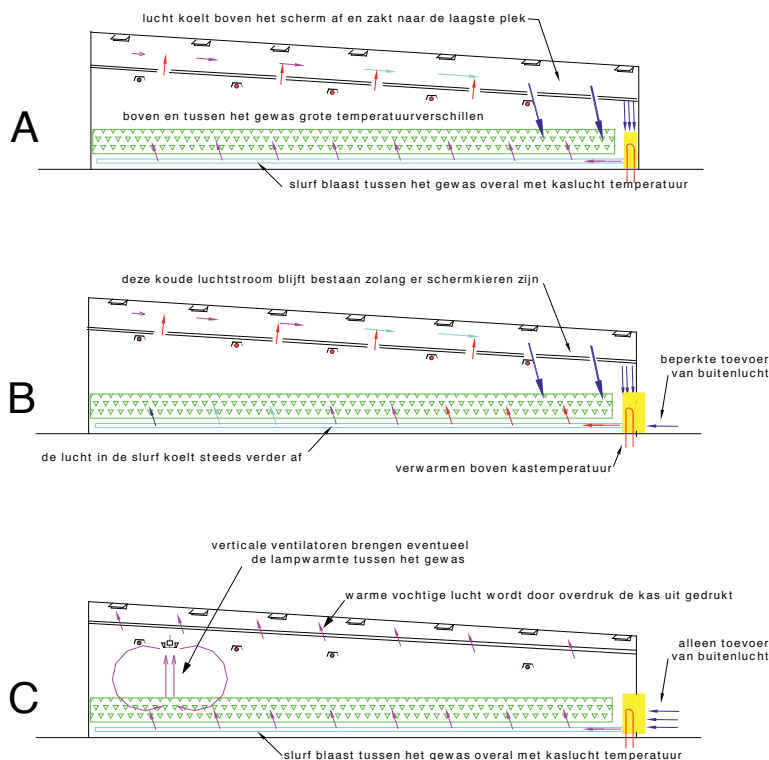
Een van de constatering uit recent onderzoek van luchtbeweging in een kas met LBK's was dan ook dat “dat het willen verleggen van de natuurlijke stromingen door middel van ventilatoren in feite een illusie is”

Het omgekeerde is wel mogelijk, namelijk om met ventilatoren bestaande natuurlijke luchtstromingen te versterken, helaas ook als dit niet gewenst is.

Dat is op meerdere plaatsen gebleken met systemen waarmee gepoogd wordt kaslucht te circuleren door middel van luchtslurven die vanuit de zijgevel onder de teeltgoten naar het middenpad liggen. Deze systemen veroorzaken een soortgelijke circulatie als welke ontstaat door het afschot in de kas, en het gevolg is dus koude zones langs de zijgevel (Figuur 5.2.1/A). Alleen bij goed isolerende en volledig gesloten schermen zal dit fenomeen niet optreden. Een deel van de ongelijkheid wordt ook nog eens veroorzaakt door het feit dat nu eenmaal boven de goot achteraan de slang heel weinig lucht zal stromen en vooraan de slang juist heel veel. Als aan die lucht ook nog eens extra warmte wordt toegevoegd wordt de temperatuurverdeling in de kas zelfs nog veel slechter omdat de lucht in de slang onderweg afkoelt naar kastemperatuur (Figuur 5.2.1/B).

De warmte inhoud van lucht is veel kleiner dan die van water en een luchtslang heeft een veel groter oppervlak dan een verwarmingsbuis. De aan de lucht toegevoegde temperatuur verhoging zal dus grotendeels in het eerste deel van de slang aan de kaslucht worden afgegeven en daar een warme zone veroorzaken. Nu denken sommigen daarmee precies de koude zone langs de gevel te kunnen compenseren, maar daarvoor is deze werkwijze veel te grof.

Het recirculeren van kaslucht door middel van een slang, al dan niet met extra warmtetoevoeging is dus geen goed idee. Het gebruik van slangen om droge buitenlucht in de kas te brengen en deze goed te verdelen werkt wel goed. Als tenminste de buitenlucht wordt voorverwarmd tot op de kastemperatuur zodat er geen temperatuurverschillen kunnen ontstaan. (Figuur 5.2.1/C)



Figuur 5.2.1. Het bovenste systeem voor circulatie van kaslucht zorgt voor een horizontale retour stroming die naar de gevel toe steeds sterker wordt. Omdat de lucht boven het schermdoek afkoelt en door de schermkieren valt ontstaat aan de gevel een koude zone. Het middensysteem met extra verwarming heeft als extra bezwaar dat de warmteverdeling langs de slang ongelijk is. Het onderste systeem dat uitsluitend buitenlucht inbrengt, zonder recirculatie en alleen voorverwarming tot kasluchttemperatuur kent deze bezwaren niet en is bovendien züniger met elektriciteit, eenvoudiger en goedkoper. De kouval is verdwenen omdat het scherm volledig dicht kan blijven. De warme laag bovenin de kas wordt opgeheven door verticale ventilatoren.

In de ideale kas bestaat een kleine gecontroleerde luchtbeweging om temperaturen overal gelijk te maken en gassen goed te verdelen. Dat wordt bereikt als de hele kasomhulling goed geïsoleerd is met een dubbelwandig gealuminiseerd scherm dat overal perfect gesloten is. In die situatie zal de luchtstroming zo gering zijn dat de afvoer van warmte en vocht vanuit het gewas kan stagneren. Bij windstil weer met weinig uitstraling kennen we die situatie als “dood klimaat”. Wat niets anders betekent dan stilstaande lucht tussen het gewas, vochtophoping en kwaliteitsproblemen. Die situatie treedt ook vaak op bij belichting. Bovenin de kas is er dan een warme laag die niet mengt met een koudere luchtlaag tussen het gewas. Koude lucht is immers zwaarder dan warme. In beide situaties zal de kaslucht zoveel mogelijk gemengd moeten worden en deels vervangen door drogere buitenlucht.

5.3 Hoe kunnen we gewenste luchtbeweging creëren?

Alles overziende dringt de vraag zich op: “hoe kunnen we in de kas een bepaalde gewenste (horizontale) luchtstroming in stand houden met ventilatoren?”

En het meest realistische antwoord moet zijn: “zonder goed inzicht en een stappenplan is het beter dit niet te proberen want dat gaat niet lukken” .

Een actief klimaat kun je met de volgende uitgangspunten creëren:

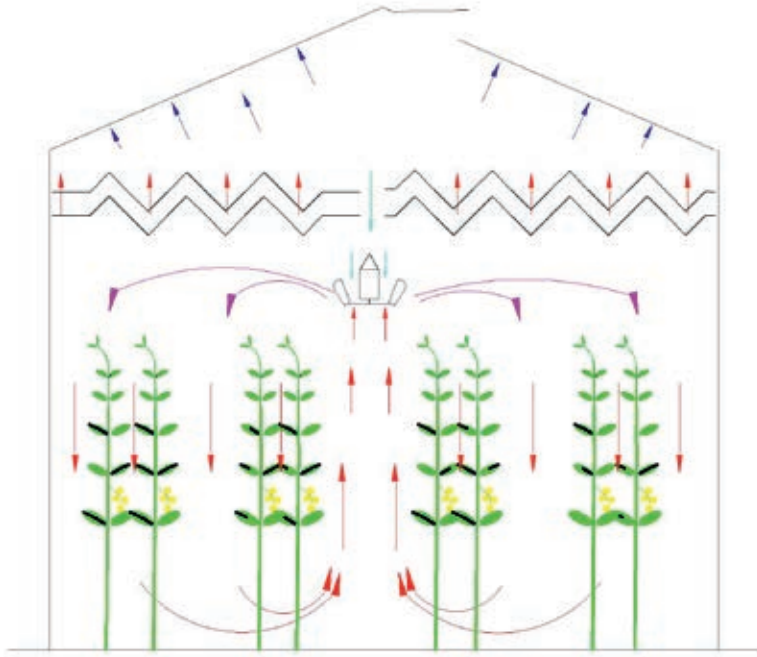
- in de eerste plaats het ontstaan van natuurlijke ongewenste luchtbeweging zo veel mogelijk voorkomen en
- vervolgens de lucht lokaal “door elkaar roeren” in verticale richting

Het eerste punt mag duidelijk zijn uit al het voorgaande. Het tweede punt is een logisch gevolg als we de nadelen van horizontale luchtverplaatsing beschouwen.

5.4 Voordelen van verticale luchtbeweging

Door lokale verticale luchtbeweging wordt o.a. bereikt dat:

- er geen temperatuur verschillen ontstaan door afkoeling langs het scherm of door opwarming via lampen als gevolg van luchtstromen langs het kasdek over grote afstanden
- de luchtbeweging beter door dringt in opgaande gewassen
- de luchtbeweging daadwerkelijk een actief microklimaat rond de plant geeft
- een gelijkmatige beweging over een groter oppervlak ontstaat
- warmte van de zon of van lampen effectief naar beneden getransporteerd wordt
- door beweging zonder drukopbouw er veel minder energie nodig is voor een bepaalde luchtverplaatsing in $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{uur}$ dan bijvoorbeeld met slurven
- eventuele lokale verstoringen veel minder invloed hebben op de rest van de kas
- door een geschikte verdeling met voldoende overlap tussen de ventilatoren er naast een verticale temperatuur vereffening ook sprake is van een kleine horizontale vereffening
- een circulatievoud van 4-8 keer per uur de kasinhoud rondpompen is een goed debiet gebleken.



Figuur 5.4.1. Vertikale luchtbeweging.

5.5 Het tegengaan van ongewenste luchtstromingen

Omdat natuurlijke ongewenste luchtstromingen een desastreus gevolg hebben op het kasklimaat moeten er maatregelen genomen worden om deze te voorkomen.

De meest effectieve aanpak is om de kas zodanig in te richten dat er geen vrije “luchtkanalen” ontstaan waarin de lucht ongehinderd kan bewegen. Anders gezegd door de kas in de gevoelige zones te compartimenteren.

Trek onder teeltgoten kan worden beperkt door bijvoorbeeld in elke tralie een foliescherf aan te brengen tussen de goot en de grond. In feite is dit dus ook een positief effect van de luchtslurven die toegepast worden voor buitenlucht inblazen.

Dit zelfde geldt voor de vrije ruimte onder teelttafels.

Trek boven het scherm kan worden tegengegaan door het aanbrengen van folieschermen in de nokspanten van de kas.

Kouval kan worden voorkomen door energieschermen zo veel mogelijk te sluiten en geen kieren te trekken.

Door het goed berekenen en zorgvuldig aanleggen van het verwarmingssysteem in combinatie met gevelisolatie kunnen temperatuurverschillen worden voorkomen die wellicht ongewenste stromingen zouden veroorzaken.

Geen tochtgaten tussen de teeltruimte en aangrenzende ruimte (verpakking, sorteerruimte, etc) laten bestaan, maar deze effectief afsluiten.



Figuur 5.5.1. Onderbreking van de luchtstroom boven het scherm met schotten breekt de luchtstroom op in 3 kleinere luchtstromen met als resultaat het terugbrengen van de horizontale temperatuurverschillen tussen het gewas tot een derde.

Opmerking: bovenstaande geldt uiteraard voor alle typen kassen, maar voor semi gesloten kassen en Het Nieuwe Telen in het bijzonder. Omdat er minder energie wordt ingebracht in de kas is de relatieve invloed van de klimaatsturing op de natuurlijke situatie immers nog kleiner.

5.6 Systemen voor luchtbeweging met ventilatoren

Er zijn inmiddels verschillende systemen voor luchtbeweging in de markt, waarbij als hoofdkenmerken kunnen worden onderscheiden: vertikaal ten opzichte van horizontaal, en met “slurven” of slangen en zonder slurven.

De horizontale ventilatoren die in bijna elke kas standaard zijn aangebracht zijn het meest bekend. Diverse onderzoeken hebben uitgewezen dat het effect van deze ventilatoren beperkt blijft tot boven in de kas, dus alleen boven het gewas merkbaar. Zij dragen voor lage gewassen afhankelijk van de windrichting, iets bij aan het vereffenen van (grote) horizontale temperatuur verschillen, maar nauwelijks aan een actief microklimaat bij de plant. Bij hoogopgaande gewassen is juist het omgekeerde het geval, de beperkte vrije ruimte boven het gewas remt de luchtstroom zodanig af dat er juist wel luchtstroming tussen het gewas is, maar er vindt geen vereffening van horizontale temperatuurverschillen plaats omdat de uitgeblazen lucht de volgende ventilator niet haalt. Er moet bij de beoordeling van luchtcirculatie systemen dus rekening gehouden worden met de gewashoogte en de luchtdoorlatendheid van het gewas.

Naast de horizontale ventilatoren zijn er inmiddels ook de verticale ventilatoren en luchtslurven, onder of boven het gewas. Die slurven verplaatsen tussen de 5 en 12 m³/m²/uur aan lucht, de verticale ventilatoren 20-30 m³/m²/uur. Het is een natuurkundig gegeven dat luchtcirculatie door middel van slurven aanzienlijk meer elektrische energie kost dan beweging in de vrije ruimte, omdat druk moet worden opgebouwd, en dat telt zwaarder door naarmate de slurven langer zijn en/of een kleinere diameter hebben. Dat kost voor dezelfde hoeveelheid verplaatste lucht twee tot drie keer zoveel elektrische energie. Een verticaal blazende ventilator verbruikt ongeveer 1 W/m². Met horizontale slurven wordt buiten de slurf nooit een gelijkmatige verdeling van lucht over het gewas bereikt, de lucht treedt met grote snelheid uit een gaatje maar verliest na 20-30 cm al een groot deel van zijn snelheid. Een debiet van 12 m³/m²/uur betekent bij een kashoogte van 5m slechts een verversing van de kasinhoud van 2,4 keer de kasinhoud per uur of anders gezegd een gemiddelde luchtsnelheid van 3mm/sec. Daarbij is het ook nog zo dat de lucht als het enigszins mogelijk is liever door een pad omhoog komt dan door het gewas omdat de luchtweerstand daar kleiner is. De doorstroming door dicht op elkaar liggende delen is dus dubieus. Tot slot is er dan het fenomeen dat de luchtstroom boven het gewas bij de ventilator altijd veel groter is dan aan het einde van de slurf.

Dit betekent praktisch gezien dat slurven uitsluitend gebruikt moeten worden om buitenlucht gelijkmatig in de kas te brengen, maar nooit om de kaslucht intern te circuleren. Circulatie kan beter gebeuren met verticaal of horizontaal blazende ventilatoren. Om deze redenen is bij de ontwikkeling van het Aircokas concept gekozen voor verticale luchtbeweging met een speciale ventilator, de Aircobreeze, die specifiek is ontworpen om een plaatselijke verticale circulatie op gang te brengen. Deze ventilator veroorzaakt een gelijkmatige luchtbeweging met lage snelheid over een groot oppervlak (ca 200 m²) in het gewas en zorgt dus juist voor een actief microklimaat. Bovendien worden verticale verschillen in temperatuur vereffend. Deze ventilator is dus ook in staat om de warmte van de zon aan het begin van de dag en uiteraard van assimilatielampen effectief naar beneden te transporteren. Inmiddels is er een vergelijkbare ventilator in de vorm van een V-Flofan, waarbij gebruik wordt gemaakt van een gewone kasventilator die naar boven blazend wordt opgehangen, met daarboven een kunststof kap die de uitstromende lucht een horizontale richting geeft. Deze ventilator heeft door een hogere uitblaasdruk een groter bereik tot 300 m². Daarnaast is er nog een systeem met een ander werkingsprincipe, de Vertifan. Deze verplaatst lucht van boven naar beneden met behulp van een transparante slurf die vervolgens de lucht over de kasvloer verdeelt, dus onderlangs het gewas. Het debiet per m² kas hangt ook bij deze ventilator af van het aantal ventilatoren dat per ha wordt gekozen, maar is meestal lager dan bij de Nivolator omdat men ervan uitgaat dat de lucht over de gladde bodem makkelijk verdeelt. Daarmee wordt wel een concessie gedaan aan de hoeveelheid doorstroming door het gewas. Het is beter om die doorstroming juist zo groot mogelijk te kiezen wanneer je effectief warmte wilt transporteren.



Figuur 5.6.1. Links V-Flofan, rechts Vertifan.

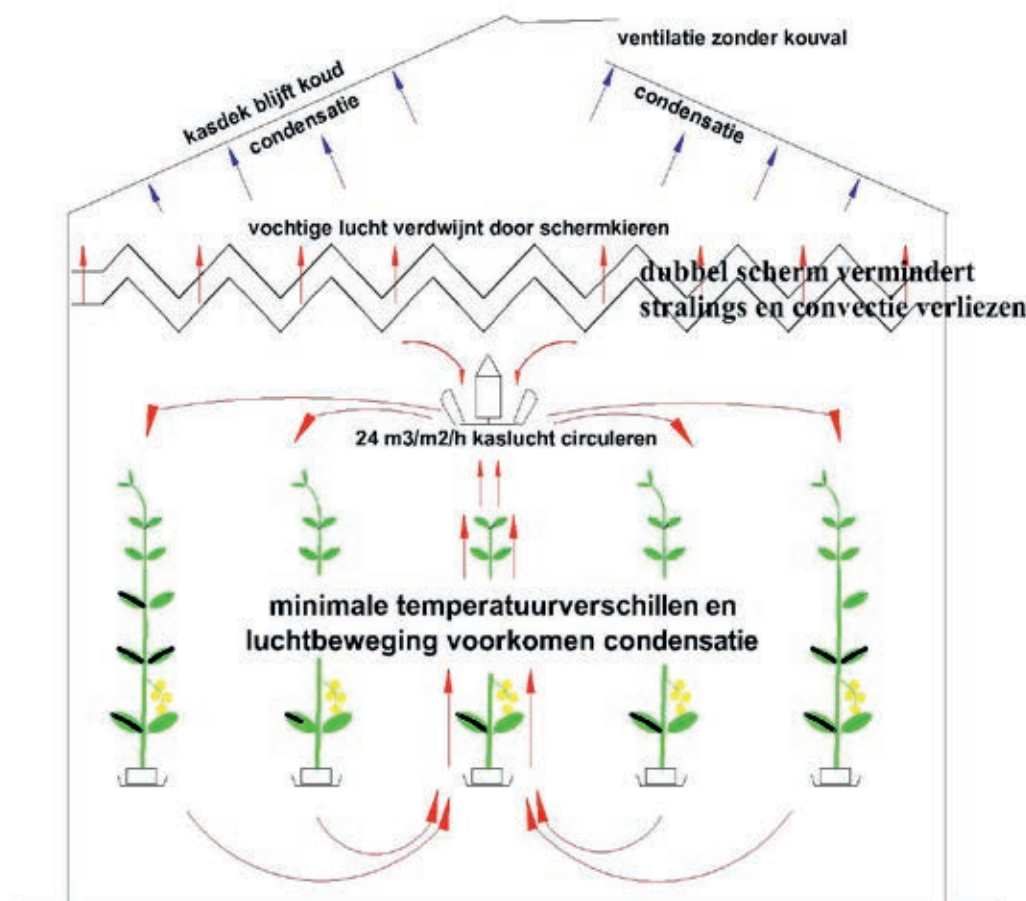
Lage gewassen

Horizontaal blazende systemen, zowel onder als boven het gewas hebben nauwelijks effect op de verticale luchtbeweging in het gewas. Ook verticaal werkende ventilatoren kennen bij **dichte** lage gewassen zoals Matricaria een slechte doordringing. Beïnvloeding van de verdamping kan daarom alleen op indirecte wijze gebeuren door droge lucht zo dicht mogelijk langs het gewas te laten strijken en te hopen op een voldoende drogend effect door diffusie. Warmte die van onderaf komt stijgt zonder luchtbeweging wel op, maar veroorzaakt niet de grote luchtbeweging die veel tuinders veronderstellen. Door de betere isolatie van de kas zijn de buistemperaturen lager en dan neemt de veroorzaakte luchtstroom sterk af. Warmte die van bovenaf komt dringt maar matig in het gewas door, leidend tot grote verticale temperatuurverschillen in het gewas zolang je die niet compenseert met warmte van onderuit. Met metingen en rookproeven is vastgesteld dat bijvoorbeeld warmte van assimilatielampen niet vertikaal wordt vereffend met horizontale slurven. Een verticaal blazende ventilator doet dat iets beter maar niet goed genoeg. Echt ideaal is pas een systeem dat als het ware de turbulente luchtstromen van een luchtraam imiteert. Dat betekent dat lokaal lucht verticaal het gewas in wordt gedrukt en enkele meters verder er weer uit kan. Maar een dergelijk systeem bestaat nog niet. Om dit voor elkaar te krijgen zou een horizontaal over het gewas bewegende verticaal blazende ventilator of een ventilator met een pendelende kop theoretisch de oplossing kunnen zijn. Is het gewas wat **opener**, zoals bijvoorbeeld gerbera en veel potplanten, dan werken verticaal blazende ventilatoren wel goed en kunnen deze ingezet worden om warmte naar beneden te stuwten, waardoor de buizen onder het gewas kouder kunnen worden. Dat werkt in het voordeel bij lichtafscherming of verduistering waar warmteoverschot een groot probleem is.

Bovendien voeren ze vocht af zolang de lucht die het gewas in gestuwd wordt droger is dan de lucht tussen de planten. Slurven onder het gewas leveren maar een hele kleine luchtbeweging in het gewas, maar zolang de lucht die aangevoerd wordt maar droog genoeg is heeft dat wel een drogend effect. Warmte kun je met die kleine luchtstroom echter niet transporteren.

Hoogopgaande gewassen

Horizontaal blazende ventilatoren kunnen niet al te hard blazen omdat het gewas dan teveel beweegt. Dat beperkt de werp zodanig dat de ventilatoren te ver uit elkaar hangen om de lucht aan elkaar door te geven. Om dit op te lossen zouden de ventilatoren niet verder dan 20 meter uit elkaar mogen hangen. Bovendien moet dan in elke kap een rij ventilatoren hangen. Bij een kap van 8 meter breedte komt dat neer op 60 ventilatoren per ha. Bij het lage toerental haalt iedere ventilator de lucht onderlangs het gewas terug die hij zelf heeft uitgeblazen. In principe is er dus sprake van lokale luchtmenging op een oppervlak van ongeveer 160 m². Geen ideale menging door de gewasweerstand, maar de lucht staat in ieder geval niet stil. Droge buitenlucht die via een slurf wordt aangevoerd naar de ventilator zou in principe hiermee door de kasruimte verdeeld kunnen worden. Verticale ventilatoren blijken voor dit soort gewassen prima te functioneren zowel voor het transporteren van vocht als van warmte. Zo goed zelfs dat het mogelijk is gebleken om via een slurf bovenin de kas onverwarmde buitenlucht aan te voeren en door deze ventilatoren te laten mengen met kaslucht.



Figuur 5.6.1. toont de luchtcirculatie rond een verticale ventilator (Aircobreeze) met speciale schoepen die een subtiel en gelijkmatige luchtbeweging over een groot oppervlak kunnen opwekken. Omdat de luchtbeweging vrijwel drukloos verloopt is de benodigde elektrische energie minimaal. Met een verbruik van minder dan 1 W/m² wordt een luchtverplaatsing van 20 - 30 m³/m².uur bereikt. Voor de meeste gewassen biedt dit een actief microklimaat en het werkt bovendien effectief om temperatuur verschillen in de kas zowel in verticale als horizontale richting te vereffenen.

6 Ontvochtigen met het inblazen van buitenlucht

Ontvochtigen van de kas met buitenlucht is op zichzelf niets nieuws. Elke vorm van ventilatie in kassen en gebouwen maakt er immers gebruik van. Nieuw is echter dat de buitenlucht geforceerd in de kas wordt gebracht met een ventilator en een verdeelsysteem. Hierdoor kan er vaker en beter en met meerdere schermen geschermd worden, mits tegelijkertijd gezorgd wordt voor voldoende luchtbeweging.

Onder gesloten energieschermen ontstaat vaak het probleem van een dood klimaat met hoge luchtvochtigheid. De huidige praktijk van energieschermen komt kortweg neer op een compromis tussen twee uitersten, namelijk een slecht microklimaat en een hoge gasrekening.

De enige manier om dit probleem fundamenteel op te lossen is om 4 factoren tegelijk aan te pakken. Luchtbeweging rond de plant, vereffening van temperatuurverschillen, het afvoeren van vocht, en het voorkomen van uitstraling naar een koud kasdek of schermdoek.

Met geforceerde verticale luchtbeweging is aan de eerste 2 voorwaarden voldaan. Met een dubbel scherm met luchtsponw kan uitstraling worden gestopt (met een enkel scherm wordt de uitstraling slechts beperkt).

Blijft over het afvoeren van vocht, en wel zodanig dat hierbij het energiescherm gesloten kan blijven en de isolatiewaarde verhoogd kan worden. Een aantal jaren geleden is uit onderzoek van WUR naar voren gekomen dat het inblazen van buitenlucht hiervoor een veelbelovende oplossing was, en dat is inmiddels ruimschoots bevestigd door diverse vervolg onderzoeken zowel bij WUR, het Improvement Centre, en bij praktijkbedrijven.

6.1 De natuurkundige principes

De natuurkundige principes achter vochtafvoeren door inblazen van buitenlucht zijn in wezen eenvoudig. Buitenlucht bevat in absolute zin vrijwel altijd minder vocht in gram/kg dan kaslucht. Door het inblazen van deze drogere lucht wordt er kaslucht met een hogere vochtigheid verdrongen. Hierdoor verdwijnt er per saldo dus vocht uit de kas. En omdat het maximale vochtgehalte gekoppeld is aan de temperatuur (verzadigingscurve) is de buitenlucht droger naarmate het kouder is. Dus juist als de noodzaak van energiebesparing groot is, werkt dit principe het beste.

Een rekenvoorbeeld om dit te demonstreren:

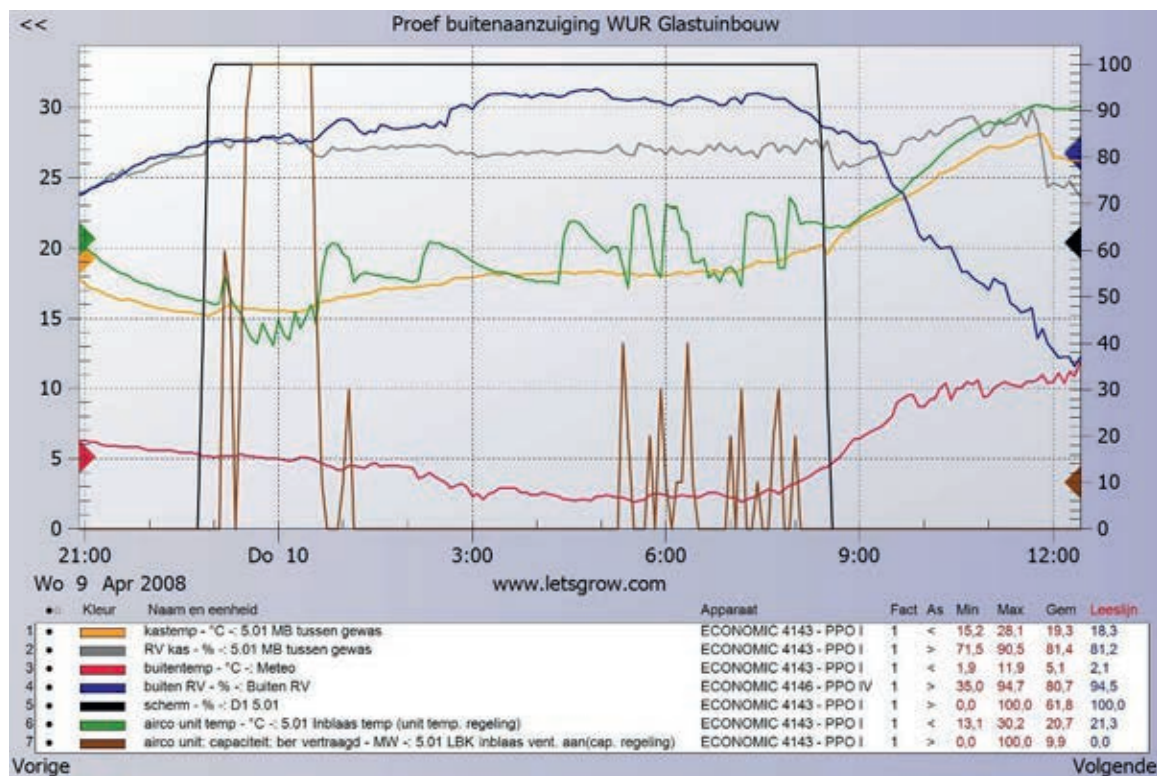
Stel de kastemperatuur is 18 grd en de RV 85%, de lucht bevat dan 11 gr/kg vocht. Stel het is buiten 10 graden en 100% RV, de buitenlucht bevat dan ruim 7,5 gr/kg. Als we nu buitenlucht inblazen met een capaciteit van slechts $5 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{uur}$ dan wordt er afgevoerd aan vocht : $5 \times 1,15 \times (11 - 7,5) = 20 \text{ gram/m}^2 \cdot \text{uur}$.

Met andere woorden, door de kasinhoud slechts 1x per uur te verversen met buitenlucht kan de gewasverdamping van een gemiddeld tomatengewas in het donker worden afgevoerd, ondanks het feit dat het buiten mistig is.

Stel nu dat het buiten 0 graden is, en 50% RV dan is de vochtinhoud ca 2 gram/kg. Er kan dan dus met minder buitenlucht worden volstaan, dat wil zeggen dat het systeem slechts een gedeelte van de tijd hoeft te werken.

Het “geheim” van geforceerde inblazing is vooral dat het werkt onafhankelijk van een vochtier in het schermdoek. Door de overdruk wordt de lucht als het ware door het scherm heen gedrukt. Bij zeer dichte kassen kan het wel nodig zijn om de ramen op een kiertje te houden of speciale overdruk ventielen boven het schermdoek aan te brengen.

Figuur 6.1.1. geeft een voorbeeld van het effect op het kasklimaat.



Figuur 6.1.1. Het verlagen van de RV door middel van buitenlucht aanzuiging via slangen onderin het gewas in een proef met grondteelt tomaat bij WUR Glastuinbouw. De groene lijn toont de uitblaastemperatuur onderin het gewas, de bruine lijn laat zien wanneer de ventilator buitenlucht aanzoog. De RV was ingesteld op 85% en is netjes gehaald.

Echter net als bij de natuurlijke ventilatie hangt het effect van geforceerde ventilatie af van het verschil in vochtigheid binnen - buiten. Als er geen of slechts een klein verschil is in absolute vochtigheid (zoals in de nazomer of herfst voor kan komen), dan helpt geforceerd inblazen ook niets.

Een goede benadering is om te kijken naar het verschil in enthalpie binnen - buiten.

Zie verder onder "verschil enthalpie binnen buiten"

6.2 Systemen voor buitenlucht inblazen

Inmiddels zijn er verschillende systemen voor buitenlucht inblazen op de markt verschenen. De overeenkomst is dat buitenlucht wordt aangezogen door de gevel en met een ventilator en luchtslurf wordt verdeeld in de kas. Onderlinge verschillen zijn met name wel of niet voorverwarmen en of koelen c.q. ontvochtigen, wel of niet recirculeren van kaslucht met mengregeling, wel of niet energie terugwinnen, en uiteraard verschil in capaciteit uitgedrukt in m³ luchtverplaatsing per m².uur.

Algemeen kan gesteld worden dat het voorverwarmen van de aangezogen (koudere) buitenlucht zonder meer noodzakelijk is om temperatuurverschillen over de slurf te voorkomen. Verder is voldoende aangetoond dat het gebruik van een dergelijk systeem als aanvullende verwarming ook leidt tot een slechte temperatuur verdeling in de kas. Als gevolg van de lage energie inhoud van lucht koelt de slurf namelijk veel sneller af dan een met warm water gevulde verwarmingsbuis. Het beste is dus de buitenlucht precies tot de heersende kastemperatuur te verwarmen.

6.3 Warmterugwinning niet rendabel

Het terugwinnen van warmte uit de kaslucht die naar buiten gaat is mogelijk met een warmtewisselaar, maar levert in de praktijk veel minder rendement op dat meestal gedacht wordt. Het probleem is namelijk dat de uitgaande kaslucht veel meer (latente) energie bevat dan de binnenkomende buitenlucht kan opnemen. Bovendien zijn voorzieningen nodig om de retourstroom van de ingeblazen lucht bij de warmtewisselaar te brengen. Hiermee gaat een deel van de teruggewonnen energie dus weer verloren. En worden ongewenste stromingen in het leven geroepen met een ongelijkere temperatuur- en vochtverdeling in de kas.

Kortom de investering in een warmterugwinningssysteem als onderdeel van vochtbeheersing is niet rendabel.

6.4 Vochtbeheersing en luchtbeweging niet combineren

Vrijwel alle systemen die in de praktijk zijn geïnstalleerd voor het inblazen van buitenlucht zijn zodanig uitgevoerd dat er ook kaslucht mee kan worden gerecirculeerd.

Meestal is dan sprake van een mengsysteem, waarbij door een kleppenstelsel de mengverhouding tussen aangezogen buitenlucht en gerecirculeerde kaslucht kan worden geregeld. Bovendien is de ventilator vaak uitgevoerd met een frequentieregeling om het debiet te kunnen variëren.

Uit de praktijk worden met dergelijke systemen diverse problemen geconstateerd waarvan de belangrijkste zijn:

- temperatuur verschillen bij recirculeren
- ongelijke verdeling van de lucht bij deelkast
- recirculeren draagt niet bij aan de ontvochtiging
- hoog elektrisch energieverbruik

Vanwege de noodzakelijke drukopbouw en het transport over langere afstanden kost het creëren van luchtcirculatie door middel van een slurf onnodig veel energie. Natuurkundig gezien is de beste manier dus om het naar binnen brengen van de buitenlucht en het mengen en circuleren van de kaslucht uit te voeren met gescheiden systemen.

Het luchtinblaassysteem kan dan met een kleine capaciteit volstaan; ca 4-5 m³/m².uur blijkt voor de meeste teelten voldoende (Figuur 5.2.1/C). Alleen voor belichte teelten is meer debiet nodig door de hogere verdamping. Omdat de diameter van de slurf en de gaten daarin berekend zijn voor een bepaalde luchtstroom zal het variëren van de capaciteit van de ventilator altijd gepaard gaan met een slechtere verdeling - en dus ongewenste klimaateffecten. En dat is niet nodig, want een aan-uit regeling op basis van RV werkt zonder problemen.

In het Aircokas onderzoek is steeds gewerkt met een combinatie van buitenlucht inblazen en verticale ventilatoren die de lucht zo goed mogelijk over de planten verdelen. Hierdoor wordt er altijd voldoende luchtbeweging gemaakt om bijv. wonddroging (na bladpluk of oogst) te verbeteren en vochtophoping tussen het gewas en temperatuurverschillen op te heffen.

7 Effectiever schermen tegen warmteverlies en uitstraling

De boven beschreven werkwijze voor vochtbeheersing heeft grote gevolgen voor de manier waarop we in de toekomst met schermen en klimaatregelen om zullen gaan.

In de eerste plaats ontstaat er de mogelijkheid om zonder vochtproblemen zeer dichte schermen of folies te kiezen. Daardoor zal het verwarmen in de nacht zo weinig energie kosten dat het interessant wordt om de gewenste etmaal temperatuursom bij voorkeur in de nacht te realiseren.

In de tweede plaats kunnen de schermen in de toekomst veel intelligenter worden ingezet. Bijvoorbeeld omdat in combinatie met de geforceerde luchtbeweging relatief snel temperatuur veranderingen kunnen worden gerealiseerd zonder dat dit veel energie kost.

Onder het gesloten scherm kan met lage capaciteit en laagwaardige warmte immers veel bereikt worden. Dat betekent dat het niet meer nodig is om al heel vroeg in de nacht naar de ochtendtemperatuur op te stoken. Ook is het mogelijk om voor het tweede scherm een heldere geperforeerde folie te kiezen die pas open gaat wanneer de zon voldoende kracht heeft om de kas van boven af te verwarmen. Omdat juist de ochtenduren rondom zonsopgang de meeste energie vergen zal er op die wijze een grote energiebesparing te behalen zijn.

In de derde plaats kunnen veel voorkomende problemen als gevolg van vocht en condensatie op een nieuwe manier bestreden gaan worden.

Bij grote temperatuur verschillen onder en boven het energiescherm zijn er bijvoorbeeld vaak problemen met de condensatie van vocht in het schermdoek. Hierdoor ontstaan 's morgens bij het openen vochtplekken in het gewas doordat het scherm als het ware "uitgewrongen" wordt.

Een ander punt is dat een lage temperatuur van het schermdoek leidt tot een hoge energie uitstraling en daardoor tot een lage temperatuur van de bovenste plantendelen. Er zijn aanwijzingen dat dit bijvoorbeeld bij Gerbera een verklaring zou kunnen zijn voor problemen zoals smet en rotkoppen. En bij lagere energie inbreng zoals bij Het Nieuwe Telen wordt dit eerder erger dan beter. Door toepassing van een dubbel scherm met luchtsponw kan dit probleem worden opgelost.

8 Samenvatting

Het rapport geeft een analyse van het kasklimaat op basis van de energiebalans en de vochtbalans van de kas en bespreekt de interactie van het kasklimaat met enerzijds de weersomstandigheden buiten en anderszijds het microklimaat van het gewas in verschillende perioden van de dag en de nacht.

De analyse vormt de natuurkundige basis voor de principes van een energiezuinige aanpak om een actief groeiklimaat te creëren voor de plant. In tegenstelling tot de gangbare praktijk waar dit gedaan wordt door onnodig te stoken met de verwarmingsinstallatie. Daarmee vormt deze analyse ook de onderbouwing voor Het Nieuwe Telen.

Een actief en groeizaam microklimaat met lage energiekosten kan alleen bereikt worden door 4 maatregelen tegelijk toe te passen: geforceerde luchtbeweging rondom de plant, vereffening van temperatuurverschillen, het afvoeren van vocht, en beter isoleren met dubbele energieschermen. Dit laatste om gewascondensatie door uitstraling te voorkomen.

De analyse geeft tevens aan hoe dit op de meest eenvoudige en effectieve manier kan worden uitgevoerd, namelijk door een combinatie van een eenvoudig en goedkoop systeem voor buitenlucht inblazen met aan/uit regeling en separate verticale ventilatoren voor luchtbeweging.

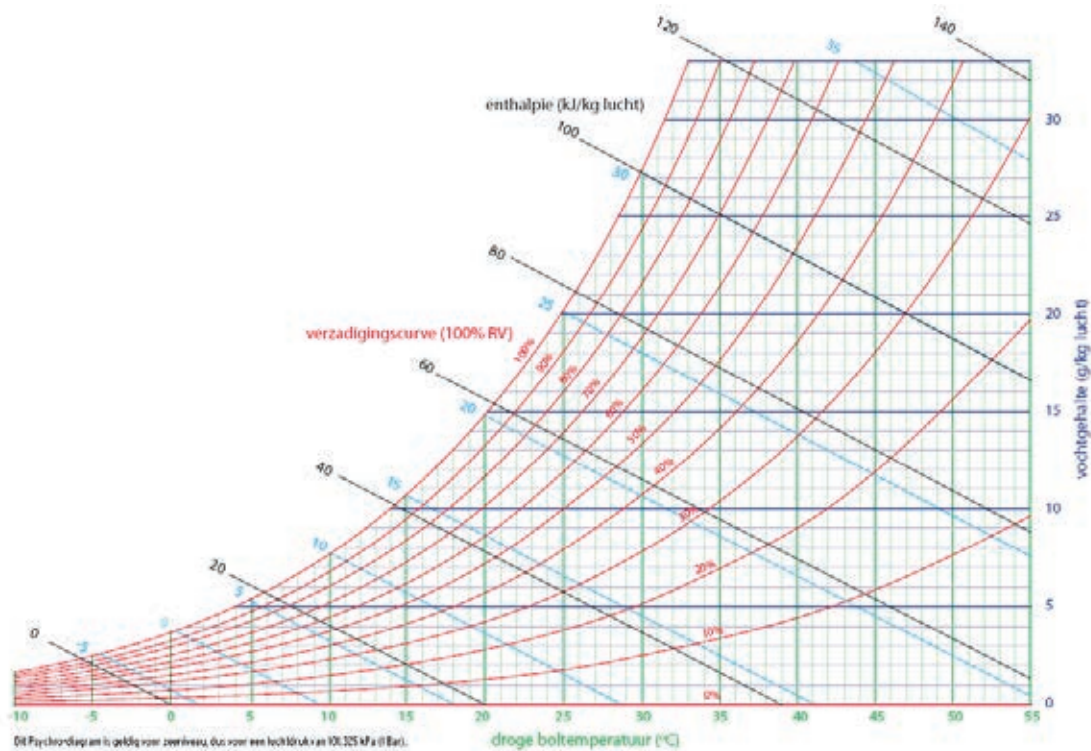
Hoewel deze aanpak in onderzoek succesvol is gebleken is de praktijk nog zoekend. De meest gangbare uitvoering is op dit moment een combinatie van buitenlucht inblazen en recirculeren van kaslucht in horizontale richting door middel van een slurvensysteem, met een menginrichting en een variabel debiet met frequentieregeling.

Op basis van natuurkundige wetten is het recirculeren van kaslucht met horizontale slurven niet energie efficiënt, en veroorzaakt bovendien ongewenste klimaatverschillen.

Verder toont deze analyse aan dat er separaat maatregelen moeten worden genomen om ongewenste (natuurlijke) luchtstromingen door temperatuur en drukverschillen in de kassen te voorkomen. Deze natuurlijke stromingen zijn dermate sterk dat ze niet met ventilatoren gecorrigeerd kunnen worden.

9 Bijlagen

9.1 Psychrodiagram



9.2 Begrippenkader

In de tekst gebruikte begrippen en benamingen worden hieronder kort toegelicht

Ventilatie

Uitwisseling van kaslucht en buitenlucht. Hiermee wordt normaal gesproken vocht en warmte afgevoerd. De verhouding tussen warmteafvoer en vochtafvoer wordt bepaald door het verschil in luchttemperatuur en absoluut vochtgehalte binnen/buiten.

Ventilatiesnelheid

De hoeveelheid uitgewisselde lucht in $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$. Vaak wordt gesproken over ventilatievoud, dit geeft aan hoe vaak de kasinhoud per uur wordt ververs, dus feitelijk $\text{m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{uur}$. Het voordeel van ventilatiesnelheid is dat hierbij in berekeningen en vergelijkingen de kashoogte niet meegenomen hoeft te worden.

Ventilatie of recirculatie capaciteit

De hoeveelheid lucht in m^3/m^2 die per uur door een ventilatie- of recirculatie systeem kan worden ingebracht of rondgepompt.

Natuurlijke ventilatie

De drijvende kracht voor de luchtuitwisseling wordt geleverd door natuurlijke oorzaken: temperatuur verschillen, drukverschillen en wind.

Geforceerde ventilatie

De drijvende kracht voor luchttuitwisseling wordt geleverd door ventilatoren.

Vochtbalans van de kas

Het resultaat van vochtproductie door verdamping van gewas en bodem en vochtafvoer door ventilatie en condensatie.

Psychrodiagram

Ook wel Mollierdiagram genoemd. Een diagram waarin de eigenschappen van lucht bij alle combinaties van luchttemperatuur en vochtgehalte kunnen worden afgelezen. Zie bijlage.

Verzadigingscurve van lucht voor waterdamp

Lucht kan bij een bepaalde temperatuur een maximale hoeveelheid waterdamp in gram/kg lucht bevatten. Deze relatie wordt de verzadigingscurve genoemd.

Absolute vochtigheid (AV)

De absolute vochtigheid van de kaslucht AV is het aantal grammen vocht dat per kilo kaslucht daadwerkelijk aanwezig is. Zie Psychrodiagram. De absolute vochtigheid wordt ook wel uitgedrukt in gram per m³ lucht. Het nadeel van deze weergave is dat deze afhangt van de luchttemperatuur.

Relatieve vochtigheid (RV)

De relatieve vochtigheid RV is de absolute vochtigheid van de kaslucht gedeeld door het maximale aantal grammen dat de lucht bij die temperatuur kan bevatten. Met vocht verzadigde lucht heeft dus een RV van 100% Dit is zichtbaar als "mist"

Vochtdeficit (VD)

Het vochtdeficit VD is het verschil tussen de maximale absolute vochtigheid en de werkelijke absolute vochtigheid bij de heersende temperatuur in gram/kg lucht. RV en VD kunnen eenvoudig in elkaar worden omgerekend via het Psychrodiagram.

Dauwpunt

De dauwpuntstemperatuur van de kaslucht is die temperatuur waarbij het werkelijke vochtgehalte gelijk wordt aan het maximale vochtgehalte. Bij verdere afkoeling zal er condensatie optreden.

VPD Vapour Pressure Difference

Omdat waterdamp in lucht zich gedraagt als een mengsel van gassen kunnen we ook spreken van de dampdruk van vocht in de lucht. Dit wordt uitgedrukt in kilo Pascal (kPa) . We kunnen dan spreken over VPD als Vapour Pressure Deficit, zijnde het verschil tussen de maximale waterdampdruk bij de heersende temperatuur en de werkelijke dampspanning. Dit is echter alleen een andere weergave van VD vochtdeficit en voegt weinig toe.

Zinvoller is het begrip VPD- plant, dit is het verschil tussen de waterdampdruk in het blad en de dampdruk in de kaslucht. Deze VPD kan alleen berekend worden als naast de kasluchttemperatuur en de RV ook de planttemperatuur gemeten wordt. Waarden tussen ca 0,5 en 1,5 kPa worden als normaal beschouwd en gunstig voor een goede verdamping. Ter vergelijking: de normale luchtdruk van 1 Bar komt overeen met 101,3 kPa.

Leaf Area Index LAI

De LAI is het aantal m² bladoppervlak per m² kasoppervlak. De waarde verschilt uiteraard per gewastype en de groeifase. Bij een volgroeid tomaten gewas is de LAI ca 3 - 4 Zie ook: lichtonderschepping

Gewascondensatie

Dit treedt op als de temperatuur van het gewas onder de dauwpuntstemperatuur van de kaslucht komt. Dit is o.a het geval als de kastemperatuur en de vochtigheid sneller stijgen dan dat grote vruchten zoals tomaten en komkommers kunnen opwarmen vanwege hun massa (na-ijlen). Of wanneer gewasonderdelen door uitstraling naar een koude hemel een lagere temperatuur krijgen dan hun omgeving. Ook op bijvoorbeeld de kasconstructie of bloempotten kan condensatie optreden. Meestal wordt dit als ongewenst beschouwd omdat het (door druppelen) uiteindelijk net als gewascondensatie kan leiden tot vochtschade en ontwikkeling van schimmels en ziekten in het gewas.

Condensatie tegen het kasdek /gevel

Als de buitentemperatuur lager is dan het dauwpunt van de kaslucht, dan zal waterdamp condenseren tegen het kasdek en de gevel. Doordat dit vocht kan worden afgevoerd (condensgootjes) zonder vochtschade aan het gewas is het een welkome bijdrage aan de vochtafvoer uit de kaslucht. Hoe verder de temperatuur afligt van het dauwpunt, hoe groter de hoeveelheid water zal zijn die per tijdseenheid condenseert

Diffusie van waterdamp

Waterdamp verplaatst zich in stilstaande lucht als gevolg van concentratie (dampdruk) verschillen. Diffusie zorgt ervoor dat vocht door een poreus schermdoek naar boven trekt als de absolute vochtigheid boven het scherm lager is dan onder het scherm. Damptransport door diffusie is bij de gangbare concentratieverschillen in een kas zeer beperkt. Damptransport door luchtbeweging krijgt al bij geringe lichtsnelheden vanaf ca 0,1 cm/sec de overhand.

Enthalpie

Dit is de energie inhoud van lucht bestaande uit 2 delen namelijk de voelbare warmte (temperatuur) en de latente warmte (verdampingsenergie van de aanwezige waterdamp) beide in kiloJoule per kilo lucht (kJ/kg) Zie het Psychrodiagram.

De enthalpie in de kas kan worden verhoogd door verwarming, belichting en door de zon.

Adiabatische koeling

Dit is de omzetting van voelbare warmte in latente warmte door verdamping van water, waarbij de temperatuur afneemt, de vochtigheid toeneemt, maar de energie inhoud van de lucht hetzelfde blijft. Gewasverdamping en verneveling zijn beide vormen van adiabatische koeling.

Enthalpie verschil binnen / buiten

Het verschil in enthalpie binnen/buiten is bepalend voor de hoeveelheid energie die per kg uitgewisselde lucht kan worden afgevoerd. Hoe groter het verschil hoe minder ventilatie debiet nodig is om warmte af te voeren. Als er geen enthalpie verschil is kan de kas dus niet gekoeld worden door ventilatie.

Absoluut vocht verschil binnen/buiten

Het verschil in absoluut vochtgehalte in gram/ kg in de kas en buiten. Hoe groter het verschil hoe minder ventilatie nodig is om een bepaalde hoeveelheid vocht af te voeren. Als er geen verschil is in vochtgehalte kan er geen vocht worden afgevoerd door ventilatie.

Gewasverdamping

De hoeveelheid waterdamp in gram/m².uur die door het gewas wordt verdampt. Gewasverdamping zorgt voor de noodzakelijke afkoeling van de plant en is ook een drijvende kracht voor het transport van voedingselementen van de wortels naar de groeipunten.

Verdamping vindt plaats door energietoevoer op 2 manieren. De eerste is direct als gevolg van straling door de zon, door belichting of door de verwarming. De tweede is indirect door convectie als de planttemperatuur lager is dan de kasluchttemperatuur (natte-bol effect) .

Huidmondjes opening of geleiding

Huidmondjes zijn kleine poriën in het bladoppervlak die kunnen openen en sluiten onder invloed van licht en de waterdruk in het bladweefsel. Energie van de zon of van lampen leidt tot het openen van de huidmondjes in het blad zolang er in de plant voldoende water beschikbaar is. Zowel het PAR deel van het licht als het infrarode deel leveren verdampingsenergie. Als er geen PAR licht beschikbaar is sluiten de huidmondjes, maar vindt er nog steeds verdamping plaats door het doorlaatbaar zijn voor waterdamp van (een deel van) het blad.

Met het huidmondje regelt de plant de waterbalans en de energiebalans maar ook de opname van CO₂. Het gedrag van de huidmondjes geeft daardoor veel informatie over hoe de plant op dat moment functioneert. .

Bodemverdamping

De hoeveelheid waterdamp in gram/m².uur die door de bodem wordt verdampt. Ook hier is sprake van twee vormen onder invloed van straling en convectie.

Verdampingswarmte van water

Dit is de hoeveelheid energie in kJ die nodig is om 1 kg vloeibaar water te verdampen. Deze waarde hangt af van de temperatuur en bedraagt ca 2500 kJ/kg.

Soortelijke warmte van lucht

Dit is de hoeveelheid energie in kJ die nodig is om 1 kg lucht 1 graad in temperatuur te verhogen. Deze waarde bedraagt ca 1 kJ/kg.K. Een zeer lage waarde dus in vergelijking tot de verdampingswarmte van water. Daarom speelt het vochtgehalte van kaslucht een zeer bepalende rol in de energiehuishouding.

De K-waarde van de kas

De K-waarde van een kas bepaalt de hoeveelheid energie die nodig is om, met gesloten luchtramen, een temperatuurverschil met buiten te handhaven en wordt uitgedrukt in W/m².K. Een gangbare kas heeft een K-waarde van ca 7 W/m².K Met een energiescherm kan deze waarde verlaagd worden naar bijvoorbeeld 3,5 W/m².K en daarmee kan dan dus 50% energie worden bespaard.

Convectie

Warmteoverdracht door luchtstroming langs een object dat warmer of kouder is dan de lucht uitgedrukt in W/m².K Convectie vinden we op allerlei plekken in de kas: tussen verwarmingsbuizen en de kaslucht, tussen de kaslucht en het kasdek, maar ook tussen de kaslucht en het gewas, en de kaslucht en het schermdoek.

Straling

Uitwisseling van energie door middel van straling. Hierbij onderscheiden we in hoofdzaak kortgolvlige straling in de vorm van (zichtbaar) licht, en langgolvlige straling in de vorm van (onzichtbaar) infrarood (IR) straling. Uitwisseling door straling vinden we op allerlei plekken in de kas, de allerbelangrijkste en krachtigste bron is de instraling door de zon, maar ook lampen, verwarmingsbuizen, de kasconstructie en de bodem geven energie af en ontvangen energie door straling.

Globale straling

Hieronder wordt verstaan de natuurlijke straling van de zon die bestaat uit UV, PAR en IR straling. Deze straling wordt gemeten met een zgn Pyranometer, ook wel Solarimeter genoemd. Midden zomer kan de globale straling in Nederland waarden tot ca 1000 W/m² bereiken.

PAR straling

PAR, uitgedrukt in micromol/m².s is dat deel van de straling dat door de plant kan worden benut voor fotosynthese. Van direct zonlicht is dat ca 45%, bij indirect zonlicht met bewolking kan dat oplopen tot ca 59%. De rest is IR infrarood (ca 50%) en UV ultra violet (ca 5%) Beide zijn overigens wel van belang om bepaalde groeiprocessen te sturen.

Uitstraling

Met uitstraling wordt bedoeld de afkoeling van het gewas doordat langgolvlige (IR) straling wordt afgegeven aan een koud kasdek of een koud schermdoek. Dit is een vaak onderschat verschijnsel met een fors risico voor condensatie in de kop van het gewas en de bloemen.

Lichtonderschepping van het gewas

Dit wordt uitgedrukt in het percentage van de inkomende straling dat daadwerkelijk door het gewas wordt opgevangen. Bij een lichtonderschepping van bijvoorbeeld 60% valt dus 40% van het inkomende licht “naast” of “door” de plant. Enerzijds is dat nadelig omdat het inkomende PAR licht niet volledig wordt benut. Anderzijds krijgt de plant ook minder te verduren bij hoge instraling. LAI en lichtonderschepping zijn aan elkaar gerelateerd. Recent is gebleken dat een plant door het bewegen van zijn blad de lichtonderschepping bij een gegeven LAI actief kan verlagen, en dat een groot deel van de opvallende IR straling door het bladoppervlak wordt gereflecteerd.

LBK Lucht Behandelings Kast

Een algemene aanduiding voor een apparaat bestaande uit een kast waarin luchtbeweging wordt opgewekt door een ventilator en waarin minimaal ofwel een verwarmingselement, ofwel een koelelement of een combinatie aanwezig is.

Luchtinblaas systeem / Overdruk systeem

Een installatie waarmee buitenlucht op een controleerde manier de kas ingeblazen wordt met als doel vochtbeheersing. Buitenlucht is namelijk vrijwel altijd droger dan kaslucht. Door de overdruk wordt er kaslucht en dus ook vocht door de kieren en spleetjes naar buiten gedrukt. Soms wordt gesteld dat overdruk op zichzelf ook zorgt voor een betere temperatuurverdeling omdat het verhindert dat er door de genoemde kieren plaatselijk “koude lucht naar binnen komt”. Dit is niet helemaal onjuist, maar we moeten wel bedenken dat het ten eerste om heel weinig ingeblazen lucht gaat ($5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$) en ten tweede dat de natuurlijke drukfluctuaties rond de kas als gevolg van wind aanzienlijk groter kunnen zijn dan de overdruk die met luchtinblaas systemen kan worden opgebouwd. En juist de windeffecten zorgen voor grote temperatuurverschillen. Met andere woorden, overdruk werkt tegen temperatuurverschillen als een paraplu die krimpt in de regen.

Energie en vermogen

De moderne eenheid van energie is de Joule. Deze kan in het SI stelsel op verschillende manieren worden weergegeven, namelijk thermisch, mechanisch en elektrisch:

- om 1 gram water 1 graad Celsius in temperatuur te verhogen is 4,2 Joule aan energie nodig. Hieruit volgt dus dat de oude eenheid van thermische energie, de calorie, gelijk is aan 4,2 Joule.
- Om een kracht van 1 Newton 1 meter te verplaatsen is 1 Joule energie nodig
- Als een batterij met een spanning van 1 Volt gedurende 1 seconde een stroom van 1 ampere levert staat dat gelijk aan 1 Joule energie

De laatste weergave brengt ons op het begrip vermogen; dit is energie per tijdseenheid. De moderne eenheid is Watt. Waarbij 1 Watt vermogen gelijk is aan 1 Joule per seconde.

In de tuinbouw omgeving worden meestal de voorvoegsels kilo (x 1000) en Mega (x 1000.000) en Giga (x 1000.000.000) gebruikt.

Als vergelijking kunnen we kijken naar de hoeveelheid energie die het verbranden van 1 m^3 aardgas oplevert. De verbrandingswaarde van gas verschilt per samenstelling, daarom wordt gesproken over de calorische waarde in MJ/ m^3 . Voor standaard Gronings aardgas is dat 31,65 MJ als die verbrand wordt in een ketel zonder rookgascondensor (onderwaarde). Deze hoeveelheid energie is dan voldoende om 1 m^3 water ca 7,5 graden C in temperatuur te verhogen.

Hoewel het feitelijk onnodig is, en soms zelfs verwarrend worden in de praktijk ook andere afgeleide eenheden gebruikt om de hoeveelheid energie uit te drukken. Bekend is de MWh = Mega Watt uur voor elektrische energie. Dit is de energie die bijvoorbeeld een WKK van 1 MW elektrisch in 1 uur tijd aan het net levert. Dus $1 \text{ MWh} = 1000.000 \text{ [J/sec]} \times 3600 \text{ [sec/uur]} = 3600.000.000 \text{ Joule} = 3600 \text{ MJ} = 3,6 \text{ GJ}$.

Een ander voorbeeld is de Aardgas Equivalent (a.e.) voor energie, die gelijkgesteld is aan de bovengenoemde calorische waarde van Gronings aardgas, nl 31,65 MJ. Dit kan verwarring opleveren als men deze eenheid a.e. zou opvatten als een fysieke m³ aardgas, waarbij geen rekening gehouden wordt met ketel- of WKK rendement, en sprake is van verschillende soorten gas met afwijkende calorische waarde.

Open, Gesloten en Semi gesloten kas

Van deze begrippen is de gesloten kas natuurlijk het meest duidelijk: een kas zonder luchtramen, dus zonder luchtuitwisseling met buiten. Dat betekent dat de complete luchtbehandeling; verwarmen, koelen, bevochtigen en ontvochtigen volledig door de installatie moet worden verzorgd. Dit heeft o.a. als gevolg dat er een enorm grote en dure koelinstallatie nodig is, en dat er in de zomer veel meer warmte (3 - 4 x zoveel) wordt "geoogst" dan er in de winter nodig is om de kas te verwarmen. Het grootste voordeel is een hogere CO₂ concentratie dus meer groei.

De Open kas is de "klassieke" kas waarbij koelen en ontvochtigen uitsluitend met de luchtramen wordt gedaan en waarbij het activeren van het gewas vooral wordt gedaan met extra stoken (minimum buis). Dit betekent dat de kas veel energie vraagt en dat er ook veel van de gedoseerde CO₂ door de ramen naar buiten verdwijnt.

Het idee achter de Semi gesloten kas is om de voordelen van de gesloten kas zoals minder energieverbruik, minder CO₂ emissie en hogere productie te realiseren met beperkte investeringen. Onder andere door inzetten van hoge druk verneveling in combinatie met minder ventileren om de CO₂ beter te benutten, beter isolerende schermdoeken, vochtbeheersing door het inblazen van buitenlucht, en activeren van het gewas door kunstmatige luchtbeweging in plaats van stoken met de minimum buis.

Het Nieuwe Telen

Telen in een Semi gesloten kas, dus met nieuwe instrumenten, levert een ander groeiklimaat op voor de planten, die dus ook een andere reactie vertonen dan men gewend was. Dat betekent dat tuinders "opnieuw moeten leren telen" en ook "opnieuw moeten leren klimaatregelen". Zie ook de inleiding / probleemstelling

Dit veelomvattend leer- en ontwikkelingsproces voor alle betrokkenen wordt momenteel aangeduid met het verzamelbegrip "Het Nieuwe Telen"

