

ISBN: 570 975 H

BIBLIOTHEEK  
PROEFSTATION VOOR TUINBOUW  
ONDER GLAS TE NAALDWIJK

GW

HK

104

# LUCHTVOCHTIGHEID

Proefstation voor Tuinbouw onder Glas te Naaldwijk  
Proefstation voor de Bloemisterij in Nederland te Aalsmeer

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS



0000 0935 5070

# Inhoud

## Fysische aspecten en meting van vocht

- 4 Water in de lucht: *Waterdamp, motor van het kasklimaat*  
 7 RV: *Relatieve luchtvochtigheid: een relatief begrip*  
 8 Maximum vochtgehalte en dauwpunt: *Vochtgehalte speelt hoofdrol in kassen*  
 10 Meten en rekenen: *Goede meting basis voor alle omrekeningen*
- 

## Regeling van luchtvochtigheid

- 12 Vochtbalans in kassen: *Vochtafvoer is de basis voor vochtregeling*  
 14 Regelen met ventilatie en verwarming: *Droogstoken: eerst luchten dan stoken*  
 16 Luchtbevochtiging: *Kaslucht verlangt soms extra vocht*  
 18 Regeling met schermen: *Scherf kan helpen bij vochtregeling*
- 

## Verdamping en fotosynthese op bladniveau en adaptatie

- 20 Energiebalans: *Blad geeft vooral via verdamping warmte af*  
 22 Fotosynthese: *Invloed vocht op fotosynthese klein*  
 24 Adaptatie van de plant: *Zichtbare aanpassingen en onzichtbare*
- 

## Waterhuishouding en mineralenopname

- 26 Verdamping en worteldruk: *Plant verdampt door vochtverschil*  
 28 Waterbalans: *Plantgewicht schommelt door verdamping en groei*  
 30 Effect scherm op verdamping: *Verdamping daalt niet altijd door schermen*  
 32 Verdamping snijbloemen: *Teeltwijze snijbloemen cruciaal bij verdamping*  
 34 Verdamping uit bodem: *Verdamping uit grond belangrijke vochtbron*  
 36 Mineralenopname: *Calciumtransport het meest beïnvloed*
- 

## Groei en produktie

- 38 Overzicht effecten: *Vocht werkt op veel plantprocessen in*  
 40 Groei en ontwikkeling: *Effect op groei en ontwikkeling divers*  
 42 Vruchtgroenten: *Vruchtgroenten reageren niet eender op vocht*  
 44 Opkweek: *Eerste fase van de teelt vraagt veel vocht*  
 46 Snijbloemen: *Invloed vocht bij veel gewassen nog wazig*  
 48 Potplanten: *Hoge luchtvochtigheid vaak positief voor groei*
- 

## Fysiogene afwijkingen en kwaliteit

- 50 Bladafwijkingen: *Blad lijdt van storing in waterhuishouding*  
 52 Vruchtafwijkingen: *Onjuist calciumgehalte geeft problemen*  
 54 Houdbaarheid vruchten: *Korter houdbaar door hoge luchtvochtigheid*  
 56 Afwijkingen snijbloemen: *Luchtvochtigheid een invloedrijke factor*  
 58 Naooogsteffecten: *Luchtvochtigheid ook na de oogst van belang*
- 

## Effecten op ziekten en plagen

- 60 Schimmels en vocht: *Vocht beïnvloedt schimmelgroei*  
 62 Symptomen groenten: *Wisselende vochtigheid: meer Botrytis en 'wit'*  
 64 Mycosphaerella: *Natslaan vergroot kans op mycosphaerella*  
 66 Botrytis en meeldauw in siergewassen: *Het klimaat als bestrijdingsmiddel*  
 68 Biologische bestrijding: *Droogte nadelig voor biologische bestrijding*
- 

## Werkklimaat

- 70 Werkklimaat: *Mens en gewas vragen verschillend klimaat*

# Inleiding

*Luchtvochtigheid, een van de belangrijkste kasklimaatfactoren, staat de laatste tijd weer flink in de belangstelling. Het onderzoek heeft in de afgelopen jaren zoveel kennis opgeleverd dat het de moeite waard is deze in de vorm van een brochure te bundelen.*

*Deze brochure bestaat uit een serie artikelen over luchtvochtigheid die van maart tot en met september 1993 gepubliceerd zijn in het vakdeel Glasgroenten van Groenten + Fruit. Daarnaast zijn enkele artikelen overgenomen uit een special over luchtvochtigheid van het Vakblad voor de Bloemisterij van 11 juni 1993.*

*Het is bij de opzet van deze brochure zeker niet de bedoeling geweest alle aspecten van luchtvochtigheid tot in details te beschrijven. Het uiteindelijke resultaat is een compacte beschrijving van de belangrijkste zaken met daarin bovendien een aantal praktische richtlijnen die kunnen bijdragen tot een kwalitatief goede produktie.*

*In deze brochure wordt een groot aantal verschillende aspecten van vocht behandeld. Er is daarbij vaak gebruik gemaakt van gewasgerichte informatie, maar gelijktijdig is getracht voor zover mogelijk een meer algemeen beeld te geven van de effecten van luchtvochtigheid.*

*Op de eerste plaats komen de fysische aspecten van vocht aan de orde. De verschillende manieren om de hoeveelheid waterdamp in lucht aan te geven worden behandeld. Ook de onderlinge samenhang, omrekeningen en het meten van vocht krijgen aandacht.*

*Daarna volgt een beschrijving van de mogelijkheden rond de regeling en beïnvloeding van de luchtvochtigheid in kassen. Na deze meer fysisch / technische hoofdstukken wordt aandacht besteed aan de snelle effecten op bladniveau (verdamping en fotosynthese) en de gewasaanpassingen die na lange tijd kunnen optreden.*

*De luchtvochtigheid van de kaslucht is het resultaat van het evenwicht tussen de aan- en afvoer van waterdamp. De gewasverdamping vormt hierin de belangrijkste bron voor aanvoer van waterdamp. Een groot deel van de brochure is daarom gewijd aan de aspecten van verdamping en waterhuishouding van gewassen.*

*Na deze beschrijvingen volgen twee hoofdstukken waarin de effecten van luchtvochtigheid op groei, produktie en kwaliteit van diverse gewassen aan de orde komen. Een groot scala aan afwijkingen die onder invloed van de luchtvochtigheid kunnen ontstaan, passeren de revue.*

*Vervolgens wordt in een apart hoofdstuk aandacht geschonken aan de planteziektenkundige aspecten van luchtvochtigheid. Naast diverse schimmelinfecties wordt ook de invloed op de biologische bestrijding van plagen besproken.*

*Tenslotte wordt in een kort laatste hoofdstuk de aandacht gericht op de werkende mens in het, meestal vochtige kasklimaat.*

*Aan de totstandkoming van deze brochure hebben veel personen medewerking verleend. Achterin is een lijst van de auteurs opgenomen. Behalve deze schrijvers heeft ook een aantal mensen achter de schermen een belangrijke rol gespeeld bij het verschijnen van deze brochure. Daarom wil ik, behalve alle auteurs, met name de sectie publiciteit van het PTG en alle betrokken redactiemedewerkers van het weekblad Groenten + Fruit danken voor de uitstekende samenwerking. Tenslotte nog een woord van dank aan de redacties van het weekblad Groenten + Fruit en het Vakblad voor de Bloemisterij voor het ter beschikking stellen van foto- en tekstmateriaal.*



**J.C. BAKKER**

Hoofd sectie kasklimaat  
PTG Naaldwijk (eindredactie)

# Waterdamp, motor van het kasklimaat

*Waterdamp speelt een belangrijke rol in het kasklimaat. Er wordt energie in vastgelegd, die ook weer vrij kan komen. Bij ventilatie wordt kaslucht uitgewisseld met dezelfde hoeveelheid droge buitenlucht. Bij het regelen van het kasklimaat zal de concentratie waterdamp binnen en buiten de kas moeten worden meegenomen.*

Zonder waterdamp is geen leven mogelijk. Waterdamp is - naast zon - de motor van het kasklimaat. Bij alle temperaturen kan waterdamp door condensatie overgaan in vloeibaar water en door verdamping weer in waterdamp.

Voor verdamping van water is enorm veel energie nodig. Die komt bij condensatie weer vrij. De overgang van water in waterdamp en omgekeerd heeft daardoor een grote invloed op de energiehuishouding in de natuur, ook onder glas. Met waterdamp gaat veel energie bijvoorbeeld vanuit de kas naar buiten, wat vooral in de zomer erg nuttig is.

## Mist geen waterdamp

Waterdamp is een onzichtbaar gas. Stoom, nevel en mist zijn geen waterdamp, maar zeer kleine druppels vloeibaar water. Die druppels zijn zo klein dat ze in de lucht blijven zweven. Bij mist is het vochtgehalte tussen de druppels zo hoog dat ze niet of nauwelijks verdampen.

Vochtige lucht kan lucht zijn met veel waterdamp maar eventueel ook met nevel of mist. Lucht met een hoge absolute vochtigheid is lucht met veel waterdamp.

## Gasmengsel

Lucht bestaat uit een mengsel van gasen. In droge lucht zit ongeveer 78% stikstof en 21% zuurstof. De resterende 1% bestaat uit een mix van edele gasen, waterstof, ozon en koolzuurgas. Laatstgenoemd gas neemt slechts 0,03% in. In vochtige lucht zit naast deze gasen ook waterdamp.

Alleen het gas waterdamp is aan grote schommelingen onderhevig. Het varieert in het algemeen tussen 1 en 4 volumepercenten. Als het percentage waterdamp in

### Waterdamp en klimaat

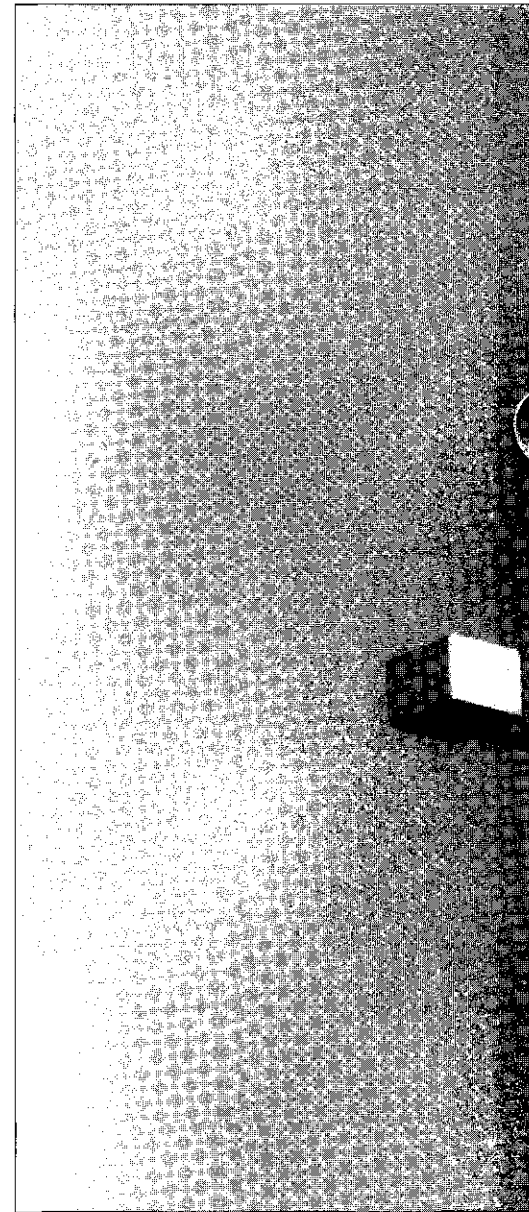
- Het gehalte waterdamp in lucht varieert tussen 1 en 4 volumepercenten.
- De concentratie waterdamp in kaslucht is altijd hoger dan in de buitenlucht.
- De absolute vochtigheid van buitenlucht wordt voor een belangrijk deel bepaald door het brongebied.
- Vochtige lucht is lichter dan droge lucht.
- In een kas is het vochtgehalte van de lucht niet overal gelijk.
- Bij horizontale luchtbeweging is het vochtgehalte het hoogst op de plaats waar de lucht laag langs de grond naartoe stroomt.

de lucht toeneemt, daalt als gevolg daarvan de concentratie van de andere gasen evenredig.

Een schommeling in het percentage waterdamp heeft gevolgen voor het gewicht van de lucht. Een molecuul zuurstof of stikstof is namelijk zwaarder dan een molecuul waterdamp. Elke 1,5 g waterdamp die meer in de lucht komt,

Gewicht droge- en met waterdamp verzadigde lucht in g per m<sup>3</sup>

Temperatuur	Droge lucht Gewicht	Met vocht verzadigde lucht	
		Concentratie waterdamp	Gewicht
0	1.293	4,8	1.290
5	1.270	6,8	1.266
10	1.248	9,4	1.242
15	1.226	12,8	1.218
20	1.205	17,3	1.195
25	1.185	23,0	1.171
30	1.165	30,4	1.141

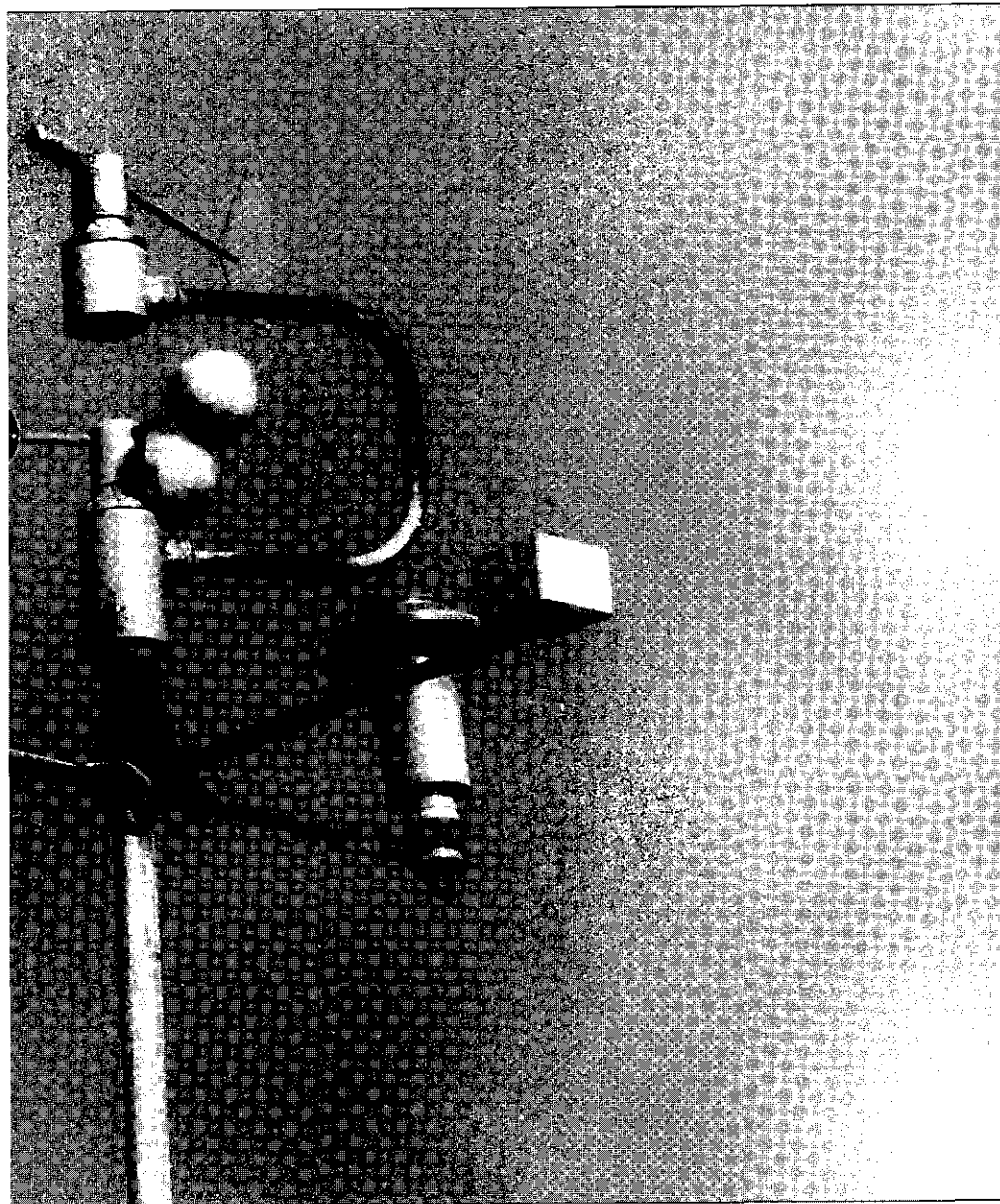


maakt een m<sup>3</sup> lucht ongeveer 1 g lichter (tabel).

De hoeveelheid waterdamp in lucht kan op verschillende manieren worden weergegeven. Bijvoorbeeld door het aantal grammen waterdamp per kg lucht of de druk die de waterdamp in de lucht veroorzaakt in millibar of pascal.

Hier beperken we ons tot de eenheid grammen waterdamp per m<sup>3</sup> lucht. Dat is de concentratie van waterdamp en wordt absolute luchtvochtigheid genoemd. Deze eenheid heeft grote voordelen voor een goed begrip van de beheersing van het kasklimaat. Elke teler weet wat een m<sup>3</sup> lucht is. Het aantal kubieke meters kasinhoud is bekend en bij ventilatie worden altijd evenveel m<sup>3</sup> kaslucht afgevoerd als er m<sup>3</sup> buitenlucht naar binnen komen.

Als het aantal grammen waterdamp per m<sup>3</sup> van kaslucht en buitenlucht bekend is, kan bij een bekende ventilatie



Eigenlijk zou het weerstation ook het waterdampgehalte van de buitenlucht moeten meten

nauwkeurig berekend worden hoeveel waterdamp de kas verlaat.

### Vochtgehalte buitenlucht

De concentratie waterdamp in de buitenlucht is sterk afhankelijk van waar de lucht vandaan komt, het zogenaamde brongebied. Lucht die lang in een bepaald gebied verblijft, krijgt de eigenschappen van dat gebied. Dat gaat om temperatuur, waterdampgehalte en andere stoffen, zoals bijvoorbeeld Saharazand.

De meteorologische dienst onderscheidt tien luchtsoorten (figuur 3). Continentale lucht komt van het vaste land en bevat meestal weinig waterdamp. Maritieme lucht komt van de oceaan en bevat veel waterdamp. In Nederland komt continentale lucht meestal uit het oosten en maritieme lucht uit het westen. Oos-

tenwind veroorzaakt vaak 'schraal' weer.

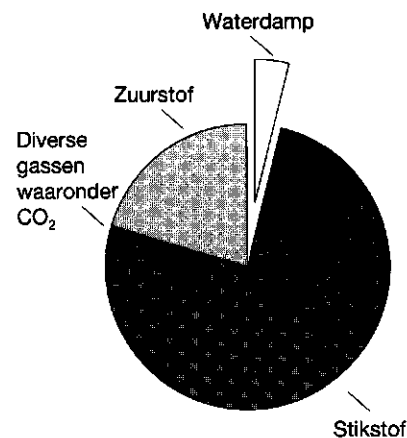
Bij de regeling van het kasklimaat, en vooral bij het openen van de luchtraam, moet rekening worden gehouden met het waterdampgehalte van de buitenlucht.

De concentratie waterdamp in de buitenlucht verandert het hele jaar door. Gemiddeld wordt de laagste absolute luchtvochtigheid gemeten begin februari en de hoogste begin augustus. Daarom verdwijnt in het voorjaar bij een kleine raamopening veel waterdamp uit de kas en in het najaar bij grote raamopening slechts weinig.

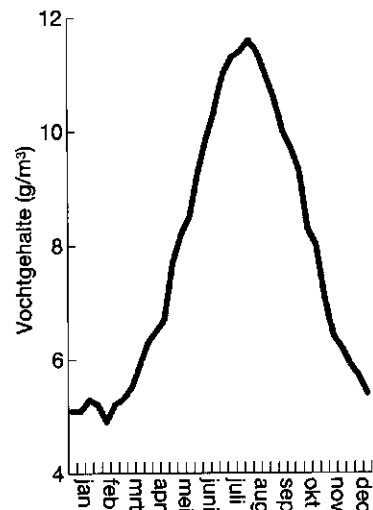
Binnen een etmaal zijn de verschillen in waterdamp van de buitenlucht meestal klein. Over het algemeen wordt bij zonsopkomst de laagste concentratie aan waterdamp gemeten en 's middags om een à twee uur de hoogste.

Onder glas varieert het waterdampgehalte veel sterker, ook al wordt dat geregeld met de luchtramen. 's Nachts is het

Figuur 1: Samenstelling vochtige lucht. Waterdamp is het enige gas waarvan de concentratie niet constant is



Figuur 2: Buitenlucht bevat in de zomer gemiddeld ruim twee maal zoveel waterdamp als in de winter



aantal grammen waterdamp per m<sup>3</sup> lucht het laagst en tegen 12 uur 's middags het hoogst. Een verdubbeling van het vochtgehalte in minder dan 12 uur is geen uitzondering.

### Vochtgehalte kaslucht

Het waterdampgehalte van lucht is het resultaat van aan- en afvoer van waterdamp ter plaatse. Kaslucht bevat altijd meer waterdamp dan buitenlucht. Aan buitenlucht die de kas inkomt wordt namelijk altijd waterdamp toegevoegd door verdamping van het gewas, zelfs als dat klein is. De afvoer uit de kas vindt plaats door condensatie tegen kasdek of energiescherm of ventilatie met buitenlucht.

Planten produceren relatief veel waterdamp ten opzichte van wat lucht maximaal kan bevatten. Onder ongunstige omstandigheden verdampen zelfs kleine planten nog wel 50 g per m<sup>2</sup> kasoppervlak per uur. Bij een groot gewas kan dat

oplopen tot 800 à 1.000 g.

Moderne kassen zijn redelijk lek dicht. Bij gesloten kasramen is de ventilatie vaak niet meer dan 0,2 m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> grondoppervlak per uur. Kaslucht is dan al gauw verzadigd met waterdamp, of er moet veel waterdamp worden onttrokken door condensatie.

Bij geheel geopende luchtramen kan de luchtuitwisseling met buiten oplopen tot ongeveer 150 m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> kas per uur. Ook dan blijft de kaslucht nog meer waterdamp bevatten dan de buitenlucht. Dat komt door de grote verdamping van het gewas. Met ventilatie komt ook waterdamp naar binnen, maar altijd minder dan er naar buiten gaat.

Het vochtgehalte van kaslucht is dus te verlagen door de luchtramen (verder) te openen. Bij eenzelfde raamopening is de afvoer van waterdamp groter naarmate het verschil in waterdampconcentratie tussen kas- en buitenlucht groter is.

Voor een optimale beheersing van het vochtgehalte van de kaslucht moet naast de raamopening, buitentemperatuur en

windsnelheid, ook het vochtgehalte van kas- en buitenlucht worden gemeten.

### Plaatselijke verschillen

De concentratie waterdamp in de kaslucht is niet overal gelijk. Soms komen grote verschillen voor, zowel verticaal als horizontaal. In het algemeen is dichtbij het gewas het vochtgehalte het hoogst. Het gewas produceert immers waterdamp. Bij het kasdek en vooral dicht bij raamopeningen is het vochtgehalte van de kaslucht het laagst, omdat daar de waterdamp wordt afgevoerd.

Als het vochtgehalte stijgt, wordt de lucht lichter. Vochtige lucht stijgt daardoor op en zorgt zo dat waterdamp tussen het gewas wordt afgevoerd. De luchtramen in het kasdek voeren de waterdamp op efficiënte wijze af. Door het verschil in gewicht van vochtige en droge lucht vindt nivellering plaats van de verticale vochtverschillen. Bij gesloten luchtramen en relatief warm kasdek zijn de verticale verschillen meestal klein.

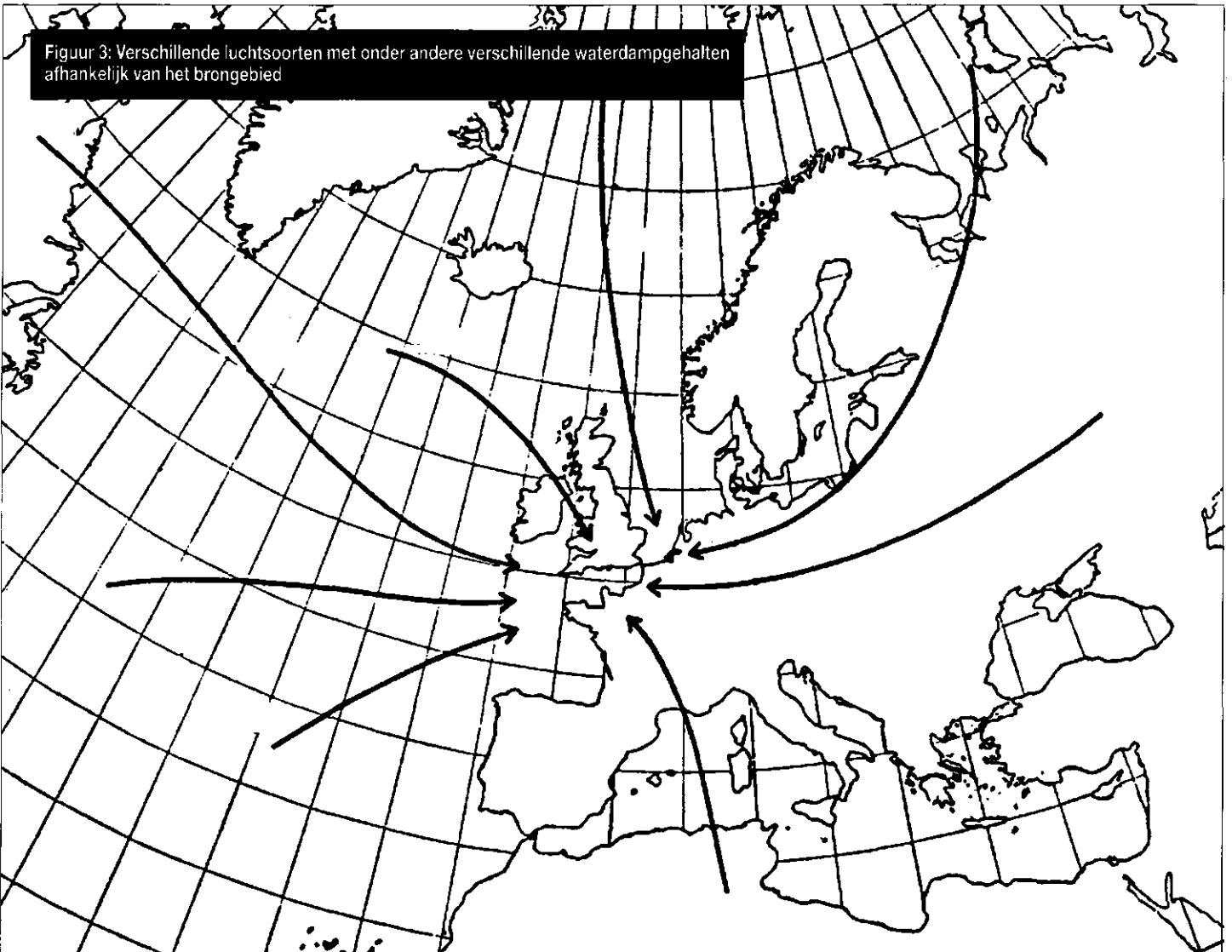
Als de bladeren een meter of meer bo-

ven de grond zitten, is het vochtgehalte van de lucht kort boven de grond meestal aanzienlijk lager dan tussen en boven de bladeren. Dit scheelt soms een aantal grammen per m<sup>3</sup>, met name als geen verticale luchtbeweging gecreëerd wordt door warme verwarmingsbuizen.

In een kas komen ook grote verschillen in horizontale richting voor. Dat kan het gevolg zijn van plaatselijk meer verdamping, bijvoorbeeld door planten van verschillende leeftijd.

Vaak ontstaan horizontale verschillen door luchtstromingen in een kas, onder andere onder invloed van sterke wind buiten. Boven in de kas beweegt de lucht zich in dezelfde richting als de wind buiten en kort boven de grond in tegengestelde richting. De luchtstromen langs de grond neemt voortdurend wat extra waterdamp mee, evenals warmte en CO<sub>2</sub>. Op de plaats waar de lucht laag boven de grond naartoe stroomt is het vochtgehalte het hoogst. Bij luchtbeweging veroorzaakt door wind is dat dus daar waar de wind vandaan komt. ■

Figuur 3: Verschillende luchtsoorten met onder andere verschillende waterdampgehalten afhankelijk van het brongebied



**Telers denken vaak dat het verschil in lucht- en planttemperatuur condensatie veroorzaakt, dat is echter niet juist**

te snel stijgt. Dit is alleen te bereiken door meer te ventileren.

### Vochtdeficit

Zo lang lucht nog niet de maximale hoeveelheid waterdamp bevat kan extra waterdamp worden opgenomen. De hoeveelheid die nog extra kan worden opgenomen heet het vochtdeficit. Lucht van 24°C kan maximaal 21,8 g waterdamp per m<sup>3</sup> bevatten (figuur 1). Stel dat maar 12 g waterdamp aanwezig is. Het vochtdeficit is dan 21,8 - 12,0 = 9,8 g per m<sup>3</sup>.

Als de temperatuur stijgt wordt het vochtdeficit groter omdat lucht bij een hogere temperatuur meer waterdamp kan bevatten. Stel dat de luchttemperatuur stijgt van 24 naar 30°C, het maximale vochtgehalte stijgt dan tot 30,4 gram per m<sup>3</sup>. Het vochtdeficit wordt dan 30,4-12,0 = 18,4, dus bijna twee keer zo groot. Omgekeerd wordt het vochtdeficit dus kleiner als bij een gelijk waterdampgehalte de temperatuur daalt.

Er wordt soms ten onrechte aangenomen dat de verdampingssnelheid van een plant wordt bepaald door het vochtdeficit van de kaslucht. In werkelijkheid is de drijvende kracht van de verdamping het concentratieverschil van waterdamp in de huidmondjes en de kaslucht. Dit noemen we het vochtverschil blad-lucht.

Alleen als de bladtemperatuur gelijk is aan de luchttemperatuur zijn het vochtdeficit (van de lucht) en het vochtverschil blad-lucht aan elkaar gelijk. Bladeren in de zon zijn echter aanzienlijk warmer dan de lucht. De verdamping van die bladeren is dus groter dan op basis van het

vochtdeficit van de lucht kan worden afgeleid.

### Concentratieverschillen

Bij verdamping gaat vloeibaar (vrij) water over in waterdamp. Op de grens van water en lucht is de lucht verzadigd met waterdamp. Bij plantverdamping wordt water aangevoerd van de cellen naar de holtes in de huidmondjes. Dit vrije water verdamt en de lucht in de huidmondjes-holtes is dus altijd verzadigd met vocht. Als er via de huidmondjes waterdamp verdwijnt naar de kaslucht, wordt dat direct weer aangevuld. Het waterdampgehalte in het blad is dus hoger als de bladtemperatuur hoger is.

Waterdamp verplaatst zich altijd van een hoge naar een lage concentratie. Dit gebeurt vrij snel en duurt tot de concentratie in een ruimte overal gelijk is. Deze nivellering verloopt minder snel als er een weerstand zit tussen de plaats van hoge concentratie en lage concentratie.

In kassen treedt nooit volledige nivellering op. Er is een voortdurende stroom van waterdamp omdat op één plaats waterdamp wordt aangevoerd (verdamping) terwijl dat op een andere plaats verdwijnt (ventilatie en condensatie).

Bovendien zijn in kassen verschillende weerstanden aanwezig. Tussen het blad en de kaslucht wordt die onder andere gevormd door de huidmondjes en tussen de kaslucht en buitenlucht door het kasdek met de luchtramen.

Als de weerstanden niet veranderen is het waterdamptransport evenredig met het verschil in waterdampconcentratie. Door de weerstanden te verlagen (bijvoorbeeld door meer te ventileren) zal het damptransport toenemen en daarmee ook de aanvoer (transpiratie). ■

aan de binnenkant van het glas ondanks dat de binnenzijde warmer is dan de buitenkant. Dat geldt ook bij schermen.

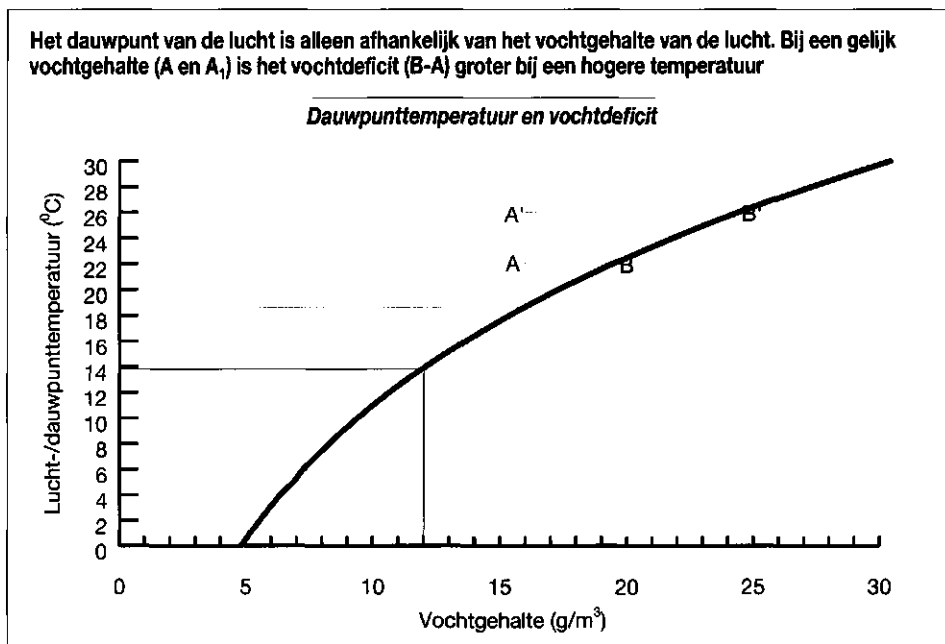
In een kas is het dauwpunt 's nachts lager dan overdag. Dit komt doordat het gewas 's morgens meer gaat verdampen. Daardoor neemt het vochtgehalte van de kaslucht snel toe en stijgt ook de dauwpunttemperatuur. Deze stijging wordt soms nog versterkt doordat de luchtramen 's morgens meer gesloten blijven. Het komt regelmatig voor dat het dauwpunt 's morgens in één uur 4 tot 6°C stijgt.

Plantedelen in de schaduw en dikke plantedelen stijgen minder snel in temperatuur dan het vochtgehalte of het dauwpunt van de lucht. De verdamping van die delen blijft daardoor laag of wordt zelfs kleiner. Als de temperatuur van plantedelen onder het dauwpunt komt treedt condensatie op. Een grote verdamping van bijvoorbeeld de toppen kan dus 's morgens zorgen voor een daling van de verdamping van, of condensatie op, andere delen van hetzelfde gewas.

's Nachts kan de kop van de plant 1 tot 2°C kouder zijn dan de luchttemperatuur door uitstraling naar het kasdek. Als het dauwpunt hoog is door een hoog vochtgehalte, kan condensatie ontstaan.

De enige manier om 's morgens condens te voorkomen is te zorgen dat de dauwpunttemperatuur niet te hoog is of

**Het dauwpunt van de lucht is alleen afhankelijk van het vochtgehalte van de lucht. Bij een gelijk vochtgehalte (A en A<sub>1</sub>) is het vochtdeficit (B-A) groter bij een hogere temperatuur**



# Goede meting basis voor alle omrekeningen

*Het waterdampgehalte van de lucht kan worden uitgedrukt in verschillende eenheden zoals concentratie en druk die onderling in elkaar omgerekend kunnen worden. Bij het meten van vocht is het daarom niet belangrijk welke grootheid gemeten wordt, wel belangrijk is hoe het wordt gedaan.*

In deze reeks artikelen zijn de belangrijkste eenheden voor het uitdrukken van het waterdampgehalte behandeld. Tot nu toe ontbrak nog een belangrijke grootheid: de dampspanning.

Elk gas in een ruimte veroorzaakt een spanning of druk. De totale druk van een gasmengsel is de som van de spanningen van alle verschillende gassen afzonderlijk. Zo is bijvoorbeeld de luchtdruk voor ongeveer 80% opgebouwd uit de druk van stikstof, voor bijna 20% uit de druk van zuurstof en voor slechts 1 tot 4% uit die van waterdamp. De druk door waterdamp wordt partiële druk van waterdamp genoemd en wordt uitgedrukt in Pascal (Pa) of kilo Pascal (kPa).

Wordt bij eenzelfde luchttemperatuur het aantal grammen waterdamp per m<sup>3</sup> twee keer zo groot dan wordt ook de dampspanning twee keer zo groot. Bijvoorbeeld bij 20°C is bij 8 gram per m<sup>3</sup> de dampspanning 1,08 kPa en bij 16 gram per m<sup>3</sup> 2,16 kPa.

De druk van een gas wordt ook bepaald door de temperatuur. Voor elke graad temperatuursverhoging wordt de druk ongeveer 0,35% (= 1/273) groter.

## Diffusie

Als er tussen twee plaatsen, die in open verbinding met elkaar staan, verschil is in concentratie of dampspanning, stroomt er waterdamp van de plaats met hoge concentratie of druk naar die met lagere concentratie of druk. Dit proces heet diffusie.

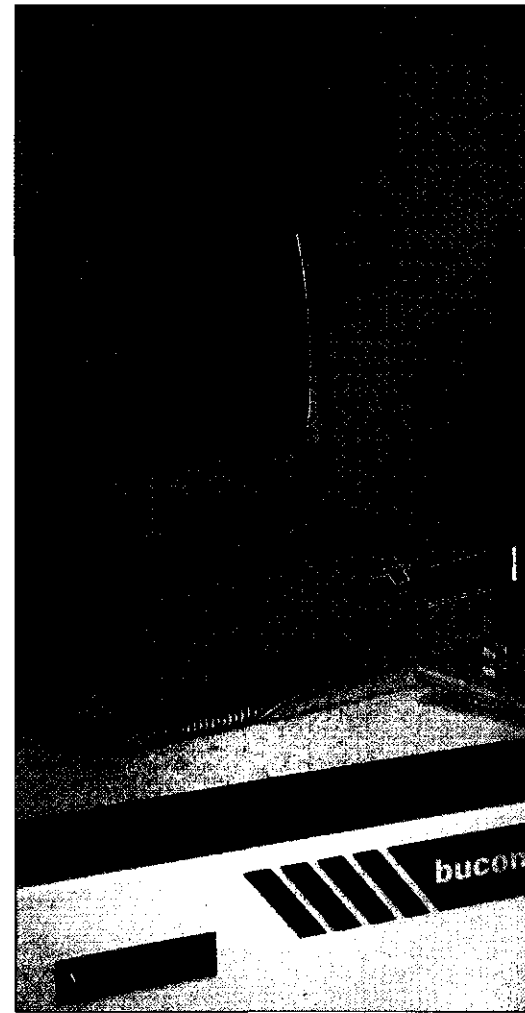
De snelheid van waterdampdiffusie is evenredig met het concentratie- of dampspanningsverschil en onafhankelijk van andere gassen. Bij een gelijke temperatuur maakt het voor het bepa-

## Precisiewerk

- Als twee grootheden van vocht en temperatuur bekend zijn, kunnen alle andere grootheden worden berekend.
- Op veel bedrijven wijkt de meting van vocht sterk af.
- Een goed onderhouden psychrometer geeft betrouwbare metingen.
- Dampspanning is vooral van belang bij diffusie van waterdamp.

Voor een goede regeling van de luchtvochtigheid moet die binnen en buiten de kas nauwkeurig worden gemeten. Daarbij is het onbelangrijk welke grootheid gemeten wordt. Als er namelijk twee grootheden bekend zijn, eventueel inclusief de luchttemperatuur, kan elke andere grootheid daaruit worden bepaald. Dat kan handmatig met het zogenaamde Mollierdiagram (zie voorbeeld), maar de computer is nauwkeuriger en sneller.

Er is een groot aantal manieren waarop de luchtvochtigheid kan worden bepaald. De laatste jaren komen er regel-



matig methodes bij en worden andere methodes verbeterd. Sommige meters zijn ontwikkeld voor gebruik in schone ruimten en hebben bovendien vaak een beperkt meetbereik. Zulke meters zijn zelden geschikt voor gebruik in kassen, immers lucht in een kas is meestal niet stofvrij. Bovendien worden er in kassen bestrijdingsmiddelen gebruikt en komen extreme en snel wisselende klimaatsomstandigheden voor. Het is niet uitzonderlijk dat binnen 24 uur het kasklimaat verandert van 15°C en 100% rv naar 30°C en 40% rv en omgekeerd.

Bij de keuze van een nieuw type vochtmeter is het daarom niet voldoende dat deze onder laboratoriumomstandigheden betrouwbaar en nauwkeurig is gebleken. Het is noodzakelijk dat de meter gedurende een lange tijd onder alle omstandigheden in kassen is uitgetest.

## Eisen

Aan een goede vochtmeter voor gebruik in en buiten de kas worden hoge eisen gesteld. De meter moet

- gedurende lange tijd een nauwkeurige meting geven, zowel bij zeer hoge als bij zeer lage luchtvochtigheid;
- snel reageren op veranderingen van

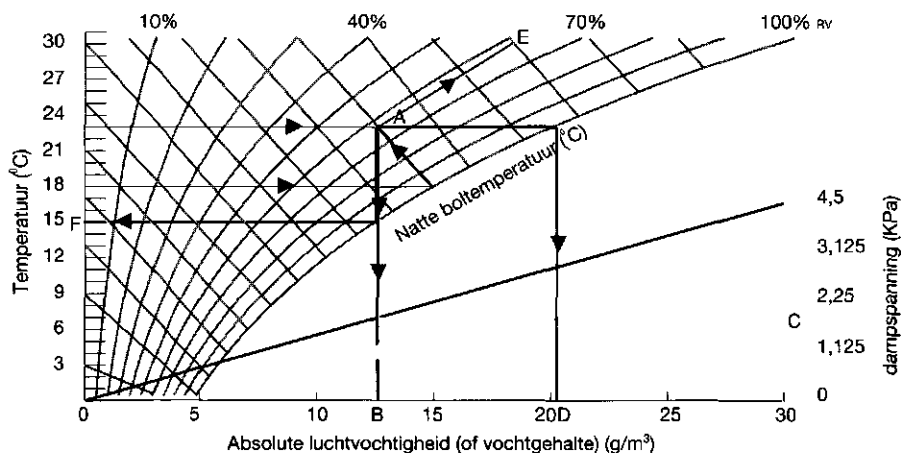


De klimaatcomputer kan alle luchtvochtigheids-grootheden in elkaar omrekenen

### Omrekenen van eenheden

Als twee grootheden bekend zijn, kunnen daaruit de andere worden bepaald.

Stel dat van punt A de volgende twee grootheden bekend zijn: de luchttemperatuur 23°C en de natteboltemperatuur 18°C. De absolute luchtvochtigheid is dan 12,9 gram per m<sup>3</sup> (punt B). De daarbij behorende dampspanning is 1,8 kPa (punt C). De maximale luchtvochtigheid bij deze temperatuur is 20,4 gram per m<sup>3</sup> (punt D) en het vochtdeficit 7,5 gram per m<sup>3</sup> (D-B). Het dauwpunt is 15,2°C (Punt F) en de relatieve luchtvochtigheid is 63% (punt E). Omgekeerd kunnen langs dezelfde lijnen alle punten worden bepaald als bijvoorbeeld het dauwpunt (punt F) en de absolute luchtvochtigheid (punt D) bekend zijn.



- de luchtvochtigheid;
- een bruikbaar meetsignaal afgeven voor de computer;
- ongevoelig zijn voor straling;
- bestand zijn tegen het milieu in kassen (bestrijdingsmiddelen en condens);
- eenvoudig door de teler te ijken en te corrigeren zijn;
- relatief goedkoop zijn.

Veel luchtvochtigheidsmeters die in de praktijk worden gebruikt voldoen niet aan deze eisen. Daardoor, en mogelijk ook door gebrek aan onderhoud, zijn veel vochtmetingen onbetrouwbaar. Bij twee steekproeven, in 1985 en 1989, bleek op ongeveer 25% van de bedrijven de rv 5% of meer af te wijken. Er zijn geen aanwijzingen dat dit inmiddels beter is geworden.

### Psychrometer

Een veel gebruikte luchtvochtigheidsmeter in kassen is de psychrometer. Deze bestaat uit een geventileerde droge- en nattebolthermometer. Het is een eenvoudig meetprincipe dat, mits aan een aantal technische eisen is voldaan, betrouwbare metingen geeft.

De meter vraagt echter vrij veel onderhoud. Regelmatig moeten kousjes worden verwisseld en gedestilleerd water worden aangevuld.

Daarom wordt voortdurend gezocht naar een vervangend meetprincipe dat minder onderhoud vraagt. Daarbij wordt veel verwacht van een van de vele elektronische meetsystemen. De zogenaamde capacitieve meters lijken het meeste perspectief te hebben.

### Capacitieve meters

De werking van deze meters berust op een kleine condensator. Een klein kunststof plaatje dat snel waterdamp uit de lucht kan opnemen en afgeven is in voortdurend evenwicht met de absolute luchtvochtigheid. Het vochtgehalte van het plaatje bepaalt de hoeveelheid elektronen die opgenomen worden en dat wordt gemeten.

Helaas zijn de afgelopen jaar verschillende meters die volgens dit principe werkten, niet geschikt gebleken voor gebruik in kassen. Een veel voorkomend probleem van capacitieve meters is dat ze onnauwkeurig worden nadat ze tijdelijk zijn blootgesteld aan een extreem hoge of lage luchtvochtigheid. Er wordt

echter hard gewerkt aan de ontwikkeling van verbeterde typen die bovengenoemde bezwaren niet hebben. Een enkele firma beweert die reeds te bezitten.

### Haarhygrometers

Vroeger werd veel gebruikt gemaakt van het principe dat de lengte van sommige materialen zoals een haarbundel in lengte verandert onder invloed van de rv. De bekendste uitvoering daarvan zijn de hygrograaf en de hygrometer die met een wijzer op een ronde plaat de relatieve luchtvochtigheid aangeeft. Afhankelijk van de constructie zijn deze meters redelijk betrouwbaar tussen 45 en 90% relatieve luchtvochtigheid. De meters volgens dit principe zijn traag en zelden nauwkeuriger dan + of -3%. Als ze enige tijd zijn blootgesteld aan een relatieve luchtvochtigheid lager dan 40% geven ze blijvend grote miswijzingen. Voordat ze daarna weer kunnen worden gebruikt moeten ze eerst worden verzadigd met water en opnieuw geijkt. Meters volgens dit principe kunnen, vanwege hun onbetrouwbaarheid, niet worden gebruikt voor het regelen van de luchtvochtigheid in kassen. ■

# Vochtafvoer is de basis voor vochtregeling

*De luchtvochtigheid die in de kas heerst ontstaat door de aanvoer van waterdamp naar, en de afvoer ervan uit de kaslucht. De aanvoer wordt voornamelijk bepaald door de verdamping door het gewas. De afvoer gebeurt door ventilatie en condensatie. Elke ingreep in de ventilatie heeft een nieuw evenwicht tussen aan- en afvoer tot gevolg en daarmee een andere luchtvochtigheid.*

**B**ij het regelen van de luchtvochtigheid in kassen staan verschillende technieken ter beschikking. Denk maar aan ventileren, stoken, schermen en bevochtigen. Hierbij draait het om twee processen: het vergroten of verkleinen van de aanvoer van waterdamp en het vergroten of verkleinen van de afvoer van waterdamp.

De belangrijkste bron voor aanvoer van waterdamp naar de kaslucht is de gewasverdamping. Bij volgroeide gewassen kan de verdamping oplopen tot wel 1.000 gram per m<sup>2</sup> per uur. De verdamping vanuit de bodem speelt bij substraatteelten met afgedekte bodem geen rol van betekenis. Bij grondteelten en de teelt op eb-en-vloedsystemen kan de bijdrage wel aanzienlijk zijn. Luchtbevochtiging vormt nog een extra bron van waterdamp.

## Condens zorgt soms voor 75% van de totale vochtafvoer

De afvoer van waterdamp gebeurt door luchtuitwisseling met de buitenlucht (ventilatie) en door condensatie tegen koude delen. Is de ventilatie-afvoer klein dan zal relatief meer condens optreden.

In een stabiele situatie is de totale aanvoer gelijk aan de totale afvoer.

### Ventilatie

De afvoer van vocht door ventilatie wordt berekend in gram per m<sup>2</sup> per uur en hangt af van de ventilatie en het verschil in vochtgehalte tussen binnen en buiten. In formulevorm:  $afvoer = ventilatie \times$

### Verdamping, ventilatie en condensatie

- De belangrijkste bron voor aanvoer van waterdamp is de gewasverdamping.
- De afvoer van waterdamp vindt plaats door ventilatie en condensatie.
- Wordt de ventilatie-afvoer beperkt, dan zal relatief meer condens optreden.

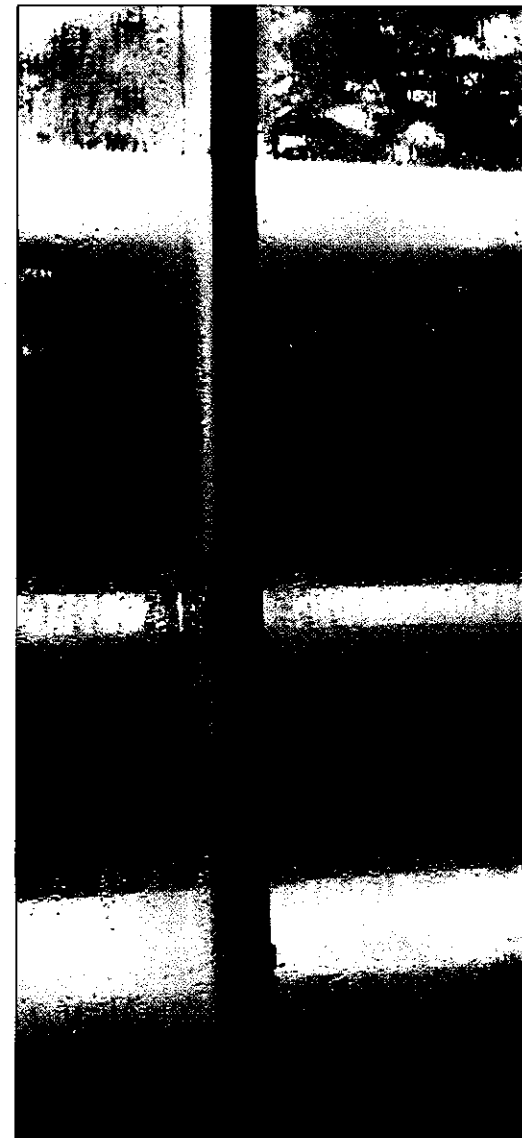
(vochtgehalte binnen - vochtgehalte buiten).

De hoeveelheid ventilatie wordt uitgedrukt als m<sup>3</sup> luchtuitwisseling per m<sup>2</sup> kas. Dit wordt ventilatiesnelheid genoemd en deze hangt af van de windsnelheid, het type kas, de raamopening en, bij zeer lage windsnelheden, het verschil tussen de kaslucht- en de buitentemperatuur. De ventilatiesnelheid varieert van ongeveer 1 bij zeer dichte kassen met gesloten ramen tot meer dan 200 m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> per uur bij volledig geopende ramen en een redelijke tot hoge windsnelheid.

Stel dat het in de kas 24°C is met een vochtgehalte van 16 g per m<sup>3</sup>. Buiten is het 12°C met een vochtgehalte van 5 g per m<sup>3</sup>. Bij een ventilatiesnelheid van 20 m<sup>3</sup> lucht per m<sup>2</sup> kas per uur wordt er dus  $20 \times (16-5) = 220$  gram waterdamp per m<sup>2</sup> kas per uur afgevoerd.

### Condens

Waterdamp condenseert op plaatsen waar de temperatuur lager of gelijk aan



het dauwpunt is. Het dauwpunt hangt alleen af van het vochtgehalte van de lucht. Is het vochtgehalte hoog, bijvoorbeeld 16 gram per m<sup>3</sup>, dan is het dauwpunt 18,7°C. Zijn er dus kasdelen die aan de binnenkant van de kas kouder zijn dan 18,7°C dan zal condensatie optreden.

De hoeveelheid condens in gram per m<sup>2</sup> per uur kan worden berekend uit het verschil tussen het vochtgehalte in de kas en het maximale vochtgehalte van de lucht tegen het glas. Tegen het glas zit een dunne luchtschicht die ongeveer dezelfde temperatuur heeft als de binnenzijde van het glas. Het maximale vochtgehalte in die laag is dus gelijk aan het maximale vochtgehalte van lucht met een temperatuur gelijk aan de glastemperatuur. In kassen kan de vochtafvoer door condens tegen het dek per m<sup>2</sup> kas per uur geschat worden als volgt:  $condens = factor \times$  (vochtgehalte in de kas - maximaal vochtgehalte tegen glas).

De omrekeningsfactor hangt onder andere af van het verschil tussen kas- en



De afvoer door condens speelt een zeer belangrijke rol in de totale vochtbalans

glastemperatuur. Voor de berekening van de condens tegen een enkel-glas venlo kasdek zonder scherm, kan voor deze factor als vuistregel 6 worden gebruikt. Uitgaande van het vochtgehalte in de kas kan de hoeveelheid condens worden geschat als de glastemperatuur bekend is. Het meten van die temperatuur is eigenlijk de enige juiste oplossing, maar dat is vrij moeilijk. Om toch een idee te hebben van de glastemperatuur kan gebruik gemaakt worden van de volgende schatting:  $glastemperatuur = \frac{buitentemperatuur + (kastemperatuur \cdot buitentemperatuur)}{3}$ .

Bij dezelfde omstandigheden zoals gebruikt bij de ventilatie-afvoer is de glastemperatuur dus  $12 + \frac{(24-12)}{3} = 16^\circ\text{C}$ . Bij die temperatuur is het maximale vochtgehalte in de luchtlaag tegen het glas 13,65 gram per  $\text{m}^3$ . De condensafvoer wordt onder die omstandigheden  $6 \times$

$(16 - 13,65) = 14,1$  gram per  $\text{m}^2$  kas per uur. De ventilatie-afvoer was 220, in totaal wordt er dus ongeveer 234 gram per  $\text{m}^2$  per uur aan vocht afgevoerd. In een stabiele situatie is deze afvoer gelijk aan de aanvoer. De hoeveelheid condens is onder deze omstandigheden maar 7% van de totale afvoer.

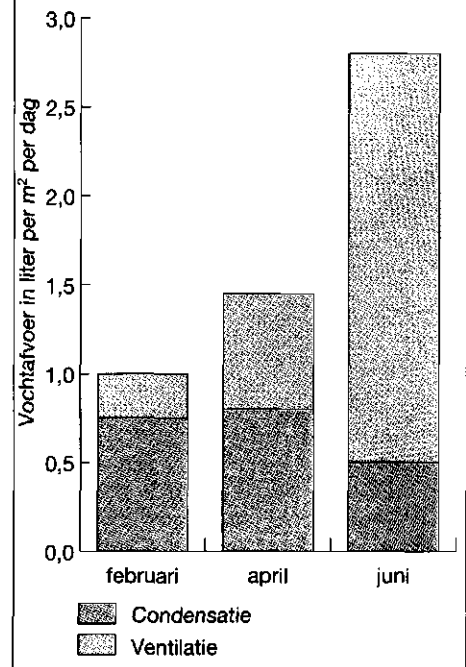
### Ingrepen in ventilatie

In het voorbeeld is de ventilatie  $20 \text{ m}^3$  per  $\text{m}^2$  per uur. Stel nu dat door het verminderen van de windsnelheid of het iets sluiten van de ramen de ventilatie plotseling daalt naar  $15 \text{ m}^3$  per  $\text{m}^2$  per uur. Dit heeft verschillende gevolgen.

Op de eerste plaats neemt de afvoer van vocht opeens af tot  $15 \times (16 - 5) = 165$  gram per  $\text{m}^2$  per uur. Omdat de condensafvoer en de aanvoer (voorlopig) gelijk blijven, is er plotseling een overschot van  $234 - (165 + 14) = 55$  gram waterdamp per  $\text{m}^2$  kas per uur.

Hierdoor zal het vochtgehalte in de kas stijgen en de verdamping iets afne-

Totale afvoer door condensatie en ventilatie in een ongeschermd kas voor drie perioden van het jaar bij een voorjaarsteelt komkommer op substraat



men. Door de verminderde ventilatie zal echter ook de temperatuur oplopen, wat weer stimulerend werkt op de verdamping. De condensafvoer verandert dan weer door het hogere vochtgehalte in de kas en de andere glastemperatuur.

Uiteindelijk stelt zich een nieuw evenwicht in. Dit zou bijvoorbeeld kunnen uitkomen op een kastemperatuur van  $27^\circ\text{C}$  met een vochtgehalte van  $18,5 \text{ g per m}^3$ . De glastemperatuur zal in die situatie oplopen naar  $16^\circ\text{C}$  met een maximaal vochtgehalte tegen het glas van  $14,5 \text{ g per m}^3$ . De condensafvoer wordt dan  $6 \times (18,5 - 14,5) = 24$  en de ventilatie-afvoer  $15 \times (18,5 - 5) = 202,5$  gram per  $\text{m}^2$  per uur. De totale afvoer is dus gedaald tot 226,5 en het aandeel condens is door de verminderde ventilatie toegenomen tot 11%.

Over een heel seizoen gemeten is de afvoer van waterdamp door ventilatie het grootst, maar de afvoer door condens speelt een zeer belangrijke rol in de totale vochtbalans. Vooral in koude perioden met geringe ventilatie is afvoer van waterdamp door condens belangrijk. In het voorjaar kan de afvoer door condens gemiddeld per dag wel 75% zijn van de totale vochtafvoer. In de warme periode blijft condens nog altijd 20% van de totale vochtafvoer verzorgen. Dit komt omdat 's nachts en in de winter en het voorjaar ook overdag weinig wordt geventileerd. Op die momenten is de condensafvoer veel belangrijker dan de ventilatie-afvoer. ■

# Droogstoken: eerst luchten dan stoken

*Ventilatie droogt en koelt de kaslucht tegelijkertijd. Extra ventileren om de verdamping te bevorderen werkt na verloop van tijd echter juist averechts. Dat kan alleen worden voorkomen door tegelijkertijd te stoken.*

**V**entilatie via de luchtramen komt tot stand door het drukverschil tussen de binnen- en de buitenlucht. Dat ontstaat door wind en verschillen in soortelijke massa (kg per m<sup>3</sup>) van kas- en buitenlucht. Warme, vochtige lucht is door uitzetting lichter dan koude, droge buitenlucht. Hierdoor gaan er meer kuubs kaslucht naar buiten dan er buitenlucht binnenkomt. Dat verschil is echter zo klein dat daar meestal geen rekening mee gehouden wordt. Telers drukken de mate van ventilatie meestal uit in het ventilatievoud. Dat geeft aan hoeveel maal per uur de hele kasinhoud wordt vervangen door buitenlucht. Bij de regeling van de luchtvochtigheid is het echter beter te spreken van de ventilatiesnelheid. Dat is het aantal m<sup>3</sup> kaslucht dat per uur, per m<sup>2</sup> grondoppervlak, wordt vervangen door buitenlucht. Bij die eenheid speelt de kashoogte namelijk geen rol.

## Met luchtramen

Door de luchtramen te openen wordt kaslucht uitgewisseld met buitenlucht. Afhankelijk van de verschillen tussen kas- en buitenlucht en de raamstand verandert het kasklimaat. De lucht wordt droger en koeler. Wat het sterkst verandert hangt af van de verschillen van de temperatuur en het vochtgehalte van de binnen- en buitenlucht (figuur).

Bij windstil weer houdt het temperatuur- en vochtverschil, met het daaraan gekoppeld gewichtsverschil, de ventilatie gaande. Bij een groot temperatuur- en vochtverschil en/of veel wind hoeft het luchtstraam maar een klein stukje open voor een relatief grote vochtafvoer. Bij een klein verschil en weinig wind moet het daarentegen ver open. Om de juiste raamopening in te stellen moeten alle genoemde grootheden continu worden gemeten.

## Met de verwarming

De verwarming speelt een belangrijke rol bij het sturen van de luchtvochtigheid in

### Kaslucht drogen

- Alleen luchten remt verdamping vaak.
- Bij windstil weer zorgen temperatuur- en vochtverschillen voor ventilatie.
- De plaats van de buizen heeft grote invloed op de waterhuishouding van de plant en het voorkomen van condens.
- Bij een dicht gewas zijn zeer warme buizen nodig om alle lucht in beweging te krijgen.
- Minimum raamstand en -buistemperatuur zorgen voor extra vochtafvoer bij relatief hoge buistemperaturen.

de kas. De buizen verwarmen de kaslucht en de planten. De stralingswarmte van buizen verhoogt de temperatuur van plantedelen in de nabijheid extra. Doordat de verwarmde lucht bij de buizen uitzet komt de kaslucht in beweging. Dat bevordert de afvoer van waterdamp bij het gewas vandaan.

### Warme buizen brengen een luchtstroming op gang

Plaatselijk verwarmen van lucht brengt de lucht dus in beweging. In een ruimte zonder obstakels is maar weinig energie nodig om alle lucht in beweging te brengen. In een kas met gewas is dat veel moeilijker, vooral in de directe omgeving van de planten.

Als dauwpunt van de lucht en de planttemperatuur dicht bij elkaar liggen, is snel afvoeren van waterdamp gewenst. Daar is relatief veel energie en dus een hoge buistemperatuur voor nodig. Hoe compacter het gewas is hoe warmer de buizen moeten zijn om vol-



doende luchtbeweging tussen het gewas te krijgen.

### Plaats van de buizen

De plaats van de buizen heeft een grote invloed op de vochtbeheersing van het gewas. Planten verdampen het minst waar de planttemperatuur het laagst is en het vochtgehalte van de lucht het hoogst. Bij warme buizen boven het gewas wordt zowel de laagste planttemperatuur als het hoogste vochtgehalte onder in het gewas gerealiseerd. Daar bestaat dan ook het eerste gevaar voor natslaan. Als de buizen boven in de kas liggen, is dat alleen te voorkomen door het vochtgehalte van de kaslucht te verlagen, dus door luchtramen verder te openen.

Buizen hoog in de kas verwarmen het kasdek. Er treedt daardoor minder condensatie op en de kaslucht blijft vochtiger dan bij lage buizen.

Buizen laag tussen het gewas verwarmen vooral de lucht onder in de kas en het onderste deel van de plant. De opwaartse luchtbeweging die hierdoor ontstaat voert waterdamp tussen het gewas versneld af. Dat beperkt het gevaar van condensatie op de onderste plantedelen.

's Nachts zijn de toppen van het gewas koud, vooral bij veel uitstraling. Bij een hoog dauwpunt kunnen de bovenste de-

Bij gebruik van daksproeiers wordt warme kaslucht uitgewisseld met koele, vochtige buitenlucht

van de huidmondjes. Verneveln heeft dus niet altijd het beoogde effect op de temperatuur en de luchtvochtigheid. Neveln lijkt in de groenteteelt alleen zinvol in stress-situaties. Bij hoog opgroeiende gewassen moet luchtbevochtiging gericht zijn op het voorkomen van stress-situaties. Door de invloed van directe straling is bij hoog opgroeiende gewassen het bovenste gedeelte van het gewas het meest stress-gevoelig. Dit is ook het gedeelte met een relatief grote bijdrage aan de groei.

Gebleken is dat het verloop van het CO<sub>2</sub>-gehalte geen goede methode is om het moment van stress te bepalen. De kop van de plant kan namelijk problemen hebben, terwijl de fotosynthese van de rest van het gewas gewoon door gaat.

### Daksproeiers

Ook daksproeiers op het kasdek kunnen onder zomerse omstandigheden de luchtvochtigheid verhogen. Evenals bij luchtbevochtiging wordt gebruik gemaakt van de verdamping van waterdruppels in de lucht. Bij gebruik van daksproeiers en geopende luchtramen wordt kaslucht uitgewisseld met koele, vochtige buitenlucht.

Het water aan de oppervlakte van de waterdruppels verdampt. De daardoor afgekoelde druppels koelen op hun beurt de buitenlucht en het kasdek. De combinatie van verhoging van de luchtvochtigheid, verlaging van de lucht-

temperatuur en verlaging van de glas-temperatuur, zorgt voor een grote invloed van daksproeiers op het kasklimaat en de waterhuishouding van het gewas. Hoe groot de effecten op het kasklimaat en het gewas zijn, hangt af van een groot aantal factoren. Hoe sneller het water verdampt, hoe groter het effect op het klimaat. De verdampings-snelheid van de druppel hangt vooral af van de temperatuur en de luchtvochtigheid van de buitenlucht. Verder is de druppelgrootte (hoe kleiner, hoe sneller de verdamping) en de gelijkmatige verdeling over het kasdek van belang.

De verdamping van waterdruppels

## Neveln heeft niet altijd het beoogde effect

gebeurt op dezelfde wijze als bij de nattebol-thermometer die wordt gebruikt voor het meten van de luchtvochtigheid. In theorie kan de lucht boven het kasdek worden afgekoeld tot de nattebol-temperatuur bij verzadiging met waterdamp. In de praktijk gebeurt dat echter nooit.

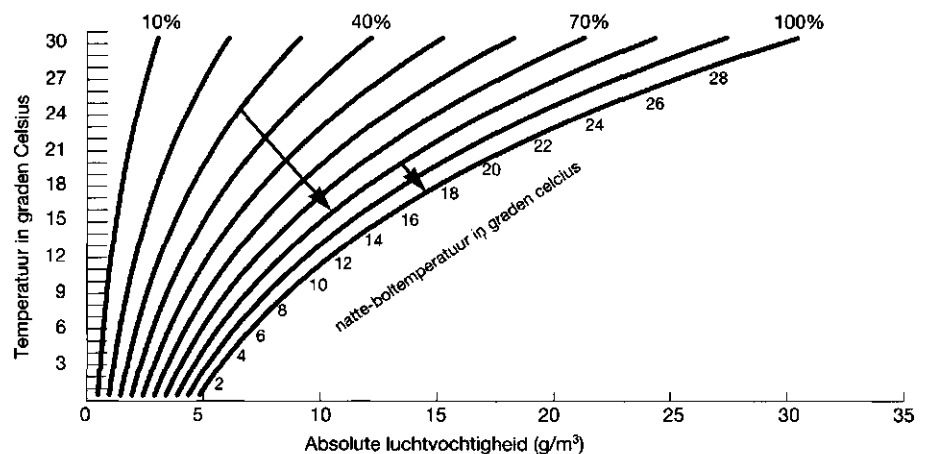
In de meest gunstige gevallen wordt van het verschil tussen de buitentemperatuur en vochtigheid en de nattebol-temperatuur bij verzadiging, slecht 80% overbrugd door daksproeiers. Dit wordt alleen bereikt bij daksproeiers die relatief kleine druppels produceren en het hele dek nat houden. De invloed van daksproeiers op het kasklimaat is groter naarmate de buitenlucht warmer en de luchtvochtigheid lager is (figuur 2).

Verneveln resulteert in een lagere kas- en ook bladtemperatuur en een hoger vochtgehalte van de kaslucht.

### Invloed van en op gewas

Het effect van verneveln op het klimaat in de kas hangt samen met de gewassituatie. Bij een vol gewas tomaten en paprika's wordt de luchtvochtigheid minder verhoogd dan op grond van de hoeveelheid verneveld water zou worden verwacht. Een deel van de verdamping door de nevel wordt gecompenseerd door een bijna gelijke vermindering van de verdamping door het gewas. De koeling van de kaslucht is daardoor niet meer dan hooguit 1,5°C. In figuur 1 is het effect weergegeven van verneveln op het verloop van de relatieve luchtvochtigheid in een kas met en zonder gewas. In een lege kas stijgt de rv met 10-15% als gevolg van neveln. In een kas met een volgroeid gewas stijgt de rv ook, maar niet met een constant percentage. 's Ochtends stijgt de rv niet meer dan 5-7%, terwijl 's middags een verhoging van soms wel 25% optreedt. 's Morgens wordt de gewasverdamping dus mogelijk geremd door verneveln, terwijl de verdamping bij niet verneveln 's middags juist daalt door gedeeltelijke sluiting

Figuur 2. Koeling van lucht door verdamping van water, zoals bij daksproeiers, verloopt hetzelfde als bij de nattebolthermometer. Theoretisch kan lucht van 25°C en 30% rv worden afgekoeld tot 14°C. Bij een goede daksproeierinstallatie wordt een rendement gehaald van 80%. De buitenlucht direct boven het kasdek krijgt dan een temperatuur van 16,2°C, een rv van 80% en een waterdampgehalte van 11 gram m<sup>3</sup>. Bij een lagere luchttemperatuur en/of een hogere luchtvochtigheid is het effect kleiner (zie pijlen in figuur).



# Schermbaan kan helpen bij vochtregeling

*Het gebruik van een scherm heeft altijd invloed op de luchtvochtigheid in de kas. Meestal is de luchtvochtigheid hoger maar soms ook lager onder een scherm. Een goed geregeld scherm kan een extra hulpmiddel zijn om de luchtvochtigheid te beheersen. De regeling verloopt echter nog niet optimaal.*

**D**e transportsnelheid van waterdamp wordt altijd bepaald door het concentratieverschil en de weerstand tussen twee plaatsen. Bij een gesloten scherm ontstaat een verschil in vochtgehalte tussen de lucht onder en boven het scherm.

Folies en dichte bandjesweefsels, die weinig of geen waterdamp doorlaten geven verhoging van het vochtgehalte onder het scherm sterk. Open doeken doen dat veel minder. De luchtvochtigheid onder het scherm is hoger naarmate het buiten warmer is (tabel).

De invloed van een scherm op de luchtvochtigheid in de kas hangt dus af van het type schermdoek, de dichtheid van de scherminstallatie, de regeling en de buitenomstandigheden.

## Vochtigheid onder het scherm

In de winter is de luchtvochtigheid onder een scherm meestal hoger dan zonder scherm. Alleen bij koud weer, een klein gewas en een sterk waterdampdoorlatend schermdoek wordt een lagere luchtvochtigheid gemeten dan in een kas zonder scherm.

In de zomer, bij zeer zonnig weer, daalt door het gebruik van een zonneschermbaan de verdamping en daarmee de productie van waterdamp. Het vochtgehalte in een geschermd kas is daardoor lager dan in een niet geschermd kas. De luchtvochtigheid is lager naarmate meer licht wordt weggenomen (figuur).

Soms is in de zomer de luchtvochtigheid onder een zonneschermbaan toch hoger dan in een kas zonder scherm. Dat gebeurt als het zonneschermbaan de waterdamp-afvoer sterker beperkt dan de verdamping. Dat gaat gepaard met een hogere luchttemperatuur en een voor mensen 'benauwd' klimaat.

Als planten bijvoorbeeld te weinig water aangevoerd krijgen door de wortels,

**Goed hulpmiddel**

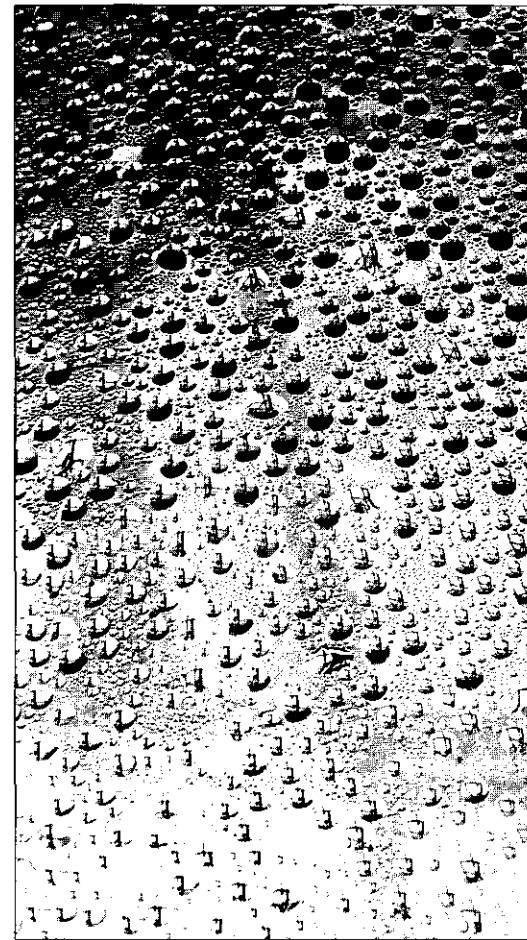
- De vochtkier moet geregeld worden met stappen van maximaal 0,25%.
- Schermmaterialen die weinig of geen waterdamp doorlaten, verhogen het vochtgehalte onder het scherm sterk.
- Voor een goede vochtregeling met een scherm moet de schermstand proportioneel geregeld worden op de absolute luchtvochtigheid.
- Bij een verbeterde schermregeling is er minder behoefte aan dampdoorlatende schermmaterialen.

dan kunnen ze in waterstress raken. Deze situatie kan met een zonneschermbaan worden opgeheven, omdat het scherm de luchtvochtigheid kan verhogen.

## Vocht afvoeren

Een scherm houdt het transport van warme lucht en de warmtestraling naar het kasdek tegen. Daardoor blijft het glas kouder dan zonder scherm. Door condensatie tegen het koude glas wordt het vochtgehalte boven het scherm extra laag. Het concentratieverschil van de waterdamp onder en boven het scherm neemt daardoor toe. Bij sterk waterdampdoorlatende doeken en lage buiten-temperatuur condenseert zelfs meer waterdamp tegen het glas dan zonder scherm. Daardoor wordt een lagere luchtvochtigheid gemeten dan in een kas zonder of met open scherm.

De luchtvochtigheid onder een gesloten scherm is te verlagen door het scherm een klein beetje te openen of het vochtgehalte boven het scherm te verlagen door iets te ventileren. Voor een gecontroleerde beheersing van de water-



Folies die weinig of geen waterdamp doorlaten geven een sterke verhoging van het vochtgehalte onder het scherm

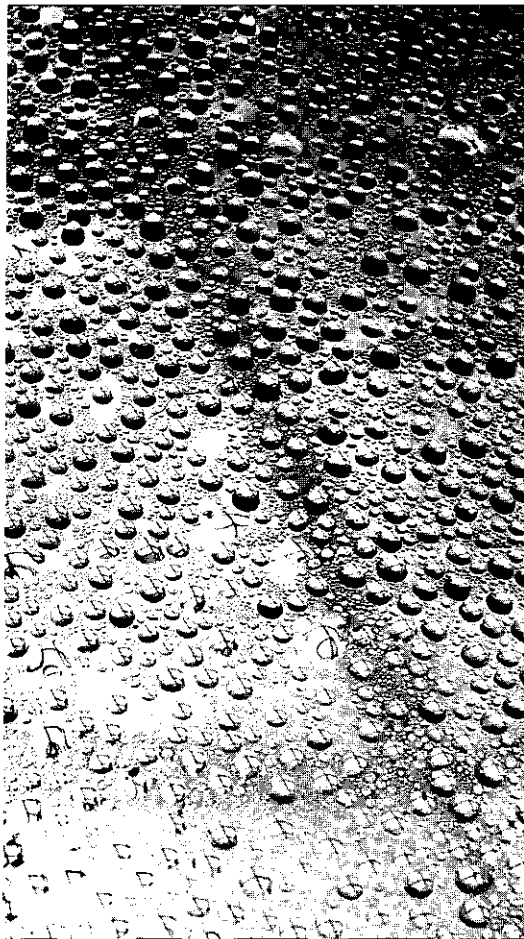
dampstroom worden hoge eisen gesteld aan de grootte en uniformiteit van de vochtkieren. Bij geperforeerd folie bleek bijvoorbeeld dat gaatjes van 6 mm op een gelijkmatige afstand van 10x10 cm soms al te veel waterdamp doorlaten. De oppervlakte van deze gaatjes samen is slechts 0,25 %, dat komt overeen met een vochtkier van slechts 1 cm op elke 4 m.

## Regeling scherm

Een zonneschermbaan is in de zomer moeilijk te regelen. De huidige zonneschermen bieden namelijk niet de mogelijkheid om variabele hoeveelheden licht te onderscheppen. Daarnaast kost onnodig sluiten veel groei.

Voor een goede regeling van het zonneschermbaan is het nodig de temperatuur van kwetsbare gewasorganen in de zon te meten. Het is ook mogelijk deze zo goed mogelijk te berekenen uit meting van instraling en luchttemperatuur. Uit ventilatie en verschil van de vochtgehalte binnen en buiten kan eventueel de mate van verdamping worden berekend.

Regeling van de luchtvochtigheid met



een energiescherm is eenvoudiger. Toch gebeurt het in de praktijk weinig nauwkeurig. Vaak wordt het scherm alleen open of dicht gestuurd. Dat gaat meestal in stappen, maar dat heeft alleen tot doel de verwarming de gelegenheid te geven

zich aan te passen.

Bij een waterdampdoorlatend scherm kan de luchtvochtigheid onder het scherm gedeeltelijk worden verlaagd door meer te luchten boven het scherm.

### Proportionele regeling

Een schermregeling waarbij de schermstand proportioneel geregeld wordt op luchtvochtigheid is een belangrijke verbetering. Een bijkomend voordeel is dat aanzienlijk meer energie wordt bespaard dan met een uitsluitend open-dicht geregeld scherm.

Voor een zo compleet mogelijke beheersing van de luchtvochtigheid is het bovendien nodig dat de schermregeling gecombineerd wordt met de regeling van luchtramen en verwarming. De vochtkier moet geregeld worden met stappen van maximaal 0,25%, nu is de kleinste stap vaak 1%. Belangrijk is, dat de vochtkieren overal exact even groot zijn, iets wat bij moderne installaties geen problemen hoeft te zijn.

Telers zijn van bang dat bij proportionele regeling van een vochtkier op luchtvochtigheid het scherm te onrustig wordt wat extra slijtage geeft. Dit is te voorkomen door de absolute luchtvochtigheid als regelgrootheid te nemen, eventueel in combinatie met het vochtgehalte boven het scherm en de buitenomstandigheden. Dit in plaats van de relatieve luchtvochtigheid.

Hoe hoog mag of moet de luchtvochtigheid onder een scherm nu zijn? Er is gebleken dat de luchtvochtigheid in de zomer bij veel gewassen weinig invloed heeft op de groei. Het evenwicht tussen

wateropname en verdamping is veel meer bepalend voor de groei. De grote hoeveelheid zonne-energie heeft dan een veel grotere invloed op de verdamping dan de luchtvochtigheid. Het vochtgehalte van kas- en buitenlucht in combinatie met de ventilatiesnelheid is daarbij een indicatie of het gewas de bij de instraling verwachte verdamping bijhoudt.

In de winter heeft de luchtvochtigheid meestal een grotere invloed op de groei. Vooral bij beperkte zonnestraling is de groei van veel gewassen te verbeteren door beheersing van de luchtvochtigheid. Het lijkt erop dat onder een scherm de luchtvochtigheid hoger mag zijn dan in een kas met alleen glas. Gebleken is namelijk dat bij dezelfde (hoge) luchtvochtigheid, in een kas met scherm minder schimmelziekten optreden dan onder enkel glas. De verklaring hiervoor is dat onder een scherm de verticale temperatuurverschillen kleiner zijn.

### Toekomstmuziek

Energieschermen worden nu nog weinig gebruikt om de luchtvochtigheid te beheersen. In de toekomst zal dat waarschijnlijk steeds meer gebeuren met als doel een betere groei, maar ook een belangrijke extra energiebesparing.

Bij gebrek aan een goede regeling gebruiken veel telers nu dampdoorlatende schermdoeken. Bij verbeterde schermregelingen op luchtvochtigheid kunnen de dampdoorlatende schermdoeken het toeneel verlaten. Fabrikanten hebben de eerste prototypen van folies die vrij zijn van condensdruppels al klaar liggen. ■

Het vochtgehalte en de dauwpunttemperatuur zijn afhankelijk van het soort schermdoek en de buitenomstandigheden. (Invloed van het schermmateriaal op de luchtvochtigheid bij een half volgroeid paprikagewas).

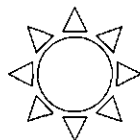
#### Situatie 1. Buitentemperatuur -5,2°C, rv 84%

Kas	Controle	Phor-milux	LS-10
Relatieve vochtigheid (%)	52	70	51
Kastemperatuur (°C)	17,9	17,9	17,9
Vochtgehalte (g per m <sup>3</sup> )	8,0	10,7	7,8
Dauwpunt (°C)	7,9	12,1	7,6

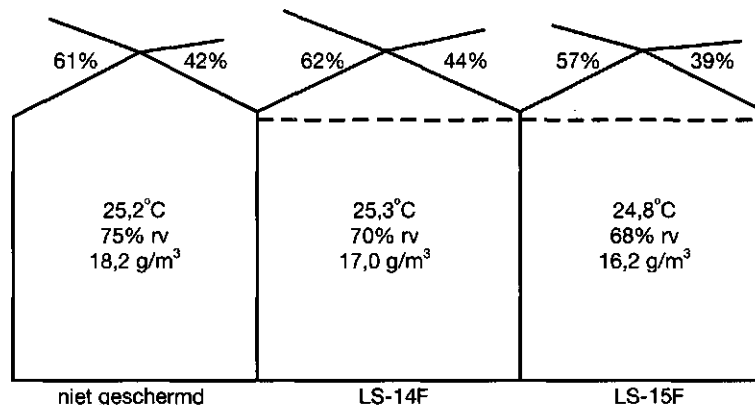
#### Situatie 2. Buitentemperatuur 11,0°C, rv 97%

Kas	Controle	Phor-milux	LS-10
Relatieve vochtigheid (%)	86	94	89
Kastemperatuur (°C)	17,6	17,8	17,7
Vochtgehalte (g per m <sup>3</sup> )	12,9	14,3	13,5
Dauwpunt (°C)	15,2	16,9	15,6

Bij gebruik van een zonnescherm: minder licht (LS-14F neemt 35% licht weg, LS-15F 55%), daardoor minder verdamping, een lager vochtgehalte en een lagere relatieve luchtvochtigheid (metingen bij een volgroeid tomatengewas).



Instraling 640 W/m<sup>2</sup>  
 Temperatuur 18,5°C  
 Relatieve vochtigheid 61%  
 Vochtgehalte 9,7 g/m<sup>3</sup>



# Blad geeft vooral via verdamping warmte af

*Elk blad krijgt energie aangevoerd en voert energie af. De aanvoer wordt verzorgd door verschillende bronnen. En ook voor de afvoer maakt een gewas gebruik van diverse systemen. De belangrijkste manier om energie, ofwel warmte kwijt te raken is verdamping.*

In een evenwichtsituatie zijn de aanvoer en afvoer gelijk waarbij de manier waarop het blad energie verliest, kan verschillen. Is de aanvoer van energie groter dan de afvoer dan wordt het blad warmer, is de afvoer groter dan de aanvoer, dan koelt het blad af.

## Situatie in het licht

De belangrijkste leverancier van energie tijdens een periode met licht is de zon of eventueel assimilatiebelichting, opgeteld met de energie afkomstig van de verwarmingsbuizen. Een deel van de straling gaat door het blad heen (transmissie). Een deel van de geabsorbeerde straling gebruikt het gewas voor de fotosynthese. Een ander deel verdwijnt door reflectie, uitstraling, warmte-afgifte aan de omgevingslucht (=convectie). Het grootste deel wordt evenwel omgezet in verdampingswarmte.

Bij een verandering van het klimaat of van de aan- of afvoer van energie kan de verhouding tussen uitstraling, convectie

## Zonder wateraanvoer wordt geen energie via verdamping afgevoerd

en verdamping verschuiven. De transmissie en reflectie hangen niet of nauwelijks af van de klimaatomstandigheden en zijn dus vrijwel constant.

De uitstraling hangt af van de bladtemperatuur en de temperatuur van het oppervlak erboven, bijvoorbeeld de glas- of schermtemperatuur. Bij een zeer lage dektemperatuur verliest het blad veel energie door uitstraling waardoor de bladtemperatuur daalt.

De convectie hangt af van het tempe-

## Energiebalans

- In een evenwichtsituatie is de aanvoer van energie gelijk aan de afvoer van energie.
- Gemiddeld is de afvoer van energie door een blad als volgt verdeeld: 5% fotosynthese, 10% reflectie, 10% uitstraling, 15% convectie en 60% verdamping.
- De manier waarop een blad energie verliest, kan onder invloed van de luchtvochtigheid veranderen.
- Een groter vochtverschil blad-lucht kan alleen in stand blijven als extra energie wordt aangevoerd.

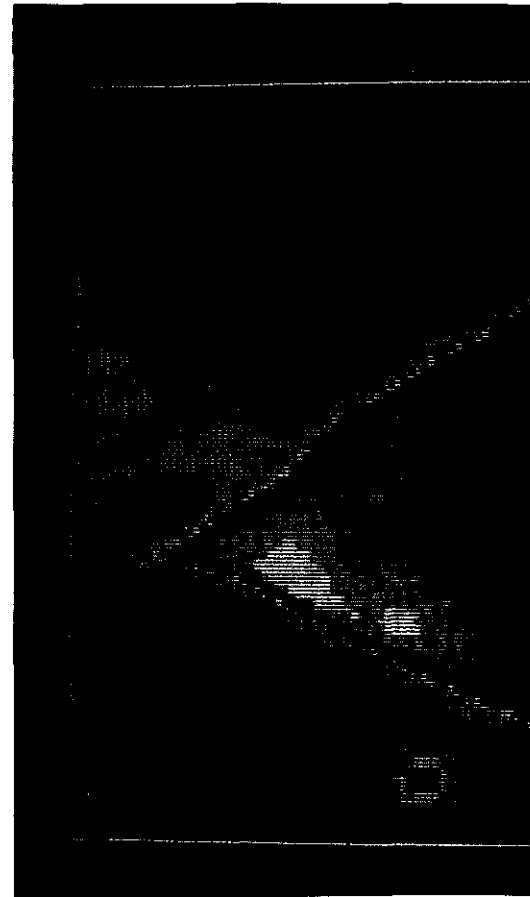
ratuurverschil tussen het blad en de lucht en de luchtbeweging. Bij meer luchtbeweging wordt de overdracht makkelijker.

De mate van warmteverlies door verdamping hangt af van de straling. Bij een lage hoeveelheid straling wordt relatief iets meer voor de verdamping gebruikt dan bij een hoge instraling. Bovendien speelt de wateraanvoer een zeer belangrijke rol. Zonder wateraanvoer kan ook geen energie door verdamping worden afgevoerd. De totale energie-afvoer moet dan volledig door convectie en uitstraling plaatsvinden, waardoor de bladtemperatuur zeer sterk stijgt.

In een situatie met licht wordt van de geabsorbeerde energie gemiddeld 5% afgevoerd via fotosynthese, 10% via reflectie, 10% via uitstraling, 15% door convectie en 60% door verdamping.

## Situatie in het donker

In het donker wordt alleen energie aan-



gevoerd door de verwarming. Het licht ontbreekt en er wordt geen energie gebruikt voor de fotosynthese.

De verhouding tussen verdamping, uitstraling en convectie ligt dus anders dan overdag. Bovendien hangt de hoeveelheid uitstraling sterk af van de positie van het blad. Een blad in de kop van het gewas heeft een koud glasdek of scherm boven zich en kan door uitstraling zoveel energie verliezen dat de bladtemperatuur onder de luchttemperatuur daalt. In dat geval wordt door convectie warmte overgedragen vanuit de lucht naar het blad, in plaats van andersom. Is de bladtemperatuur ook lager dan het dauwpunt dan is tevens sprake van een negatieve warmtestroom door transpiratie (= condensatie). Daardoor wordt ook warmte aan het blad overgedragen.

Bij bladeren lager in het gewas is de uitstraling meestal veel minder omdat direct boven deze bladeren geen koud kasdek zit, maar andere relatief warme bladeren. Bovendien ontvangen de lagere bladeren meer straling van de buizen waardoor ze warmer zijn dan de bladeren in de kop.

## Snelle verlaging

Huidmondjes gaan verder open bij een hoge luchtvochtigheid en sluiten zich bij een lage luchtvochtigheid. Door het



De gemiddelde bladtemperatuur hangt sterk af van de hoeveelheid straling, maar ook binnen een blad komen grote verschillen voor (infra-rood opname van een blad)

Foto: Staring Centrum-DLO, Wageningen.

huidmondjes immers altijd lager. Door de lagere bladtemperatuur daalt ook de energie-afgifte door straling en overdracht naar de lucht. Uiteindelijk stelt zich een nieuw evenwicht in tussen verdampingsniveau, huidmondjesopening, bladtemperatuur en vochtverschil blad-lucht. Hierbij is de verhouding tussen verdamping, uitstraling en convectie weer ongeveer gelijk aan de oorspronkelijke situatie. De luchtvochtigheid en de temperatuur in de kas zijn natuurlijk wel lager geworden.

Het verlagen van de luchtvochtigheid door alleen te ventileren, zal in de praktijk daarom geen blijvende verhoging van de verdamping geven.

### Grotere verdamping

In de praktijk wordt een aanhoudende te hoge luchtvochtigheid verholpen door luchten in combinatie met stoken. Door het verwarmingssysteem wordt dan extra energie aangevoerd om bij de grotere ventilatie de luchttemperatuur te handhaven. De totale energie-aanvoer naar het blad is daardoor hoger en ook de totale afvoer, met verdamping als belangrijkste component, zal toenemen. Het nieuwe evenwicht zal zich instellen bij een gemiddeld iets hogere bladtemperatuur. Uiteindelijk is het deze hogere bladtemperatuur die het vochtverschil tussen blad en lucht doet toenemen. Dit grotere vochtverschil kan alleen maar in stand blijven bij een constante extra aanvoer van energie. ■

en dus de warmte-overdracht door verdamping, opeens toe. Als de energie-aanvoer niet verandert, moet de warmte-afgifte door uitstraling en convectie dus dalen. Ondanks dat de huidmondjes bij een lagere luchtvochtigheid sluiten, wordt de verdamping als totaal toch groter.

Tijdelijk kan de verdamping zelfs zeer sterk stijgen omdat het blad zelf ook een bepaalde hoeveelheid energie bevat die gebruikt kan worden voor de verdamping. Het gevolg van het vrijkomen van deze energie is een scherpe daling van de bladtemperatuur. In de figuur zijn deze reacties schematisch weergegeven.

Door de hogere verdamping stijgt het vochtgehalte van de kaslucht. Hierdoor wordt het vochtverschil blad-lucht kleiner waardoor de verdamping wordt afgeremd. Door de kortdurende verhoging van de verdamping daalt de bladtemperatuur waardoor het vochtverschil blad-lucht ook afneemt. Bij een lagere bladtemperatuur is het vochtgehalte in de

vochtgehalte van de kaslucht plotseling te verlagen door extra te ventileren, stijgt het vochtverschil tussen blad en lucht. Daardoor neemt de verdamping,

### Energiestromen bij het blad

Schematische weergave van de veranderingen in energie-afvoer na een snelle verlaging van de luchtvochtigheid.

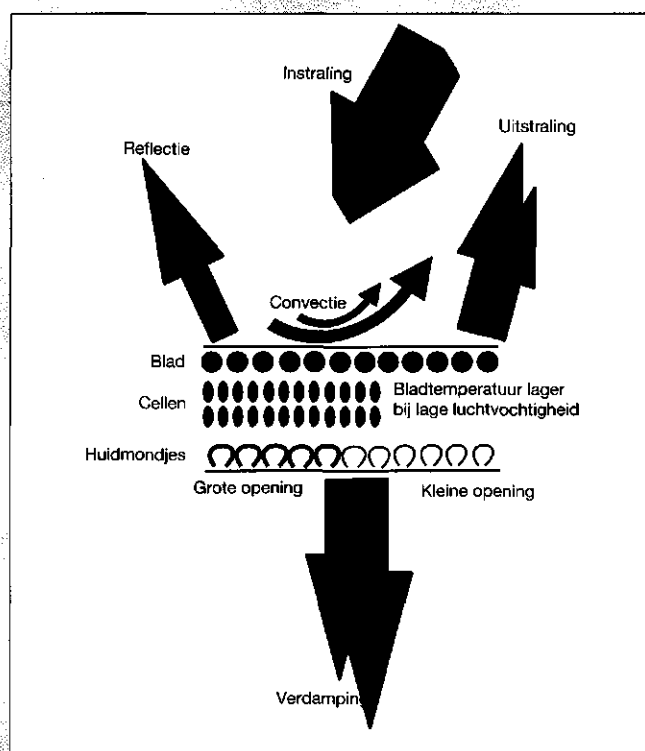
De hoeveelheid energie die voor de fotosynthese gebruikt wordt, is relatief klein en is in dit schema weggelaten, evenals de transmissie door het blad.

De situatie met een hoge luchtvochtigheid is aangegeven met rode pijlen. Voor de situatie die ontstaat kort na een snelle verlaging van de kasluchtvochtigheid zijn groene pijlen gebruikt. In beide situaties is de hoeveelheid invallende energie (instraling) gelijk, deze pijlen zijn dus ook even breed. De reflectie verschilt in beide situaties weinig of niets, deze pijlen zijn dus ook even breed gemaakt.

De aanvoer van energie (straling van zon en buizen) is gelijk aan de afvoer (totaal van reflectie, uitstraling, verdamping en convectie).

Na een verlaging van de luchtvochtigheid gaan de huidmondjes verder dicht (groene openingen) maar wordt de totale verdamping hoger (bredere groene pijl).

Omdat de instraling en de reflectie gelijk blijven, nemen de convectie en uitstraling, door een lagere bladtemperatuur af. Dit is weergegeven door de smallere groene pijlen van reflectie en convectie.



# Invloed vocht op fotosynthese klein

*Huidmondjes sluiten zich bij een lage luchtvochtigheid en gaan verder open bij een hoge luchtvochtigheid. Via dit mechanisme beïnvloedt de luchtvochtigheid de verdamping en de fotosynthese. De mate waarin de huidmondjesreactie de verdamping en de fotosynthese beïnvloedt verschilt echter sterk.*

Een manier van een blad om de ingestraalde energie kwijt te raken is verdamping. Ook als de omgevingslucht verzadigd is (100% rv) kan een plant verdampen. Dit komt omdat het blad (bij energie-aanvoer) warmer is dan de lucht.

Als het blad 1°C warmer is dan de kaslucht, is het vochtverschil tussen blad en verzadigde lucht bij 20°C ongeveer 1 g per m<sup>3</sup>. Bij een 2°C hogere bladtemperatuur is dat al ruim 2 g per m<sup>3</sup>. Bij een hogere luchtvochtigheid zal de bladtemperatuur oplopen en daarmee wordt de verdamping nog enigszins op peil gehouden.

Een blijvende verhoging van het vochtverschil blad-lucht met een factor 2 (bijvoorbeeld door extra te ventileren en te stoken) zou bij een gelijke huidmondjesopening leiden tot een verdubbeling van de verdamping. De huidmondjes sluiten zich echter en daardoor wordt de stijgende verdamping iets afgeremd. Toch stijgt totale verdamping, want het vochtverschil stijgt sterker dan de huidmondjes zich sluiten.

Door de extra stookenergie wordt het blad warmer. Daardoor nemen behalve de verdamping ook de uitstraling en convectie naar de lucht toe. Deze situatie kan alleen blijven bestaan als constant extra energie wordt aangevoerd.

Uiteindelijk stelt zich een nieuw evenwicht in tussen verdampingsniveau, huidmondjesopening, vochtdeficit en bladtemperatuur. In de praktijk neemt overdag, bij een verdubbeling van het vochtdeficit en een gelijke kasluchttemperatuur, door gelijktijdig te stoken en te luchten, de gewasverdamping met ongeveer 15% toe. De huidmondjes sluiten zich dus onvoldoende om de verdamping bij stijgend vochtdeficit te verminderen.

Als de watervoorziening goed is en de

## Kleine rol

- De verdamping wordt slechts zeer ten dele geregeld door de huidmondjes.
- Behalve de huidmondjesweerstand spelen de grenslaag- en mesofylweerstand een belangrijke rol bij de fotosynthesesnelheid.
- De directe invloed van de luchtvochtigheid op de gewasfotosynthese is in de praktijk kleiner dan 3%.

wortels gezond, neemt de gewasverdamping altijd toe bij stijgend vochtdeficit. De huidmondjes regelen de verdamping dus maar zeer ten dele. Pas onder zeer extreme omstandigheden (vochtdeficit boven de 15 gram per m<sup>3</sup>) kan de verdamping van de bladeren in de top van het gewas iets dalen. Als de watervoorziening slecht is (zwak wortelstelsel) of het gewas erg weinig bladoppervlak heeft kunnen problemen met de totale gewasverdamping ontstaan.

## Weerstand

Doordat de huidmondjes zich sluiten bij een lage luchtvochtigheid is de weerstand voor waterdamp- en CO<sub>2</sub>-uitwisseling groter dan bij een hoge luchtvochtigheid. Daardoor verloopt de fotosynthese sneller bij hogere luchtvochtigheden.

Hoeveel invloed de huidmondjesweerstand op de fotosynthese heeft hangt af van twee andere weerstanden: de zogenaamde uitwendige (of grenslaag)weerstand en de blad- (of mesofyl)weerstand voor CO<sub>2</sub>. In de figuur zijn deze weerstanden schematisch weergegeven. De grenslaagweerstand hangt af van de



bladgrootte, de windsnelheid langs het blad en het temperatuurverschil tussen blad en lucht. De mesofylweerstand is niet afhankelijk van het klimaat.

Omdat deze laatste twee weerstanden relatief groot zijn ten opzichte van de huidmondjesweerstand, is de invloed van een verandering in de huidmondjesweerstand op de fotosynthese klein. Dit kan het beste duidelijk gemaakt worden aan de hand van een eenvoudig rekenvoorbeeld uit de elektriciteitsleer (figuur).

De reactie van de fotosynthese op een verandering in de huidmondjesweerstand is te vergelijken met de verandering van de stroomsterkte bij een vaste spanning door een reeks weerstanden waarvan er één variabel is. De stroomsterkte door een reeks weerstanden kan berekend worden met:

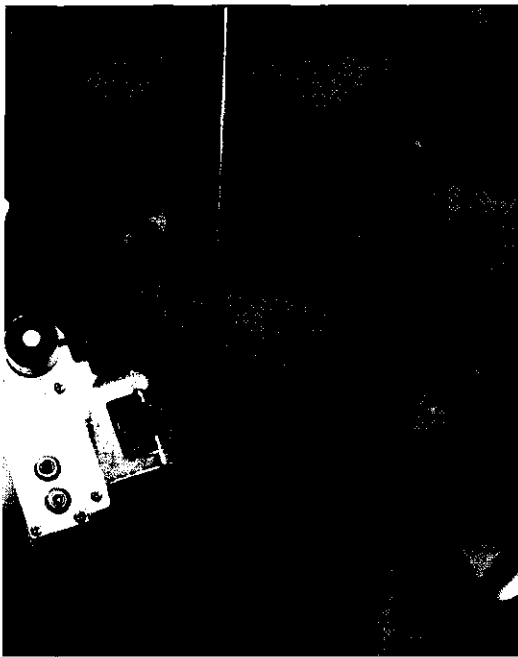
$$\text{Stroomsterkte} = \frac{\text{Spanningsverschil}}{\text{Som weerstanden}}$$

Stel dat er twee vaste weerstanden zijn van 200 en 250 ohm en een variabele weerstand tussen de 100 en 200 ohm. Het spanningsverschil is 550 volt.

De stroomsterkte wordt dan  $550/(200+250+100) = 1$  Ampère. Stijgt nu de variabele weerstand naar 200 ohm, dan wordt de stroomsterkte  $550/(200+250+200) = 0,85$  Ampère. Door de verdubbeling van de variabele weerstand daalt de stroomsterkte dus met slechts 15%. Bij de fotosynthese is het spanningsverschil vergelijkbaar met het verschil in CO<sub>2</sub>-concentratie buiten en binnenin het blad.

## Vergelijking CO<sub>2</sub>

De CO<sub>2</sub>-concentratie in het blad heeft een constante waarde van ongeveer 55 dpm



De huidmondjesopening en de bladtemperatuur hangen af van de luchtvochtigheid

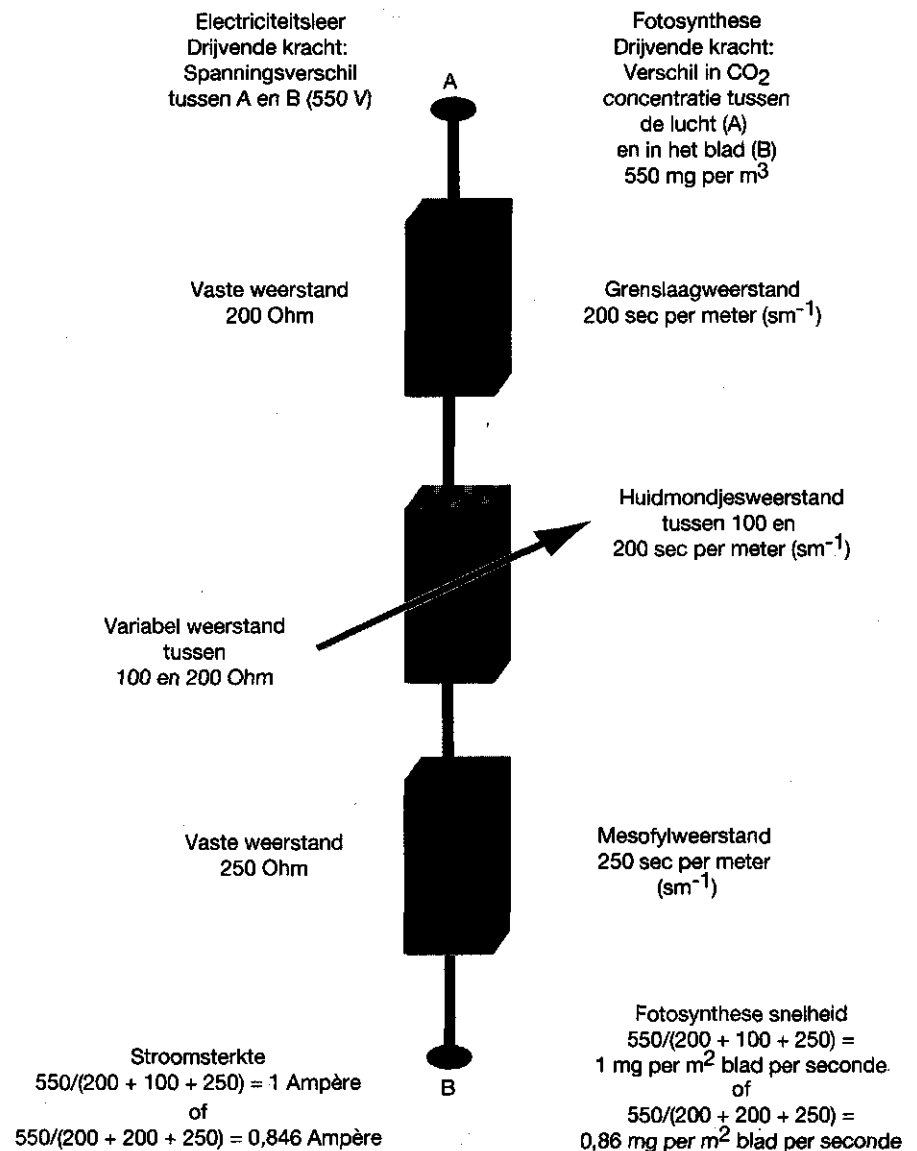
(100 mg per m<sup>3</sup>). Bij een concentratie in de kaslucht van 350 dpm (650 mg per m<sup>3</sup>) is het verschil 300 dpm of 550 mg per m<sup>3</sup>. De grenslaag- en de mesofylweerstand vormen de vaste weerstand; de variabele weerstand is vergelijkbaar met de huidmondjes. De waarden van deze weerstanden worden uitgedrukt in seconde per meter. De hoogte van de weerstanden ligt voor een aantal kasgewassen bij normale omstandigheden in de buurt van 100 tot 300 (figuur). Bij het rekenvoorbeeld voor de stroomsterkte zijn bewust vergelijkbare getallen gekozen. Hier is te zien dat door de verdubbeling van de huidmondjesweerstand de fotosynthese ook met slechts 15% daalt.

Voor een verdubbeling van de huidmondjesweerstand is echter een flinke stijging van het vochtdeficit (of vochtverschil blad-lucht) nodig. Gedacht moet worden aan 8 g per m<sup>3</sup>, overeenkomend met een rv-daling van 95 naar 50% bij 20°C.

### Bladfotosynthese

De invloed van luchtvochtigheid op de bladfotosynthese verschilt per gewas omdat de huidmondjes- en grenslaagweerstand verschillen. De daling van de bladfotosynthese is voor diverse gewassen te berekenen. Bij verhoging van het vochtdeficit met 8 gram per m<sup>3</sup> daalt het bij komkommer 8%, bij aubergine 9%, bij paprika 15% en bij tomaat 16%. Deze waarden gelden echter voor omstandigheden met lichtverzadiging waarbij de huidmondjes bij de hoge luchtvochtigheid maximaal open staan.

### Vergelijking tussen de stroomsterkte door een weerstandsketen met een variabele weerstand en de fotosynthese in afhankelijkheid van de huidmondjesweerstand



In het gewas neemt de lichthoeveelheid van boven naar beneden echter sterk af. Alleen van de bovenste bladeren zal de fotosynthese daarom sterk dalen. Het uiteindelijke effect van een vergroting van het vochtdeficit van 0 naar 8 g per m<sup>3</sup> op de totale gewasfotosynthese is daardoor veel kleiner. Bij veel licht daalt deze gemiddeld met minder dan 5% en in omstandigheden met weinig licht (winter) zelfs maar 2 tot 3%.

In de praktijk speelt dit zogenaamde directe effect van de luchtvochtigheid op de gewasfotosynthese dus slechts een zeer beperkte rol. De normale wisselingen in luchtvochtigheid zijn immers kleiner dan de in de berekeningen gebruikte.

De invloed van de luchtvochtigheid op de gewasfotosynthese is dus aanzienlijk kleiner dan op de verdamping. Dit komt omdat bij de verdamping het vochtverschil blad-lucht zelf de drijvende kracht is (vergelijkbaar met het spanningsverschil in de figuur) en daardoor direct effect heeft. Bij de fotosynthese verloopt het effect alleen via de huidmondjesopening.

Toch kan de luchtvochtigheid na langere tijd wel invloed hebben op de totale gewasfotosynthese. Dit is dan niet het gevolg van het directe effect via de huidmondjes maar door de langzame aanpassing van het bladoppervlak. ■

# Zichtbare aanpassingen en onzichtbare

*Een hoge luchtvochtigheid verandert na verloop van tijd het uiterlijk van veel gewassen. Ze gaan weelderig groeien met langere scheuten en soms grotere bladeren. Er treden echter ook onzichtbare veranderingen op die van belang kunnen zijn voor het resultaat van de teelt.*

De luchtvochtigheid beïnvloedt de produktie van veel kasgewassen. Dat is vooral het gevolg van invloeden op het totale bladoppervlak en de fotosynthese. Voor veel gewasfotosynthese zijn twee zaken van groot belang: het bladoppervlak en een goede uitwisseling van CO<sub>2</sub> via de huidmondjes. De luchtvochtigheid heeft op beide zaken invloed. In het gebied met een vochtdeficit van 5 tot 10 g per m<sup>3</sup> is de invloed op de CO<sub>2</sub>-uitwisseling het belangrijkste. Bij een kleiner vochtdeficit is de aanpassing van het bladoppervlak doorslaggevend. Het bladoppervlak verandert door de invloed van de luchtvochtigheid op de aanleg van bladeren en de strekking van de cellen. Omdat zo'n proces relatief langzaam verloopt, wordt deze gewasaanpassing pas na langere tijd zichtbaar.

## Celstrekking

Vrijwel alle gewassen reageren op verhoging van de luchtvochtigheid door de hoofdstengel, scheuten en bladstelen sterker te strekken. De celstrekking - en daarmee de strekking het totale gewas - hangt namelijk af van de turgordruk. Bij een lage luchtvochtigheid is de verdamping hoog en de turgor van het gewas relatief laag. Dat remt de celstrekking iets. Onder omstandigheden met weinig transpiratie (weinig straling, hoge luchtvochtigheid) is de turgor meestal hoger en kan er meer strekking optreden. Daarom is het effect van de luchtvochtigheid op de strekking het beste te zien onder lichtarme omstandigheden.

De invloed op de bladstrekking verschilt per gewas. Gewassen zoals tomaat en paprika reageren amper op een hoge luchtvochtigheid door het blad meer te strekken. Bij komkommer geeft een vochtdeficit lager dan 5 gram per m<sup>3</sup> iets meer bladstrekking. Er worden grotere, maar ook dunnere bladeren gevormd. Dit

## Celstrekking en huidmondjes

- De celstrekking verloopt meestal beter bij een hoge luchtvochtigheid.
- De effecten op celstrekking zijn het sterkst bij lage lichtomstandigheden.
- Boven een vochtdeficit van 5 gram per m<sup>3</sup> is de hoeveelheid huidmondjes per oppervlak groter bij hogere luchtvochtigheid.
- Meer en grotere huidmondjes kunnen het gewas vatbaarder maken voor bepaalde ziektes.

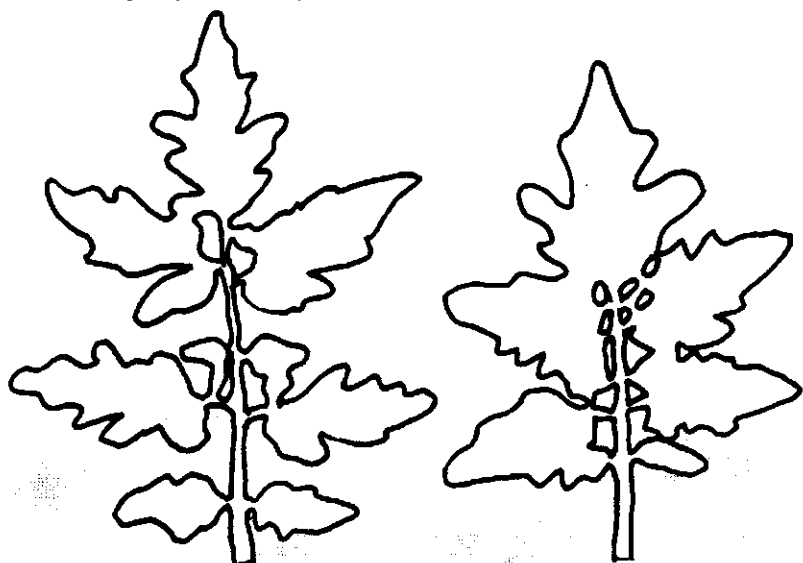
is voornamelijk het gevolg van een betere strekking van de cellen. Per blad worden wel ongeveer evenveel cellen aangelegd.

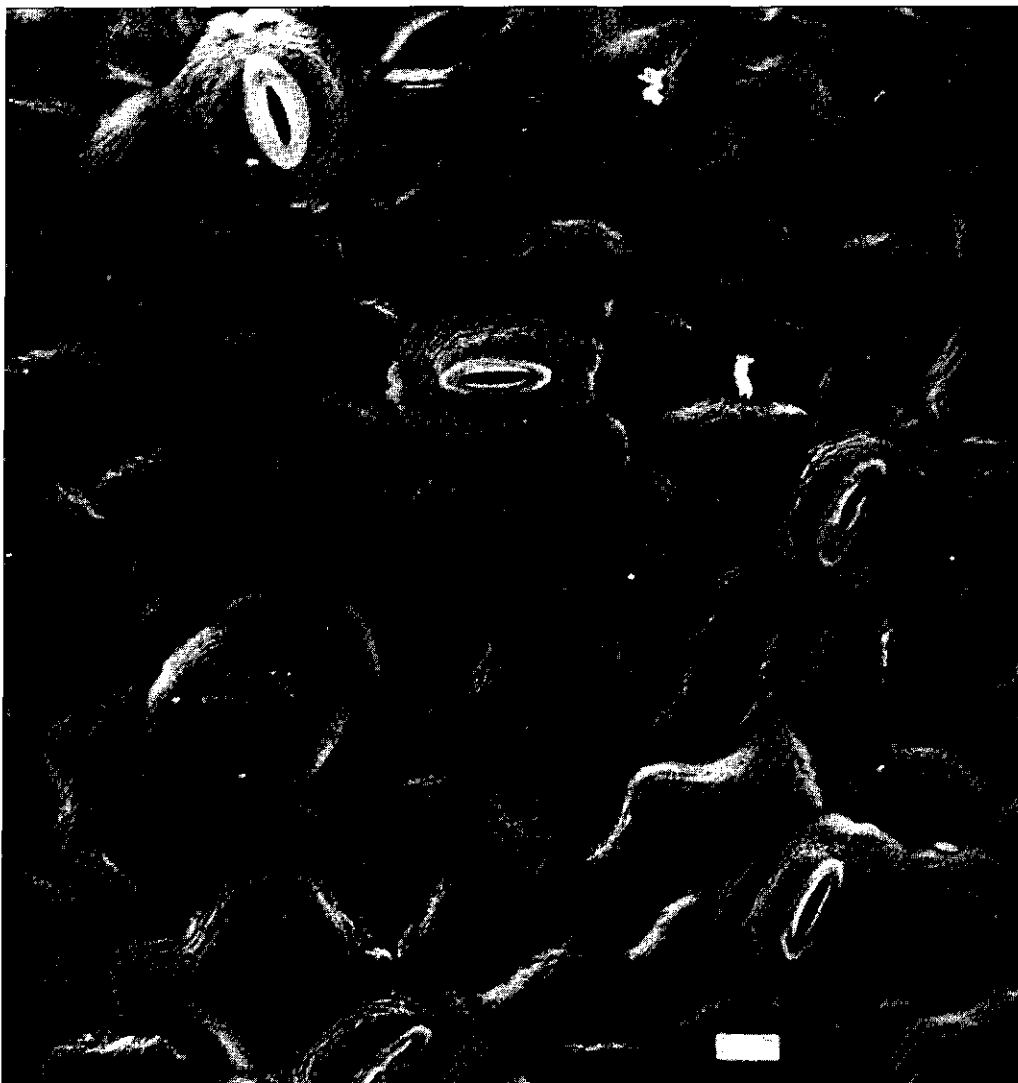
Een hogere luchtvochtigheid laat de bladcellen minder strekken dan de



scheuten en de bladstelen (figuur 1). Hierdoor ontstaat de bekende wat gerekte, welige gewasvorm. Bij een aantal potplanten is de invloed op bladstrekking duidelijker. Dit zou te maken kunnen

Figuur 1: Tomatebladeren gegroeid bij een hoge (links) en een lage luchtvochtigheid (rechts). Vochtdeficit 2,0 gram per m<sup>3</sup> en 8,0 gram per m<sup>3</sup>.





hebben met het feit dat deze gewassen normaliter bij wat minder licht geteeld worden.

### Uitlopen okselknoppen

Bij veel gewassen lopen de okselknoppen gemakkelijker uit bij een hoge luchtvochtigheid. Hier is nog geen volledig duidelijke verklaring. Er zijn aanwijzingen dat de okselknoppen, onder invloed van de worteldruk, meer hormonen aangevoerd krijgen die het uitlopen bevorderen. Hellemal zeker is dat echter niet.

Bij gewassen waar dieven verwijderd moeten worden zoals tomaat, is het onvoordelig als de okselknoppen gemakkelijker uitlopen. Bij komkommer daarentegen draagt het juist bij aan een snellere toename van het bladoppervlak. Potplanten hebben er vaak baat bij, omdat een vollere plant ontstaat die kwalitatief aantrekkelijker is.

### Aanpassing huidmondjes

De hoeveelheid huidmondjes kan variëren tussen 60 en 1.000 per mm<sup>2</sup>. Dat hangt sterk af van het gewas; de leeftijd van en de plaats op het blad en de

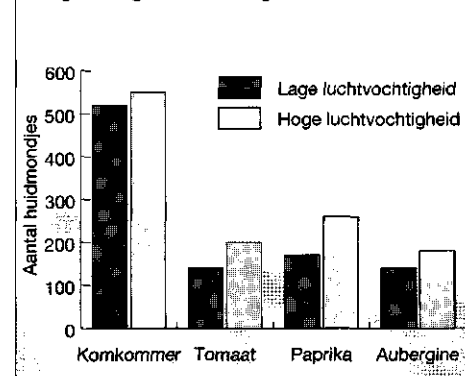
groeiomstandigheden. Bij gewassen met veel huidmondjes zijn deze meestal klein. Zijn er weinig huidmondjes dan zijn ze juist groot. Huidmondjes zitten, in tegenstelling tot wat veel mensen denken, vaak ook aan de bovenkant van bladeren. Aan de onderkant zitten er echter veel meer.

In *figuur 2* is voor een aantal gewassen een indruk gegeven van de hoeveelheid huidmondjes bij een lage en een hoge luchtvochtigheid. De cijfers zijn bepaald aan de onderkant van volwassen bladeren in het voorjaar. Alle gewassen hebben meer huidmondjes per mm<sup>2</sup> bij een hoge luchtvochtigheid. De huidmondjes zijn bovendien bij al deze gewassen gemiddeld ook nog 30% groter. Hierdoor neemt het totale oppervlak aan huidmondjes per mm<sup>2</sup> bladoppervlak sterk toe.

Het lijkt er op dat het gewas zich verweert tegen omstandigheden waarbij de verdamping moeilijk gaat, door de totale oppervlakte aan de openingen in het blad te vergroten. Opvallend zijn de grote verschillen tussen de gewassen. Komkommer heeft drie ongeveer keer zoveel huid-

Huidmondjes zitten aan de onder- en bovenkant van het blad. Aan de onderkant zitten er echter veel meer

Figuur 2 : Aantal huidmondjes per mm<sup>2</sup> bij hoge en lage luchtvochtigheid



mondjes als tomaat en aubergine.

Ook de grootte van de huidmondjes verschilt per gewas. Bij komkommer zijn ze ongeveer 0,015 mm lang en 0,01 mm breed, bij paprika zijn ze 0,023 mm lang en 0,015 mm breed. De huidmondjes van een komkommer zijn dus 60% kleiner die van paprika. De totale oppervlakte aan huidmondjes per mm<sup>2</sup> blad verschilt tussen de gewassen dus minder dan het aantal.

### Betekenis voor gewas

Het is gebleken dat het klimaat op een bepaald moment bepaalt hoe ver alle huidmondjes samen open staan. En dat bepaalt de uitwisseling van waterdamp en CO<sub>2</sub>. Het aantal huidmondjes per oppervlakte en de grootte van de huidmondjes is onder normale klimaatomstandigheden niet van belang.

De aanpassing van de hoeveelheid huidmondjes en grootte kunnen toch wel invloed hebben op het gewas. Sommige schimmels en bacteriën dringen de plant namelijk via de huidmondjes binnen. Er zijn aanwijzingen dat gewassen of rassen die meer en grotere huidmondjes hebben, vatbaarder zijn voor infectie door deze ziektes. Dat kan betekenen dat na een lange periode met een hoge luchtvochtigheid de gewassen gevoeliger zijn geworden voor bepaalde ziektes.

Verder is het niet ondenkbaar dat onder extreme klimaatomstandigheden (veel straling, lage luchtvochtigheid) gewassen met meer en grotere huidmondjes meer water verliezen dan gewassen met weinig kleine huidmondjes. Bovendien heeft een gewas dat langere tijd onder hoge luchtvochtigheid gegroeid is een kleiner wortelstelsel. De combinatie van deze twee aspecten zou een grotere gevoeligheid voor watertekort en dus uitdroging kunnen betekenen. ■

# Plant verdampt door vochtverschil

*Verdamping is noodzakelijk voor koeling van bladeren en voor transport van water en voedingsstoffen. Maar hoe komt die verdamping tot stand en welke factoren hebben er invloed op?*

*Die kennis kan de teler van nut zijn bij het beïnvloeden van de verdamping.*

**A**ls een plant verdampt geeft hij waterdamp af aan de omgevingslucht. Dit gebeurt via de huidmondjes van het blad. In de huidmondjes is de lucht altijd verzadigd met waterdamp. De omgevingslucht is altijd droger is dan de lucht in deze holtes. Door het concentratieverschil zal waterdamp naar buiten treden. Hoe verder de huidmondjes open staan, hoe sneller dat gaat. Dat komt doordat de weerstand lager is.

## Weerstanden

De verdamping verandert als het verschil tussen het vochtgehalte in het blad en de kaslucht verandert, maar ook als de weerstand verandert. Deze weerstand wordt gevormd door de inwendige weerstand - de huidmondjes - en de uitwendige weerstand. De uitwendige weerstand is afhankelijk van de bladgrootte en de luchtsnelheid langs het blad. Deze is meestal vrijwel constant.

De inwendige weerstand, of huidmondjesweerstand, kan sterk variëren. Zijn de huidmondjes bijna geheel gesloten dan is de totale weerstand groot, en de verdamping dus klein. Als de huidmondjes wijd open staan is de weerstand daarentegen klein.

Allerlei factoren beïnvloeden de opening van huidmondjes. In volgorde van belangrijkheid zijn dat licht, vochtverschil, CO<sub>2</sub>, (blad)temperatuur en beschikbaarheid van water. Licht is verreweg het belangrijkste. Bij meer licht staan de huidmondjes verder open. In de tweede plaats is het vochtverschil van belang. Bij een groot vochtverschil of watertekort sluiten de huidmondjes zich, om de plant als het ware te beschermen tegen uitdrogen.

## Koeling

Een belangrijk effect van verdamping is koeling van het bladoppervlak. Het verdampen van water, dat gebeurt in de huidmondjesholte, vergt energie. Dit

## Stimulerende factoren

- Groot vochtverschil tussen kaslucht en lucht in de huidmondjes stimuleert de plantverdamping.
- Luchtvochtigheid en gewasverdamping beïnvloeden elkaar onderling.
- Zonnestraling stimuleert de verdamping door een groter vochtverschil en een grotere huidmondjesopening.
- Meer stoken vergroot alleen het vochtverschil blad-lucht.
- Worteldruk voorziet niet-verdampende plantdelen van water en voeding.

wordt onttrokken aan de cellen rondom de huidmondjesholte en die onttrekken het weer aan de buurcellen. Daardoor is bij zonneshijn een verdampend blad aanmerkelijk koeler dan een blad dat niet kan verdampen.

Koeling van het gewas zorgt ook voor koeling van de kaslucht. Hierdoor is op een zonnige zomerdag een kas met gewas merkbaar koeler dan een lege kas.

## Vochtverschil drijvende kracht

De verdamping wordt veroorzaakt door het verschil tussen het vochtgehalte in het blad en het vochtgehalte van de lucht.

## Worteldruk speelt alleen een rol bij zeer weinig verdamping

Dit verschil wordt 'vochtverschil blad-lucht' genoemd. Dit is dus niet hetzelfde als het vochtdeficit van de lucht.

Het vochtverschil en het vochtdeficit zijn alleen aan elkaar gelijk als het blad even warm is als de kaslucht. Bij bladeren in de schaduw is dit vaak wel het geval.

Plantdelen in de zon kunnen wel 10°C warmer zijn dan delen in de schaduw.

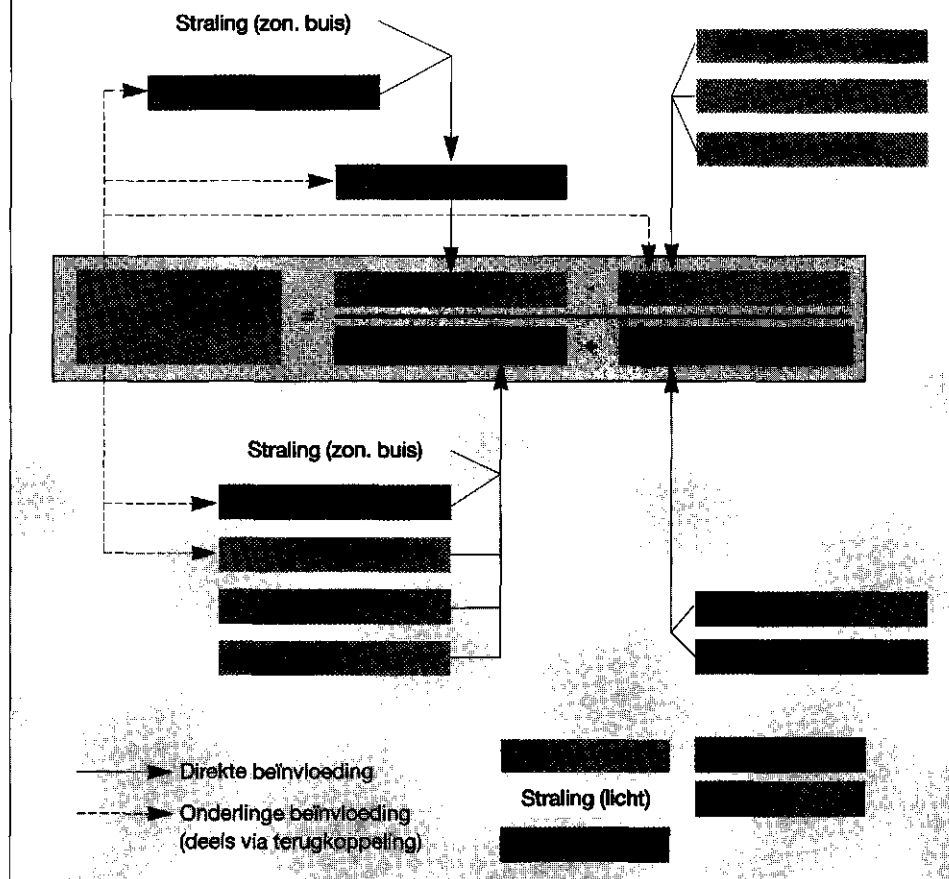
Bladeren in de zon zijn dus veel warmer en daardoor is het vochtgehalte in het blad veel hoger. Dat maakt het vochtverschil blad-lucht ook groter. Deze bladeren verdampen daarom meer dan bladeren in de schaduw, ondanks het feit dat het vochtdeficit van de omringende kaslucht gelijk is. Niet het vochtdeficit van de kaslucht is dus de drijvende kracht voor de gewasverdamping maar het vochtverschil tussen blad en lucht.

## Effect luchtvochtigheid

De invloed van de luchtvochtigheid op de verdamping lijkt vrij eenvoudig. Waterdamp stroomt makkelijker uit de huidmondjesholtes als de kaslucht droger is. Het vochtverschil blad-lucht is dan immers groter.

In werkelijkheid is de invloed van luchtvochtigheid op de verdamping ingewikkelder. De gewasverdamping heeft namelijk ook invloed op de luchtvochtigheid van de kaslucht, op de bladtemperatuur en hiermee indirect ook op de huidmondjesopening. Dit is een soort vicieuze

Bij de verdamping spelen een groot aantal factoren een rol die elkaar onderling beïnvloeden. De gestippelde lijnen geven aan welke kasklimaatfactoren invloed hebben op het vochtgehalte in het blad; het vochtgehalte van de kaslucht; de huidmondjesweerstand en de uitwendige weerstand. Bovendien is aangegeven dat de verdamping zelf ook invloed heeft op bijvoorbeeld het vochtgehalte van de kaslucht en de bladtemperatuur.



Als de worteldruk erg groot is kan een plant zelfs gaan gutteren

cirkel, ofwel een terugkoppeling.

Daardoor is het niet altijd eenvoudig vast te stellen wat oorzaak en wat gevolg is. Al deze onderlinge invloeden zijn in het *schema* weergegeven.

De invloed van het vochtverschil op de verdamping bestaat uit een direct effect (zuigkracht door vochtverschil) en indirect effect (huidmondjessluiting) die elkaar tegenwerken. Normaal is het stimulerende effect van een groot vochtverschil verreweg het sterkst. De verdamping neemt dus toe bij een groter vochtverschil ondanks de zich sluitende huidmondjes.

### Invloed straling

De allerbelangrijkste factor die de verdamping bepaalt blijft de hoeveelheid straling, afkomstig van de zon of buizen. Straling warmt het gewas op, waardoor het vochtverschil tussen blad en directe omgeving toeneemt. Bovendien gaan bij meer zonlicht de huidmondjes verder open.

Bij meer zon wordt het vochtverschil

blad-lucht dus groter en de totale weerstand kleiner. Deze twee gevolgen werken in dezelfde richting: meer verdamping bij meer straling.

Meer straling via de buizen (stoken) kan een tekort aan licht slechts gedeeltelijk compenseren. Stoken heeft namelijk geen direct effect op de huidmondjes, maar alleen op de temperatuur van kaslucht en gewas.

Door warmere buizen wordt het vochtverschil groter en gaat de plant meer verdampen. Als ook nog meer gelucht wordt, ontstaat een extra groot vochtverschil.

### Worteldruk

De verdamping ontstaat dus doordat waterdamp onttrokken wordt aan de bladeren. De zuigende kracht van het vochtverschil is daar de oorzaak van. Deze zuigkracht zet zich door naar de bladcellen en via de vaten naar de wortels van de plant. Dit betekent dat er in de hele plant een zogenaamde zuigspanning aanwezig is, die zorgt voor wateropname via de wortels.

Als er geen of weinig verdamping is (met name 's nachts), valt de zuigspan-

ning vrijwel helemaal weg. In die situatie wordt een ander proces belangrijk, namelijk de worteldruk. Dit wil zeggen dat in plaats van zuigkracht vanuit de bladeren, een stuwkracht vanuit de wortels de wateropname veroorzaakt.

Worteldruk ontstaat onder andere doordat in de plantecellen de zoutconcentratie hoger is dan in de grond of het substraat. De wortelcellen nemen daardoor actief water op en stuwen dit omhoog. Omdat de worteldruk een veel kleinere kracht is dan de zuiging vanuit de bladeren valt hij overdag in het niet bij de zuigspanning.

Alleen als de worteldruk groter is dan de aanzuiging vanuit de bladeren, bereikt het (voedings)water ook niet- en weinig verdampende plantedelen. Dit zijn bijvoorbeeld vruchten, groeipunten en knoppen. Bij verdamping door zuigkracht gaat de waterstroom uitsluitend naar de verdampende bladeren. Als de worteldruk groter is dan de aanzuiging kan ook guttatie voorkomen.

Worteldruk zorgt er dus voor dat groeipunten en vruchten toch essentiële voedingsstoffen, zoals calcium ontvangen. ■

# Plantgewicht schommelt door verdamping en groei

*Een gewas verbruikt water voor twee processen. Voor de verdamping en voor de groei. De wateropname en de verdamping zijn niet volledig in evenwicht met elkaar. Daardoor ontstaan schommelingen in het versgewicht van de plant.*

De wateropname door de wortels gebeurt deels passief en deels actief. Bij de passieve wateropname wordt het water als het ware door de wortels heen naar binnen gezogen. Bij de actieve wateropname nemen de wortels actief zouten op uit het wortelmilieu. Dit proces vereist energie in de vorm van assimilaten. Door de opname van zouten door de wortels ontstaat vervolgens een osmotische aanzuiging van water.

Voor de verdamping geschiedt de wateropname passief. Als gevolg van de onderdruk die in de bladeren ontstaat bij de verdamping, wordt water aangezogen. Ook de omzetting van assimilaten in plantecellen heeft tot gevolg dat water passief wordt aangezogen.

Het waterverbruik van een gewas wordt vooral bepaald door de passieve opname als gevolg van de verdamping. Als de verdamping toeneemt en dus de zuigkracht groter wordt, duurt het een paar minuten voordat de wateropname ook toeneemt.

Na een dag met veel licht is de wateraanzuiging als gevolg van de omzetting van assimilaten in celmateriaal vooral 's avonds en 's nachts, groot. In die periode is de versgewichtgroei van een gewas meestal het grootst.

## Waterverbruik

De verdamping en het waterverbruik lopen niet onder alle omstandigheden volledig parallel. Omdat de verdamping over korte tijd sterk kan variëren, is de totale wateropname de ene keer groter en een andere keer kleiner dan de gewasverdamping. Dat geeft schommelingen in het versgewicht van de plant. Op een zonnige dag met veel straling zal in een situatie met een sterk stijgende verdamping de toename van het versgewicht van de plant geremd worden (figuur 1). Al het opgenomen water wordt voor verdamping gebruikt zodat het versgewicht van

## Plantgewicht wisselt

- De totale wateropname van een plant wordt bepaald door de verdamping en de groei van het versgewicht.
- Als de verdamping plotseling sterk stijgt, wordt er tijdelijk water aan de plant onttrokken waardoor het gewicht afneemt.
- Na een zonnige dag neemt het versgewicht van de plant vooral 's nachts sterk toe.
- Na een dag met veel straling kan na zonsondergang het plantgewicht lager zijn dan bij zonsopkomst.

de plant niet meer verder toeneemt. Soms wordt zelfs water aan de plant onttrokken waardoor de plant merkbaar lichter wordt. Als bovendien de wateropname wordt belemmerd, bijvoorbeeld omdat er te weinig wortels zijn of omdat de matten te droog zijn, kan een gewas slap worden. Als de huidmondjes dichtgaan, stagneren dan zowel de verdamping als de fotosynthese.

Bij een dalende verdamping wordt, onafhankelijk van het verdampingsniveau, de totale wateropname groter dan de ver-

## De werkelijke groei hangt van de aangemaakte assimilaten af

damping. Vanaf dat moment wordt de plant dus weer zwaarder. In de meeste gevallen wordt het verlies aan water 's middags na vier uur, maar vooral na zonsondergang, weer ingehaald.

De werkelijke groei, ofwel de absolute toename van het versgewicht van de plant, hangt af van de hoeveelheid aan-



gemaakte assimilaten in de voorafgaande periode. Die hoeveelheid hangt af van de hoeveelheid licht. Op zonnige dagen vindt de toename van het versgewicht hoofdzakelijk plaats gedurende de erop volgende nacht (figuur 1). In deze periode wordt water opgenomen voor de omzetting van de assimilaten in nieuwe cellen en voor de volumetoename van de cellen.

Op een donkere dag met weinig straling neemt het versgewicht hoofdzakelijk toe in de ochtend. Na een bepaald tijdstip neemt het versgewicht nauwelijks meer toe (figuur 2). Dit hangt waarschijnlijk samen met de geringe hoeveelheid aangemaakte assimilaten die dag. Hierdoor kunnen er 's avonds en 's nachts weinig nieuwe cellen worden gemaakt.

Op donkere dagen is overdag de totale wateropname bijna altijd groter dan de transpiratie. Hierdoor neemt ook overdag het plantgewicht toe. Komt echter op een donkere dag de zon laat in de middag toch nog door, dan blijft de totale wateropname alsnog achter bij de plotseling toegenomen transpiratie. Hierdoor kan het plantgewicht ook nog dalen.

In de periode half juli tot half septem-



**Door de grote hoeveelheid assimilaten is de versgewichtsgroei na zonnige dagen extra groot**

ber is de groei gevolgd van enkele tomaten- en komkommerplanten. Uit dit onderzoek bleek dat de totale versgewichtsgroei overdag, van zonsopkomst tot zonsondergang, afhangt van de globale straling. Hoe hoger de stralingssom, hoe geringer overdag de toename van het versgewicht is.

Bij komkommer was de totale wateropname tussen zonsopkomst en zonsondergang altijd groter dan de verdamping. Ook op zeer zonnige dagen, bij meer dan 2600 Joule per cm<sup>2</sup> per dag. Het plantgewicht bij zonsondergang is dan ook altijd hoger dan het gewicht bij zonsopkomst (figuur 1). Bij tomaat werd boven de 1600 Joule per cm<sup>2</sup> per dag tussen zonsopkomst en zonsondergang minder water opgenomen dan dat er verdampte, zodat de planten bij zonsondergang lichter waren dan bij zonsopkomst. Gedurende de nacht was de toename van het versgewicht van tomaat groter dan van komkommer. Beide gewassen groeiden harder als er in de voorafgaande lichtperiode meer straling was geweest.

Bij een stralingssom van 2000 Joule per cm<sup>2</sup> buiten, bedroeg de gewichtstoename voor tomaat en komkommer per etmaal respectievelijk ongeveer 100 gram en 150 tot 200 gram. De geringere gewichtstoename van tomaat hangt mogelijk samen met het hogere droge stofgehalte van dit gewas. Overigens zijn de ge-

tallen niet geheel betrouwbaar omdat de bepalingen slechts aan een paar planten zijn gedaan.

**Aanpassing na donker weer**

Als het enkele dagen donker weer is geweest en het daarna plotseling zonnig wordt, kunnen planten het behoorlijk moeilijk krijgen. Door de plotselinge toename van de straling, kan het gewas zelfs slap gaan hangen. Blijkbaar bouwt de plant tijdens een langere periode een interne weerstand op, waardoor bij een onverwachte toename van de verdamping, de wateropname extra veel achterblijft. Er zijn aanwijzingen dat ook de transpiratie door deze aanpassing tijdelijk wat minder kan worden.

Houdt het zonnige weer een paar dagen stand, dan is er weinig meer te merken van enig achterblijven van de wateropname en/of gewasverdamping. De plant heeft kennelijk tijd nodig zich opnieuw aan te passen.

Bij een meer geleidelijke overgang van donker naar zonnig weer, ontstaan in het algemeen geen problemen.

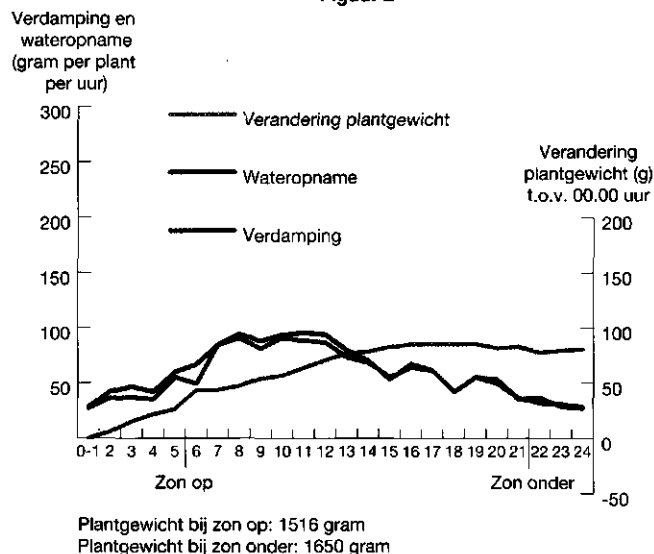
Plotselinge te grote overgangen moeten dan ook zoveel mogelijk worden voorkomen door bijvoorbeeld gebruik te maken van daksproeiers of een zonnescherm.



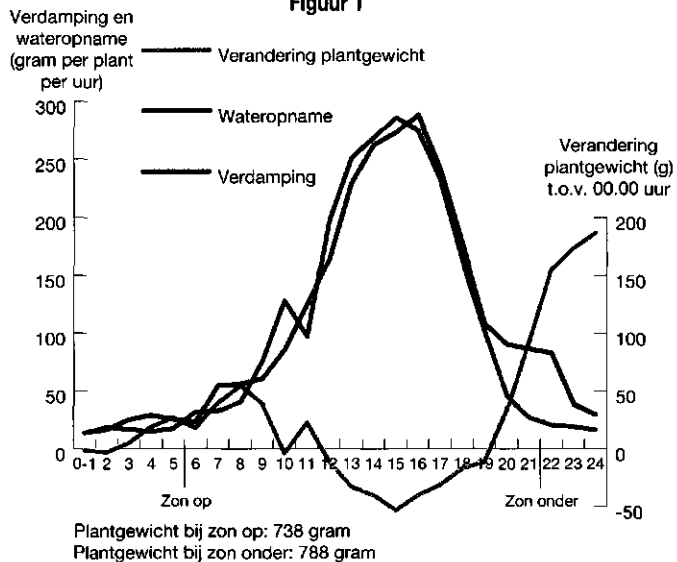
**Verdamping, wateropname en versgewichttoename van een komkommerplant op een zonnige dag (figuur 1) en een donkere dag (figuur 2)**

De wateropname volgt in grote lijnen de gewasverdamping. Zolang de wateropname groter is dan de verdamping neemt het plantgewicht toe. Als de gewasverdamping sterk stijgt en de wateropname achterblijft, daalt het versgewicht. Zodra de verdamping weer daalt, neemt het plantgewicht weer toe. Het versgewicht neemt op een zonnige dag het meeste toe na zonsondergang en op een donkere dag in de ochtenduren.

**Figuur 2**



**Figuur 1**



# Verdamping daalt niet altijd door schermen

*Meestal daalt de gewasverdamping bij de toepassing van schermen. Bij een energiescherm komt dit vooral door de combinatie van minder vochtafvoer en een lagere buistemperatuur. Bij zonnenschermen is het meestal het gevolg van de lagere hoeveelheid straling. Maar niet altijd gaat het gewas minder verdampen als wordt geschermd.*

Een scherm heeft invloed op de verdamping en de vochtafvoer en daardoor dus op de luchtvochtigheid in de kas. Het hangt af van het schermmateriaal en de schermregeling welke factor het meest wordt beïnvloed en dus of de vochtigheid toeneemt, afneemt of gelijk blijft. Bovendien is de invloed 's nachts en overdag verschillend.

## 's Nachts schermen

De luchtvochtigheid in een kas onder een 'vochtdoorlatend' scherm - een energiescherm of een verduisteringsscherm - is hoger dan de luchtvochtigheid in een kas zonder scherm. De hoge luchtvochtigheid en de lagere buistemperatuur leiden tot een verlaging van de verdamping. Wordt het energiescherm 's nachts gesloten, dan zal bij koude nachten de bladtemperatuur hoger zijn dan in de niet geschermd kas. De uitstraling is immers geringer. De hogere bladtemperatuur compenseert ge-

### Met of zonder scherm

- De luchtvochtigheid onder een vochtdoorlatend scherm is hoger dan de luchtvochtigheid zonder scherm.
- Bij een scherm met vochtkier kan de verdamping 's nachts groter zijn dan zonder scherm.
- Bij een vochtdoorlatend scherm zal bij koud weer de verdamping overdag niet veel lager zijn dan zonder scherm.
- Een zonnenscherm verlaagt de verdamping altijd.

deeltelijk de gedaalde gewasverdamping. Er is sprake van een zogenaamd terugkoppelingseffect. Dit effect is overdag groter dan 's nachts, maar dat neemt niet weg dat bij een geheel gesloten vochtdoorlatend scherm de verdamping 's nachts toch behoorlijk vermindert. Een plant die zonder scherm 's nachts 200 gram verdampt, verdampt met scherm slechts 160 gram, een verlaging van 20% (figuur 1). Bij een lage verdamping, bijvoorbeeld 40 gram per plant per nacht, daalt door schermen de verdamping met wel 60% tot 16 gram per plant. Bij een hoge verdamping is het effect van schermen dus absoluut gezien groter, maar relatief gezien kleiner dan bij een lage verdamping.

### Vochtdoorlatende schermen

Onder een vochtdoorlatend scherm is de verdamping hoger dan onder een volledig gesloten scherm. Vochtdoorlatende schermen zijn onder andere schermen met een vochtkier, geperforeerde schermen en schermen met een hoge dampdoorlatendheid. Een gewas onder een vochtdoorla-



tend scherm verdampt meestal evenveel als een gewas dat niet wordt geschermd en 's nachts is de verdamping soms zelfs hoger. De verklaring hiervoor is dat bij een vochtdoorlatend scherm vochttransport plaatsvindt naar de erboven gelegen kasruimte. Het

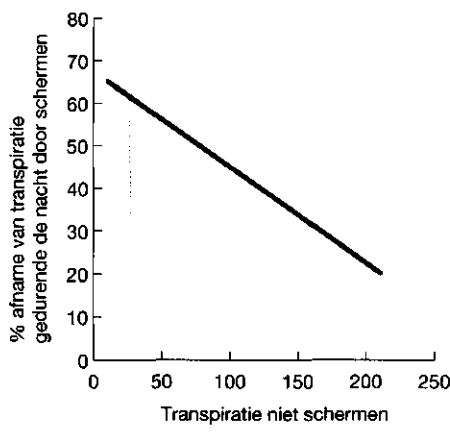
warmtetransport, met name stralingswarmte, naar de bovenste kasruimte wordt voor een groot deel tegengehouden. Hierdoor is de glastemperatuur lager dan in een kas zonder scherm. Het koudere kasdek zorgt voor meer vochtafvoer door condensatie. De luchtvochtigheid onder een vochtdoorlatend energiescherm kan hierdoor lager zijn dan bij niet schermen.

### Schermen overdag

In januari/februari kan de gewasverdamping onder een vochtdoorlatend (kier)scherm overdag in eerste instantie afnemen, door de lagere hoeveelheid straling. Net als 's nachts zal de luchtvochtigheid van de kaslucht dalen, maar nu vanwege de extra vochtafvoer door condensatie tegen het dek. Hierdoor neemt het vochtverschil tussen blad en lucht iets toe waardoor ook de verdamping weer wat stijgt. Het verdampingsniveau zal daardoor uiteindelijk ongeveer evenredig dalen met de lichtvermindering door schermen.

Ook bij een volledig gesloten energiescherm zal de gewasverdamping overdag afnemen door de lichtafname. Deze afname wordt bij zonnig weer gedeeltelijk teniet gedaan door stijging van de bladtem-

**Figuur 1. Invloed van een vochtdoorlatend energiescherm op de verdamping van tomaat tijdens de nacht.**



## De reactie op het sluiten van het scherm verschilt per gewas

kan dit voor een deel voorkomen. Een nadeel van een (zonne)schermdak is dat het licht wegneemt, wat tot produktieverlaging kan leiden, zeker als teveel wordt geschermd. Met name groentegewassen reageren nogal sterk met produktieverlaging, als teveel wordt geschermd. Zelfs bij zeer hoge lichtniveaus moet hierom voorzichtig worden omgesprongen met schermen. Het gebruik moet zeer selectief gebeuren. Bij bepaalde gewassen werkt schermen echter bevorderlijk op de kwaliteit van het produkt.

### Ramen sluiten

Door minder te ventileren stijgt het vochtgehalte van de kaslucht. Daardoor daalt het vochtverschil tussen blad en kaslucht. 's Nachts zal de verdamping dan ook dalen. Overdag daalt de verdamping eerst ook maar treedt het eerder genoemde terugkoppelingseffect op, met name bij zonnig weer. De bladtemperatuur stijgt waardoor het vochtverschil tussen blad en lucht weer toeneemt en daarmee ook de gewasverdamping. Op dagen met veel straling zal bij een plotseling sluiten van de ramen de gewasverdamping eerst dalen. Omdat de straling gelijk blijft, kan de bladtemperatuur tot wel 10°C boven de (toch al hoge) kastemperatuur stijgen. Hierdoor kan de gewasverdamping stijgen tot hetzelfde niveau als bij geopende ramen (figuur 2). De kastemperatuur en de relatieve luchtvochtigheid zullen onder die omstandigheden zeer hoog oplopen.

peratuur.

Daardoor neemt het vochtverschil blad-lucht toe wat de verdamping stimuleert. Het grote verschil met een vochtierschermdak is dat er een veel hogere temperatuur en absolute luchtvochtigheid heersen waarbij de relatieve luchtvochtigheid zeer hoog kan oplopen. Deze situatie is min of meer vergelijkbaar met het sluiten van ramen.

### Zonneschermdak

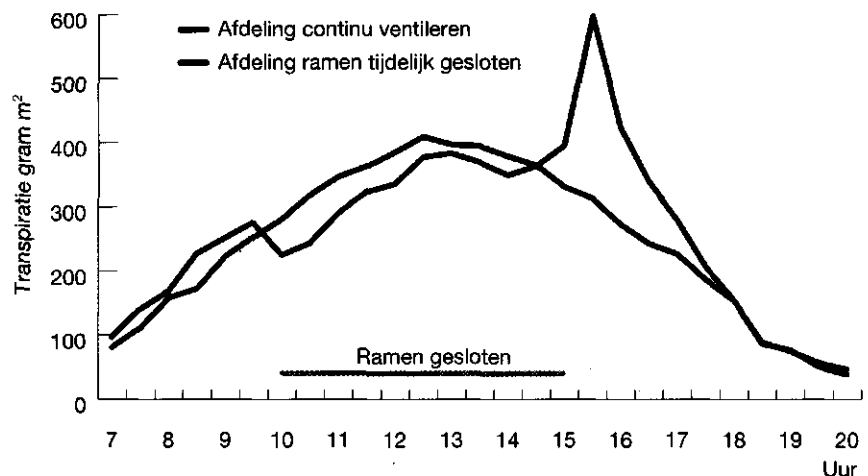
Planten onder een zonneschermdak verdampen altijd minder dan planten zonder scherm. Immers de straling is minder en de lucht- en planttemperatuur lager. Boven het scherm wordt daardoor vaak minder geventileerd. Desondanks is het vochtgehalte onder het zonneschermdak lager dan in een kas zonder zonneschermdak. Dit wijst maar op één ding: de planten in een kas met zonneschermdak verdampen minder.

Het gebruik van een zonneschermdak remt dus de verdamping. Bij een watertekort wordt daardoor voorkomen dat de wateropname teveel achterblijft bij de verdamping, en de plant in een stress-situatie komt. Toch blijkt uit metingen dat 'stress', in de vorm van een afname van de gewasverdamping bij extreem hoge straling nauwelijks voorkomt. Soms stagneert de gewasverdamping maar dat is in de meeste gevallen een gevolg van andere beperkende factoren. Het kan zijn dat de wortels te weinig water opnemen omdat het wortelgestel ziek of nog te klein is. Of mogelijk is het wateraanbod onvoldoende als

gevolg van verstopping van de druppelaars, een te kleine capaciteit van de installatie of omdat te lang is gewacht met watergeven.

Voor na een lange periode van donker weer, met weinig verdamping, kan bij een plotseling sterke toename van de straling, de verdamping stagneren. De plant kan de wateropname onvoldoende aanpassen aan de sterk toegenomen verdamping en kan hierdoor slap worden. Een zonneschermdak

**Figuur 2.** Effect van het sluiten van ramen op de gewasverdamping (zomerdag). Na sluiten van de ramen daalt de verdamping eerst sterk. Na verloop van tijd wordt echter weer hetzelfde niveau bereikt als bij geopende ramen. De temperatuur wordt zeer hoog (tot 42°C). Na openen van de ramen stijgt de verdamping sterk doordat de planttemperatuur was opgelopen tot 46°C. Het vochtverschil blad-lucht wordt daardoor bij het openen van de ramen zeer groot. Na enkele uren is, door daling van de gewasstemperatuur, weer een normaal verdampingsniveau bereikt.



# Teeltwijze snijbloemen cruciaal bij verdamping

*De verdamping van snijbloemen reageert op dezelfde factoren als die van groentegewassen.*

*De straling die het blad opvangt, is daarbij veruit het belangrijkste. Daardoor speelt bij veel snijbloemen de oogst een belangrijke rol bij het verdampingsniveau. Bij de oogst wordt immers een deel van het bladoppervlak verwijderd.*

**B**ij snijbloemen is de hoeveelheid globale straling de belangrijkste factor die de gewasverdamping bepaalt. Daarnaast kan de kasverwarming relatief veel invloed hebben, met name in de winter. Vooral als de buizen in of direct naast het bed liggen kan de verdamping door de stralingsenergie van de buizen hoog oplopen. De totale verdamping gedurende de nacht kan hierdoor bij lange nachten in bijvoorbeeld november en december bijna even groot zijn als overdag.

Figuur 1 geeft de dag-, nacht- en etmaalverdamping van een herfstteelt chrysant weer. In het begin (half augustus) vormt de verdamping overdag verreweg het belangrijkste deel van het totaal per etmaal. Vanaf half september neemt, door de langere nachten en meer verwarmen, de verdamping 's nachts toe tot ongeveer 1 liter per m<sup>2</sup> rond half november. In die periode is de verdamping overdag vrijwel even groot.

Tot begin september neemt de totale etmaalverdamping toe, ondanks een daling van de gemiddelde stralingssom. De oorzaak is de toename van het bladoppervlak. Begin september bereikt het gewas een lengte van ongeveer 30 cm en is het plantbed dichtgegroeid. De lichtonderschepping neemt bij een verdere groei nauwelijks meer toe. Na begin september daalt de gemiddelde verdamping overdag door de lagere stralingssommen.

De waarden in de grafiek geven totaal-sommen weer over de totale dag- en nachtperiode. Omgerekend naar verdamping per uur zijn de verschillen tussen dag en nacht uiteraard veel groter. Half november is de gemiddelde verdamping per uur overdag twee keer zo groot als 's

## Consequenties

- Oogst van bloemtakken met relatief veel jong blad vermindert de gewasverdamping tijdelijk met 50 tot 70%.
- Als er voldoende gezond oud blad aanwezig is, herstelt de gewasverdamping zich binnen enkele dagen.
- Wordt in een groot deel van de kas bij de oogst veel verdampend blad weggenomen dan is ingrijpen in de klimaatregeling soms noodzakelijk.

nachts. Doordat de nacht bijna twee keer zo lang is als de dag, zijn de totale verdampingen bijna gelijk.

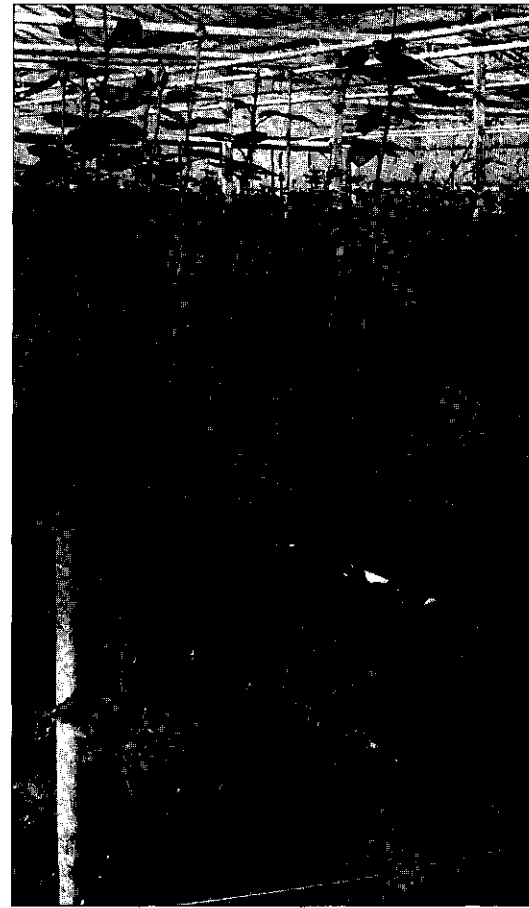
## Invloed verwarming

Figuur 2 geeft het verband tussen de globale straling en de verdamping van chrysant weer tussen 6 augustus en 16 november. Tevens is de bijdrage van het stoken op de verdamping aangegeven. Hier-

## Na de oogst kan de waterbehoefte plaatselijk sterk verschillen

bij is onderscheid gemaakt tussen de dag- en de nachtperiode. De stooktemperaturen lagen in het begin op 21°C overdag en 17°C 's nachts. In het verloop van de teelt werden ze afgebouwd tot respectievelijk 17 en 15°C. Er was geen minibus ingesteld.

Boven een stralingssom van 1.600 J



per cm<sup>2</sup> per dag was er bij de gebruikte instellingen overdag en 's nachts geen behoefte aan stoken. Boven deze stralingssom heeft de verwarming dus geen invloed meer op de verdamping.

Bij stralingssommen beneden 1.600 J per cm<sup>2</sup> per dag wordt er steeds meer gestookt. De verdamping door stoken neemt daardoor merkbaar toe. In eerste instantie komt dit vooral door stoken tijdens de nacht. Bij een stralingssom lager dan 1.200 J per cm<sup>2</sup> per dag wordt ook overdag gestookt zodat de verdamping daardoor ook overdag toeneemt.

## Invloed oogst

Bij de oogst van chrysant wordt de totale plant verwijderd. Daardoor daalt de gewasverdamping in dat deel van de kas tot nul. De enige verdamping die overblijft is die uit de grond. Bij bijvoorbeeld roos, anjer, aster en gerbera ligt dit heel anders.

Bij de oogst van bloemen, met uitzondering van gerbera, wordt ook een groot deel van het verdampend blad verwijderd. Hierdoor daalt de verdamping sterk ten opzichte van de direct voorafgaande periode.

## Invloed oogstperiode

Hoeveel de totale gewasverdamping daalt is afhankelijk van de periode waarover wordt geoogst. Worden de bloemen in één keer verwijderd dan is het effect



op de gewasverdamping groot. Bij het op snee zetten kan de verdamping van rozen met wel 50 tot 70% afnemen (figuur 3).

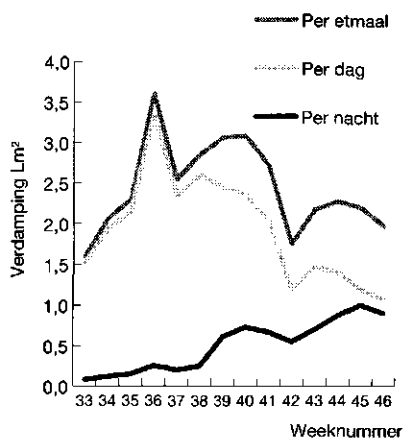
Bovendien hebben oudere bladeren in de schaduw een grotere inwendige weerstand. Als deze bladeren opnieuw in het volle licht komen te staan is de inwendige weerstand nog hoog. Deze past zich vervolgens relatief langzaam aan de nieuwe lichtomstandigheden aan. De plant verdampt daardoor aanvankelijk

Bij de oogst worden veel jonge bladeren weggenomen die voor de verdamping zorgden (Foto: Vakblad voor de Bloemisterij)

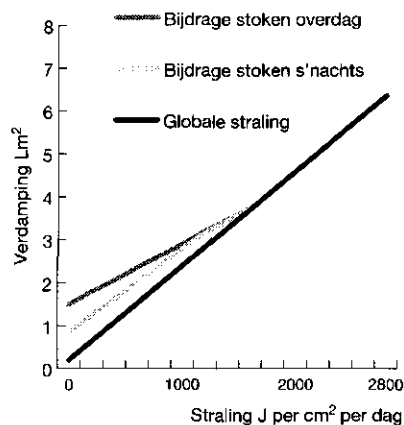
weinig. Als er voldoende gezond oud blad aanwezig is, herstelt de gewasverdamping zich binnen drie tot vier dagen.

Worden de bloemen over een langere periode (of min of meer continu) geoogst, dan is het effect op gewasverdamping beduidend kleiner. Bij gerbera verandert

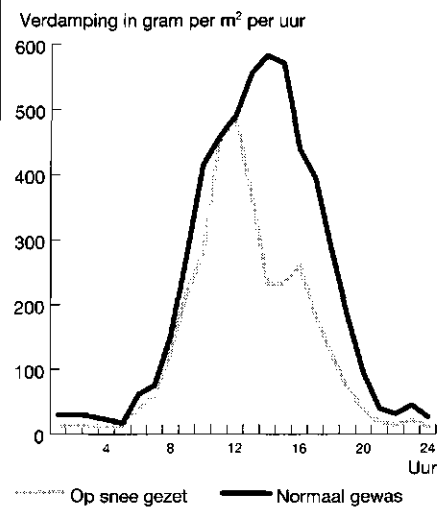
**Figuur 1.**  
Verloop van de gewasverdamping bij een herfstteelt van chrysaant



**Figuur 2.**  
Verband tussen de stralingsom en de gewasverdamping inclusief de bijdrage van stoken overdag en 's nachts



**Figuur 3.**  
Invloed van het 'op snee zetten' om 12 uur op de verdamping van roos. Het herstelvermogen is afhankelijk van het resterende hout en bladeren



het bladoppervlak niet en zal het oogsten van de bloemen dus geen merkbare invloed hebben op de verdamping.

Een mindere gewasverdamping laat de waterbehoefte van het gewas dalen. Bij op snee geteelde rozen en chrysanten is de invloed van de oogst op de totale gewasverdamping groot. Vaak staan in de kas echter verschillende gewasstadia naast elkaar en wordt de kas in delen geoogst. Over de hele kas gezien zal de verdamping, en dus de waterbehoefte, dan niet veel veranderen. De waterbehoefte kan plaatselijk echter sterk verschillen.

Worden grote delen van de kas tegelijk geoogst, dan kan door de kleinere vocht-aanvoer naar de kaslucht de luchtvochtigheid dalen. Onder dergelijke omstandigheden kunnen maatregelen in de vorm van krijten, schermen of het gebruik van daksproeiers noodzakelijk zijn.

De veranderde waterbehoefte speelt bijvoorbeeld een rol bij een nieuw gepland anjergewas, die de eerste keer oogsten op snee worden geoogst. Juist dat geeft in de praktijk nogal eens problemen met de watervoorziening en het kasklimaat, vooral bij een septemberplanting. De eerste oogst valt dan in mei, een periode waarin veel straling kan voorkomen. Het gewas verdampt de eerste paar dagen na het op snee oogsten nog maar weinig waardoor de bladtemperatuur (sterk) stijgt. De groei van de nieuwe bladscheuten kan hierdoor te houderig en te klein (scherp) worden. Een voorzichtig, kort gebruik van een 'dun' krijtscherm, dat na enkele dagen door de regen of daksproeiers wegspoelt kan in zo'n situatie nuttig zijn. Langer een 'dikker' krijtscherm handhaven lijkt gunstig voor het gewas, maar kost uiteindelijk altijd productie. ■

# Verdamping uit grond belangrijke vochtbron

*Bij veel gewassen op substraatteelt is de grond volledig afgedekt. De verdamping uit de bodem speelt dan geen rol. Bij grondteelten en kamerplanten kan de verdamping uit de bodem echter een zeer belangrijke bijdrage leveren aan de vochthuishouding in kassen.*

**B**ij verdamping van gewassen wordt over het algemeen alleen aan de verdamping vanuit de plant gedacht. Per oppervlakte-eenheid is de verdamping van vochtige grond echter groter dan die van een even groot bladoppervlak. Verwaarlozing van de verdamping vanuit de grond is dan ook alleen terecht indien het bladoppervlak vele malen groter is en het grondoppervlak door het blad wordt bedekt. Bij kamerplanten is gedurende een deel van de teelt het oppervlak slechts gedeeltelijk bedekt. Daardoor kan met name in de beginfase van de teelt de verdamping vanuit de grond een aanzienlijk deel van de totale verdamping zijn.

In dit artikel worden de processen en factoren beschreven die een rol spelen bij de verdamping vanuit de grond. Het geeft een beeld van het belang van de verdamping uit de grond voor de totale vochtaanvoer naar de kaslucht. Ten slotte wordt kort ingegaan op de gevolgen voor de teelt.

## Hoge luchtvochtigheid in de grond

Gronden en substraten bestaan voor een groot deel uit poriën. Deze spelen een belangrijke rol bij de water- en luchtvoorziening voor de plant. Ze zijn gevuld met water en/of lucht. De lucht in de poriën bezit over het algemeen een hoge luchtvochtigheid. Bij relatief natte omstandigheden waarbij de meeste teelten plaatsvinden, is de lucht in de poriën vrijwel verzadigd met vocht. Dit betekent dat het vochtgehalte van de bodemlucht gelijk is aan het verzadigde vochtgehalte bij de heersende bodemtemperatuur.

Doordat het vochtgehalte van de kaslucht over het algemeen lager is, verdamppt het bodemvocht. Wanneer alle

- De verdamping vanuit de grond wordt vooral door de straling en het vochtgehalte van de kaslucht bepaald.
- Het aandeel verdamping vanuit de grond is zeer groot in de beginfase van de teelt.
- Over de totale teeltperiode kan 20 tot 60% van de watergift vanuit de grond verdampen.
- Bij veel verdamping vanuit de grond kan verzouting van de bovenlaag van de potkluit ontstaan.

overige factoren gelijk blijven, zal de verdamping ongeveer evenredig zijn met dit verschil in vochtgehalte. Als dit verschil groter wordt (door een lager vochtgehalte van de kaslucht of een stijging van de bodemtemperatuur), neemt de verdamping vanuit de grond toe.

## Verdamping vanuit kale grond

Het verschil in vochtgehalte is een drijvende kracht voor de verdamping. Er zijn echter nog twee condities noodzakelijk om ervoor te zorgen dat deze verdamping kan doorgaan. Ten eerste is energie nodig voor de verdamping van het water. Deze is voornamelijk afkomstig van de straling. Tevens is het noodzakelijk dat watertransport plaatsvindt vanuit de grond naar het oppervlak. Dit interne transport van water wordt bepaald door de fysische eigenschappen van de grond en door de vochtigheid.

Bij een vochtige grond wordt de verdamping hoofdzakelijk bepaald door de externe factoren (straling en vochtgehalte van de kaslucht). Dit wordt potentiële verdamping genoemd. Bij uitdroging van de grond daalt de verdampingssnelheid



steeds verder. Op deze wijze beschermt de grond zichzelf als het ware tegen verder uitdrogen doordat een dunne, droge laag wordt gevormd die het watertransport naar het oppervlak remt. Omdat de meeste substraatteelten onder natte omstandigheden plaatsvinden en het vermogen tot watertransport door substraten groot is, zal de verdamping hier normaal gesproken maximaal zijn.

De verdamping van de potgrond wordt dus in een teelt vooral bepaald door instraling, temperatuur en luchtvochtigheid, terwijl bij de gewasverdamping ook de regeling door de huidmondjes een rol speelt.

## Verdamping vanuit gedeeltelijk bedekt oppervlak

In een teelt bereikt slechts een klein deel van de straling het grondoppervlak. Het gewas onderschept het merendeel van de instraling. Zonder planten vindt verdamping alleen plaats vanuit de grond. Bij een volledig gesloten gewas gebeurt de verdamping hoofdzakelijk vanuit de planten. Gedurende een teelt zal het gewas steeds meer grond bedekken en neemt het aandeel van de verdamping vanuit de grond af.

Bij *Ficus benjamina* is onderzocht wat de bijdrage is van de verdamping vanuit



Met name in de beginfase van de teelt verdampt een groot deel van het water vanuit de grond

grond bleef gelijk terwijl de verdamping vanuit de plant afnam. Slechts bij zeer droge behandelingen daalde de verdamping vanuit de grond. In die situaties was de grond echter al zover uitgedroogd, dat reductie in groei optrad.

Ook bij teelten van gewassen in de volleggrond die volvelds worden beregend (zoals chrysant en sla) is de bijdrage van de verdamping vanuit de grond op het totale waterverbruik groot. De bijdrage aan het totale waterverbruik is afhankelijk van het teeltseizoen en varieert tussen 60% bij teelten in de winter tot 25% in de zomer.

De verdamping zorgt voor de vocht-aanvoer naar de kas en is daardoor bepalend voor de vochtigheid in de kas. Bij grondteelten en kamerplanten speelt de verdamping vanuit de grond hierbij een belangrijke rol. Deze overheerst met name in de beginfase van de teelt. Ook uit het oogpunt van de bemesting is het belangrijk de bijdrage van de verdamping vanuit de grond te weten.

Bij het eb/vloed-teeltsysteem speelt deze verdamping namelijk een belangrijke rol bij de hoeveelheid water die per gift wordt toegediend. Bij een hoge verdamping droogt de grond verder uit en moet per vloedbeurt meer water worden toegediend. Doordat daarbij tegelijk ook voedingsstoffen worden gegeven, wordt de hoeveelheid voeding die de planten ontvangen dus voor een deel bepaald door de verdamping vanuit de grond. Dit heeft over het algemeen tot gevolg dat met name in de beginfase te veel voeding wordt toegediend waardoor een sterke verzouting in de bovenlaag van de potkult of teeltgrond optreedt. ■

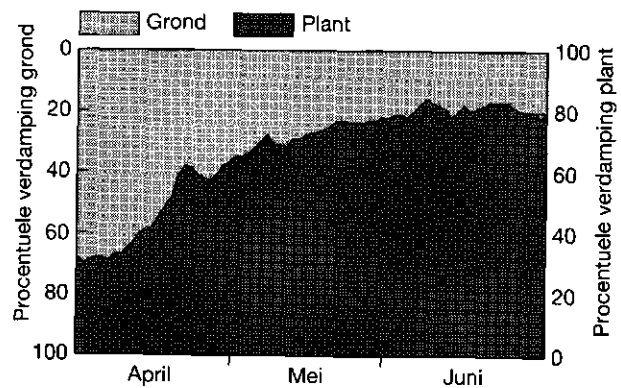
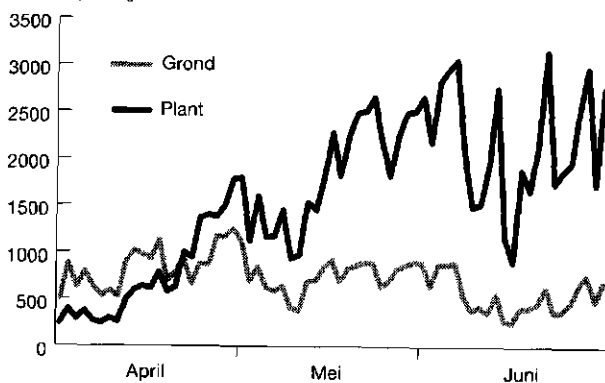
de grond op de totale verdamping. De gemeten verdamping van planten op eb/vloedtafels die continu van water werden voorzien, is weergegeven in de **figuur**. De verdamping vanuit de grond werd bepaald door bij een aantal planten de grond af te dekken. Bij aanvang van de teelt verdampte 80% van het water vanuit de grond en 20% vanuit de plant. Naarmate het gewas groeide, daalde het aandeel van de verdamping vanuit de grond tot circa 15%. Over de hele teelt ge-

meten verdampte eenderde van het water vanuit de grond.

Bij andere teelten en/of seizoenen kunnen deze waarden anders liggen. In een winter- en een andere voorjaarsteelt met *Ficus* lag de verdamping vanuit de grond op respectievelijk 42% en 19%. Minder frequent water geven resulteerde niet in een dalende verdamping vanuit de grond, maar de verdamping van de plant zelf nam wel af. Dit gold ook bij een hogere EC. De verdamping vanuit de

Verdamping bij een teelt van *Ficus benjamina* en de verdeling over de plant en de grond

Verdamping  
gram/m<sup>2</sup> per dag



# Calciumtransport het meest beïnvloed

*Voedingselementen worden in de plant vervoerd door de houtvaten en de zeefvaten. De luchtvochtigheid heeft aanzienlijke invloed op deze transportsystemen, en daarmee op de verdeling van voedingselementen.*

**G**roeiende en verdampende plantedelen, krijgen water en voedingselementen aangevoerd vanuit de houtvaten en de zeefvaten. Beide transportsystemen hebben een aparte functie. De houtvaten transporteren water en voedingsstoffen van de wortel naar de bovengrondse delen. De zeefvaten vervoeren - in sterk geconcentreerde vorm - suikers en voedingselementen van het blad naar de overige delen van de plant, waaronder groeipunten, bloemen en vruchten.

De plantedelen worden dus zowel door houtvaten als zeefvaten gevoed. Alleen de verhouding tussen de aanvoer door zeefvaten en houtvaten is sterk verschillend per deel van de plant.

Verdampende plantedelen, zoals bladeren en sommige delen van bloemen, krijgen relatief veel houtvatsap en weinig zeefvatsap. Door de grote verdamping ontstaat een sterke aanzuiging van water vanuit de houtvaten.

Plantdelen die weinig verdampen, zoals vruchten en ingesloten bladeren, krijgen door de veel lagere aanzuigende werking ook veel minder houtvatsap aangevoerd. Deze plantedelen krijgen in verhouding echter veel vocht en voeding (assimilaten) via de zeefvaten aangevoerd.

Hoeveel van elk voedingselement in een bepaald plantedeel terecht komt, hangt hierdoor van twee zaken af. In de eerste plaats telt de verhouding tussen de aanvoer vanuit de houtvaten en de zeefvaten. In de tweede plaats heeft de concentratie van het voedingselement in deze twee transportsystemen invloed.

## Samenstelling sapstromen

Alleen in de zeefvaten zitten assimilaten. Voor een goede groei is dus voldoende aanvoer vanuit de zeefvaten noodzakelijk. De aanvoer van voedingselementen is echter zeker zo belangrijk. Alle noodzakelijke elementen komen zowel in de zeefvaten als in de houtvaten voor, op één na. De concentraties voedingselementen

### Transport in de plant

- Calcium wordt alleen door houtvatsap vervoerd.
- Overige voedingselementen zijn zowel in de houtvaten als in de zeefvaten aanwezig.
- Bij een hoge luchtvochtigheid kan er te weinig calcium naar de bladeren gaan. Het gevolg is calciumgebrek.
- Worteldruk is belangrijk voor de calciumvoorziening van vruchten en groeipunten.

verschillen echter sterk tussen houtvaten en zeefvatsap.

Meestal is de concentratie voedingselementen in de zeefvaten hoger dan in de houtvaten. Er is echter een zeer belangrijke uitzondering: calcium. In zeefvaten komt helemaal geen calcium voor. In houtvaten varieert de Ca-concentratie tussen de 0,7 en 7 mmol per liter, afhankelijk van de omstandigheden.

## Hoge luchtvochtigheid zorgt voor meer calcium in de vrucht

Als plantedelen door weinig verdamping weinig houtvatsap, maar wel veel zeefvatsap aangevoerd krijgen, krijgen ze weinig calcium. Het planteweefsel kan dan wel voldoende groeien omdat het zeefvatsap assimilaten aanvoert. Er kan echter calciumgebrek ontstaan als er minder calcium wordt aangevoerd dan voor een goede celwandvorming noodzakelijk is.

## Belang worteldruk

Meestal bevat het houtvatsap meer voedingselementen dan het wortelmilieu. De



wortels kunnen namelijk actief voedingselementen opnemen. Door een bepaalde, zogenaamde membraanwerking, kunnen de voedingselementen wel de wortel binnengaan maar niet meer terug. Als de zouten eenmaal in de houtvaten van de wortel zitten, ontstaat daar dus een hoge concentratie.

Doordat water zich verplaatst van een lage naar een hoge zoutconcentratie, trekken de wortels water aan uit het wortelmilieu. Hoe lager de zoutconcentratie in het wortelmilieu, hoe makkelijker dit gaat. Het gevolg daarvan is dat, ook bij zeer weinig verdamping, de wortel toch water opneemt. Als er door een hoge luchtvochtigheid weinig of geen verdamping is, wordt het watergehalte in de houtvaten steeds groter. Zo groot, dat er een positieve druk ontstaat.

Met deze zogenaamde 'worteldruk' wordt het houtvatsap naar alle uiteinden van het houtvatenstelsel gestuwd. Daardoor krijgen ook de weinig verdampende plantedelen als vruchten calciumhoudend houtvatsap.

De worteldruk is dus van groot belang voor de calciumaanvoer, met name voor plantedelen die weinig verdampen. Alle omstandigheden die de opname van zouten door de wortels en de wateropname



Bij een hoge luchtvochtigheid kan het komkommerblad calciumgebrek krijgen. Er ontstaat dan bolblad

knoppen is niet precies bekend, omdat er tot nu toe geen calciumgebrek in bloemblaadjes of bloemknoppen is waargenomen. In knoppen van oogstrijpe rozen werden gehalten gemeten van 35 tot 110 mmol per kg droge stof.

Het is dus niet mogelijk om aan te geven, beneden welk Ca-gehalte een gebrek ontstaat. Dat verschilt sterk per plantedeel.

### Invloed luchtvochtigheid

Een hogere luchtvochtigheid beïnvloedt de transportsystemen op twee manieren. Door de lagere verdamping is er een afname van de hoeveelheid houtvatsap. Vooral plantedelen die normaal veel houtvatsap krijgen door hoge verdamping, krijgen nu dus minder en daarmee ook minder calcium aangevoerd.

Zo was bijvoorbeeld bij tomaat, geteeld bij een hoge luchtvochtigheid het Ca-gehalte in blad 280 mmol per kg droge stof. Blad van dezelfde leeftijd geteeld bij een lage luchtvochtigheid bevatte meer calcium, namelijk 360 mmol per kg droge stof. Een ander voorbeeld is komkommer. Bij een hoge luchtvochtigheid was het Ca-gehalte in het blad lager dan bij een lage luchtvochtigheid. Vooral in de bladrand was het gehalte relatief erg laag waardoor ernstig calcium-gebrek optrad.

Het tweede effect van een hoge luchtvochtigheid is de toename van de worteldruk, met name 's nachts. Plantedelen die weinig verdampen en dus houtvatsap krijgen onder invloed van worteldruk, krijgen dan juist meer houtvatsap en ook meer calcium. Zo was bij hoge luchtvochtigheid de calcium-aanvoer naar een tomatenvrucht 15 tot 20% hoger dan bij een lage luchtvochtigheid. Het gevolg van de hoge luchtvochtigheid was bovendien dat het calcium-gehalte in de 'neus' van de vrucht ruim 20% hoger was dan bij een lage luchtvochtigheid.

Een hoge luchtvochtigheid zorgt dus voor een groter calciumtransport naar de vruchten en bovendien een betere voorziening van de vruchtpunt. Hierdoor neemt de kans op neusrot af. De figuur geeft weer hoe calcium verdeeld wordt over verschillende plantedelen van tomaat na opname van radioactief gemerkt calcium gedurende 12 uur. Bij een hoge luchtvochtigheid in het donker krijgt het blad weinig Ca. Bij hoge luchtvochtigheid in het licht krijgt de vrucht iets meer Ca dan bij lage luchtvochtigheid. ■



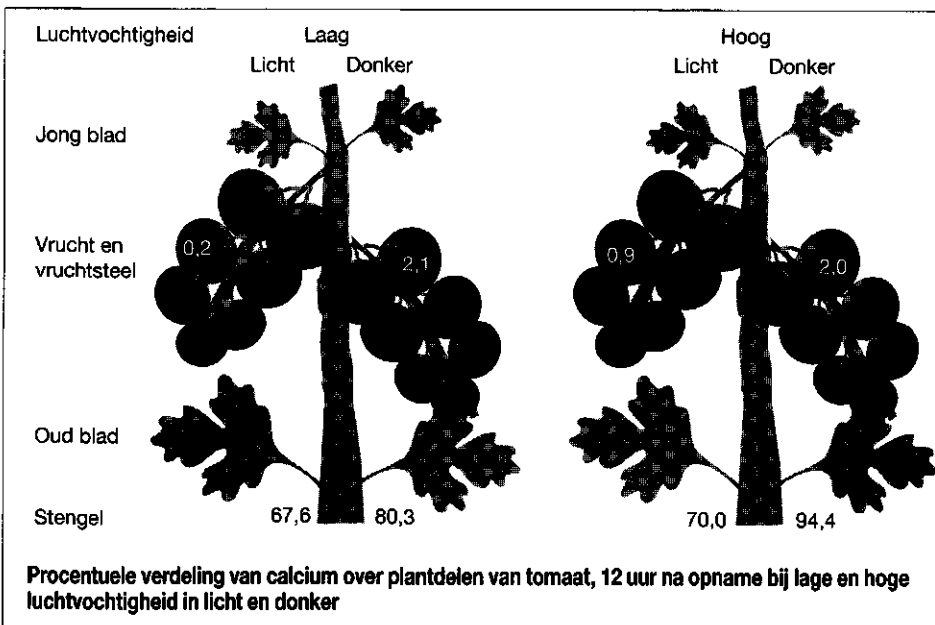
versnellen, zoals een lage EC, hoge worteltemperatuur, verhogen de worteldruk.

### Calciumbehoefte

Calcium is nodig voor celwanden en celmembranen. De behoefte van plantedelen is verschillend. In groeipunten en zeer jonge bladeren moet het Ca-gehalte

groter zijn dan circa 70 mmol per kg droge stof. Oude bladeren hebben meer dan 400 tot 600 mmol nodig, afhankelijk van de leeftijd. In vruchten moet het Ca-gehalte groter dan 20 tot 25 mmol per kg droge stof zijn, afhankelijk van het soort vrucht.

De behoefte van bloemblaadjes of-



# Vocht werkt op veel plantprocessen in

*Het effect van de luchtvochtigheid op de uiteindelijke produktie en kwaliteit hangt af van de invloed ervan op een groot aantal processen in de plant. Omdat niet elk proces op dezelfde wijze reageert, is het verband tussen deze klimaatfactor en groei zeer ingewikkeld. Dit artikel geeft de belangrijkste invloeden van de luchtvochtigheid in het kort weer.*

**S**ommige processen in de plant reageren snel op veranderingen in de luchtvochtigheid, zoals huidmondjesopening, verdamping en fotosynthese. Andere processen, bijvoorbeeld groei, produktie en kwaliteit, verlopen veel langzamer, zodat de effecten van veranderingen pas na langere tijd waarneembaar zijn.

Een proces in de plant dat snel reageert op een veranderende luchtvochtigheid is de opening van de huidmondjes. Huidmondjes gaan verder open bij een hoge luchtvochtigheid en sluiten zich bij een lage luchtvochtigheid. Deze reactie is al binnen enkele minuten waarneembaar en voor vrijwel alle gewassen gelijk. Als het vochtdeficit stijgt met 8 gram per m<sup>3</sup> wordt de opening 50% kleiner.

## Verdamping

Een ander proces dat vrij snel op de luchtvochtigheid reageert, is de verdamping. Een toename van het vochtverschil tussen blad en lucht met een factor 2 zou bij een gelijke huidmondjesopening leiden tot een verdubbeling van de verdamping. Omdat de huidmondjes zich bij het grotere vochtverschil echter iets sluiten, wordt de verdamping minder dan twee keer zo groot. Na verloop van tijd stelt zich een nieuw evenwicht in tussen verdamping, huidmondjesopening, vochtdeficit en bladtemperatuur. In de praktijk betekent dit dat overdag bij een verdubbeling van het vochtdeficit en een gelijke kasttemperatuur, de verdamping met ongeveer 15% toeneemt. De verdamping wordt dus maar ten dele geregeld door de huidmondjes.

Via de verdamping beïnvloedt de

## Vochtige lucht

- Huidmondjes reageren snel op een hogere luchtvochtigheid door zich verder te openen.
- Bij een hogere luchtvochtigheid wordt de verdamping kleiner, terwijl de fotosynthese weinig toeneemt.
- De groei verloopt in het algemeen beter bij een hogere luchtvochtigheid, maar als die te lang hoog blijft ontstaan negatieve bij-effecten.
- Hoe de luchtvochtigheid de kwaliteit beïnvloedt is afhankelijk van het gewas.

luchtvochtigheid ook de totale opname van mineralen en de verdeling daarvan binnen de plant. Met de waterstroom worden binnen de plant diverse mineralen getransporteerd. Bij veel verdamping is de totale opname van mineralen groter en gaat de waterstroom vooral naar de bladeren en minder naar de overige delen.

## Fotosynthese

Verder heeft de luchtvochtigheid via de reactie van de huidmondjes invloed op de fotosynthese. De fotosynthese is door het verder open gaan van de huidmondjes groter bij hogere luchtvochtigheden.

De invloed op de fotosynthese is echter veel kleiner dan op de verdamping. Dit komt doordat het vochtdeficit op de verdamping direct effect heeft en op de fotosynthese indirect. Het effect van de



luchtvochtigheid op de fotosynthese is bij een gelijk bladoppervlak ongeveer 5% bij variaties van het vochtdeficit tussen 1 en 7 gram per m<sup>3</sup>.

Een hogere luchtvochtigheid heeft dus een kleinere verdamping tot gevolg, terwijl de fotosynthese maar heel weinig toeneemt. Als deze situatie dagen tot weken achter elkaar blijft bestaan, worden andere effecten zichtbaar.

## Groei

In het algemeen groeien planten beter bij een hoge luchtvochtigheid. De vorming van zijscheuten verloopt wat sneller en bij een aantal gewassen worden grotere, dunnere bladeren aangelegd.

Bij komkommer geeft dit een duidelijk snellere toename van het totale bladoppervlak. Maar door een langdurig kleinere verdamping kan calciumgebrek in de bladeren ontstaan, wat juist een afname van het bladoppervlak geeft. Tomaat reageert wat dit betreft het sterkst. De hoeveelheid wortels daalt bij langdurig hoge luchtvochtigheid. Het kan zijn dat een gewas met minder wortels bij klimaatovergangen in de problemen komt, maar zeker is dat niet. Zo is bij paprika aangetoond dat een plotselinge halvering van het wortelstelsel geen merkbare invloed had op het gewas.

Het aantal huidmondjes per bladoppervlak neemt iets toe bij een langdurig hoge luchtvochtigheid. Dit heeft weinig effect op de verdamping en fotosynthese,

In het algemeen groeien planten beter bij een hogere luchtvochtigheid

## De belangrijkste processen

Door de fotosynthese worden assimilaten aangemaakt die gebruikt worden voor de vorming van droge stof. Een deel van de assimilaten gaat verloren via de ademhaling. De droge stof wordt verdeeld over de verschillende plantedelen. De hoeveelheid die naar het blad gaat bepaalt in belangrijke mate het bladoppervlak en daarmee weer de fotosynthese en de verdamping. Zowel de fotosynthese als de verdamping worden ook beïnvloed door de huidmondjesopening.

Voor de uiteindelijke produktie is het van groot belang welk deel van de plant geoogst wordt. Bij vruchtgroenten zijn dat alleen de vruchten, bij snijbloemen de stengel met bloem en/of blad, terwijl bij potplanten de totale plant geoogst wordt. Verschillen in produktie kunnen dus ontstaan door een verschil in totale hoeveelheid droge stof, de verdeling binnen de plant en het drogestofgehalte van het geoogste produkt.

Het effect van luchtvochtigheid op de uiteindelijke produktie en kwaliteit hangt dus af van de invloed op de verschillende processen in de plant.

Veel uitwendige afwijkingen zijn het gevolg van calciumgebrek of -overmaat. De invloed van de luchtvochtigheid hangt in die gevallen dus sterk af van de werkelijke oorzaak van de afwijking. Het calciumtransport naar organen die weinig verdampen, zoals vruchten en groeipuntten, wordt gestimuleerd door een hoge luchtvochtigheid, vooral 's nachts. Hierdoor neemt dus de kans op calciumgebrek af en op calciumovermaat toe.

Kelkverdroging bij aubergine is een gevolg van calciumovermaat. Het effect van de luchtvochtigheid is hier echter tegengesteld. De kelk is namelijk geen deel van de vrucht, maar eigenlijk een blad. Calcium wordt juist bij veel verdamping en dus bij een lage luchtvochtigheid naar de kelk getransporteerd.

Het is kortom sterk afhankelijk van het gewas hoe de luchtvochtigheid de kwaliteit beïnvloedt. Bovendien kunnen bij één gewas verschillende afwijkingen optreden onder volledig verschillende klimaatcondities. Het is daarom niet mogelijk algemene richtlijnen te geven over de invloed van luchtvochtigheid op de uitwendige kwaliteit. Gunstig voor het een kan zeer ongunstig zijn voor het ander. ■

maar vormt wel een extra invalspoor voor ziekten.

### Produktie

De uiteindelijke produktie is het resultaat van het totaal van de processen zoals weergegeven in de *figuur*. Bij de normaal in kassen voorkomende wisselingen in luchtvochtigheid wordt de produktie het meest beïnvloed door het effect op de fotosynthese en het totale bladoppervlak.

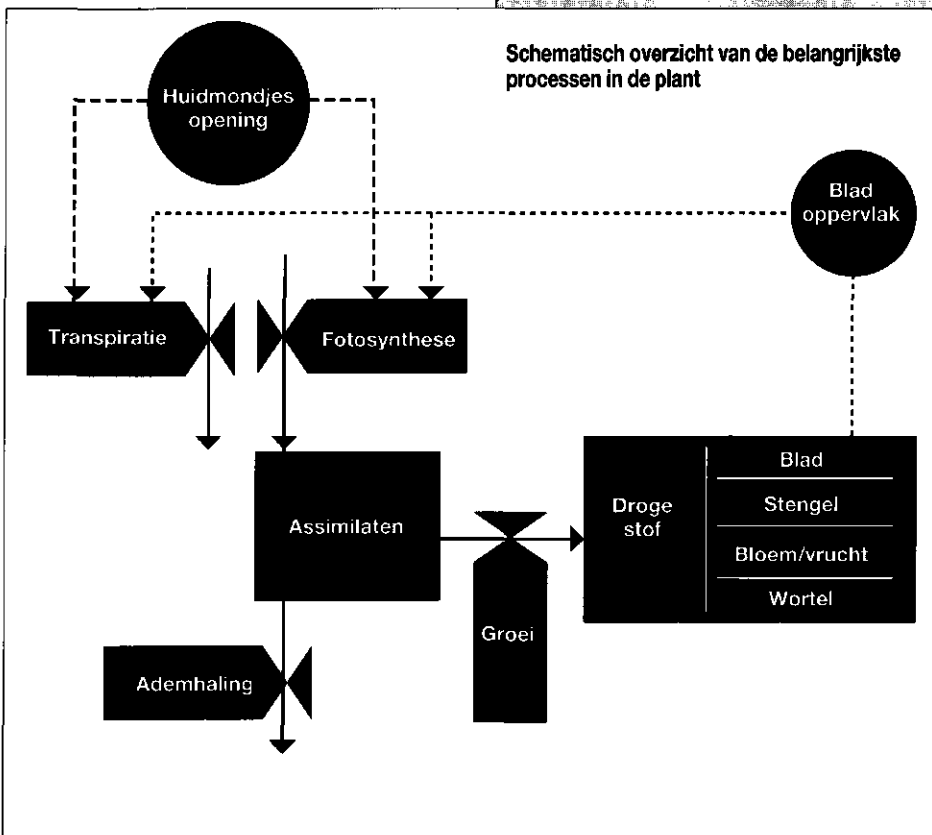
Bij vruchtgroentegewassen wordt de verdeling van de assimilaten en het drogestofgehalte van vruchten niet of slechts in zeer geringe mate beïnvloed. In elk geval geeft dit uiteindelijk geen produktieverschillen.

In extreme gevallen kan de vorming van vruchten bij een hoge luchtvochtigheid belemmerd worden door een slechte vruchtzetting.

### Kwaliteit

In het algemeen geldt dat de houdbaarheid van het geoogste produkt korter is als geteeld wordt bij een continu hoge luchtvochtigheid.

Ook de uitwendige kwaliteit kan slechter zijn. Zo is bij een hoge luchtvochtigheid de kans op een aantal schimmelinfecties groter. Schimmelaantasting heeft bij bladgroenten een negatief effect op de uitwendige kwaliteit. Bij vruchtgroenten speelt dit alleen als de vruchten aangetast zijn, bijvoorbeeld door Botrytisstip.



# Effect vocht op groei en ontwikkeling divers

*De invloed van een verandering van het kasklimaat op de groei is pas na verloop van tijd zichtbaar, omdat groei een relatief langzaam proces is. Bij de gewasontwikkeling spelen zaken als snelheid van bladafplitsing, bloemaanleg, bloeisnelheid, vruchtvorming en uitgroeiduur een rol. De invloed van de luchtvochtigheid op deze aspecten verschilt per gewas.*

Onder groei van planten wordt verstaan de (onomkeerbare) toename in afmeting en drooggewicht. Dit proces vindt plaats door de omzetting van assimilaten in bouwstenen van de plant, zoals cellwanden, en verloopt sneller bij hogere temperaturen.

## Vegetatieve groei

Bij veel gewassen (kas en vollegrond) treden de duidelijkste positieve reacties van groei op bij het verlagen van het vochtdeficit van 14 of meer gram per m<sup>3</sup> naar rond de 7 gram per m<sup>3</sup>. Bij 20°C komt dit ongeveer overeen met het verhogen van de rv van 20 naar 60%. Bij deze (zeer) lage luchtvochtigheden kan droogtestress ontstaan, waardoor de bladfotosynthese en bladstrekking sterk geremd worden. Hierdoor wordt de totale gewas-

## Invloed

- Bij een hoge vochtigheid ontstaat vaak een wat gerekt, welig gewas.
- De invloed op de wortelgroei is meestal gering.
- Bloei reageert per gewas zeer verschillend op luchtvochtigheid.

heid. Het bladoppervlak neemt in die gevallen dus toe door iets meer bladeren.

Bovendien wordt bij een aantal gewassen uit dezelfde hoeveelheid droge stof ook meer bladoppervlak gemaakt. Er worden dus grotere, maar ook dunnere bladeren gevormd. Deze reactie is het beste zichtbaar bij lage lichthoeveelheden. Bij komkommer is in het voorjaar gevonden dat uit een gram droge stof in het blad bij een hoge luchtvochtigheid 5 tot 7% meer bladoppervlakte ontstaat. Op die manier wordt de aanwezige droge stof efficiënt gebruikt om snel een grotere lichtonderschepping te realiseren. Dit is vooral belangrijk in de eerste fase van de groei totdat er een volledig gesloten gewas is ontstaan.

Ook de scheutgroei, zowel in lengte als in aantal, gaat sneller. Het makkelijker uitlopen van okselknoppen en zijscheuten is bij siergewassen vaak voordelig omdat een vollere plant ontstaat die kwalitatief aantrekkelijker is. Bij een gewas als tomaat zal extra gelet moeten worden op het bijhouden van dieven.

Zolang er geen schade door gebreksverschijnselen zoals calciumgebrek optreedt, is de positieve invloed van de luchtvochtigheid op de totale bladoppervlakte minder sterk dan op het aantal en



de lengte van de scheuten en bladstelen. Hierdoor ontstaat een wat gerekte, weligere gewasvorm. Dit geldt zowel voor groente- als voor siergewassen. Als er door de hoge luchtvochtigheid gebreksverschijnselen optreden, neemt het bladoppervlak vaak sterk af terwijl de scheuten en bladstelen wel langer worden.

De invloed van een bepaalde luchtvochtigheid gedurende langere tijd op de vegetatieve groei kan grofweg beschreven worden volgens een optimaal verloop zoals in de figuur. Bij continu lage luchtvochtigheid wordt de groei beperkt door remming van de bladfotosynthese en de bladgroei. Stijgt de luchtvochtigheid dan verloopt de groei beter. Boven een bepaalde waarde wordt de groei weer afgeremd door bijvoorbeeld het kleiner blijven van bladeren door gebreksverschijnselen. Voor elk gewas zal het optimum op een andere plaats liggen en bovendien meer of minder scherp zijn.

Veel gewassen hebben een redelijk breed optimum, dat wil zeggen een vrij groot gebied waarin de invloed van de

## Een hoge luchtvochtigheid is vaak positief voor de groei

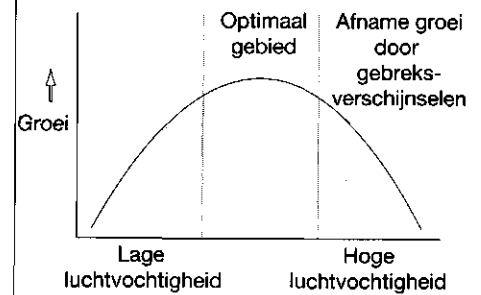
fotosynthese en dus de aanmaak van assimilaten kleiner en daarmee vermindert na verloop van tijd ook de groei.

De luchtvochtigheden waarbij deze reacties optreden, komen in kassen echter vrijwel nooit voor. Normaal gesproken is in kassen de invloed van de luchtvochtigheid op de bladfotosynthese erg klein. Toch zijn er ook in het gebied met hoge luchtvochtigheden effecten op de groei. Dit komt doordat de luchtvochtigheid de gewasfotosynthese wel kan beïnvloeden via de aanleg van meer of minder bladoppervlak.

Planten vormen meestal wat makkelijker bladeren bij een hoge luchtvochtig-

Voor elk gewas ligt de optimale luchtvochtigheid op een ander niveau

De invloed van luchtvochtigheid op de groei verloopt vaak volgens een zogenaamde optimumcurve



droge massa bij een hoge luchtvochtigheid 8,3 respectievelijk 4,5% in de wortels zat. Bij een lage luchtvochtigheid waren deze percentages 9,2 en 5,5%. Siergewassen reageren vergelijkbaar. Relatief gezien zijn dit verschuivingen van 10 tot 20%. Absoluut gezien hebben deze verschuivingen echter weinig invloed op de totale drogestofverdeling, omdat de wortels maar zo'n klein deel vormen van het totaal.

### Generatieve groei

De invloed van luchtvochtigheid op bloeisnelheid is zeer verschillend per gewas. Bij gewassen als paprika en komkommer worden de bloemen aangelegd in de bladoksels. Als de luchtvochtigheid de bladafplitsing beïnvloedt, wordt meestal een vergelijkbaar effect op de bloeisnelheid gevonden, omdat het aantal bloemen per oksel niet van de luchtvochtigheid afhankelijk is.

In gevallen waar de bloemen gevormd worden aan het einde van (zij)scheuten worden bij hoge luchtvochtigheid in totaal vaak meer bloemen gevonden door de sterkere uitloop van zijscheuten.

Onder extreem lage luchtvochtigheid kan bloem- en vruchtabortie optreden. Dit komt waarschijnlijk door de minder grote fotosynthese. Bloemknoppen en jonge vruchtjes kunnen onvoldoende concurreren met de meer volgroeide delen om de geringe hoeveelheid beschikbare assimilaten.

De luchtvochtigheid heeft verder invloed op het vrijkomen van stuifmeel en de hechting aan de stempel. Hiermee kan de vruchtzetting worden beïnvloed. De uitgroei duur van vruchten wordt niet beïnvloed door de luchtvochtigheid. ■

### Verklaringen

**Groei** is toename in afmetingen en drooggewicht.

**Ontwikkeling** is de snelheid waarmee organen (bladeren, bloemen) worden aangelegd.

**Bladfotosynthese** is fotosynthese per eenheid bladoppervlak.

**Gewasfotosynthese** is de totale fotosynthese van het hele gewas.

luchtvochtigheid op de groei gering is. Bij paprika is bijvoorbeeld geen invloed van luchtvochtigheid op de groei gevonden in het gebied met een vochtdeficit tussen 2 en 6 gram per m<sup>3</sup>.

Het is dus sterk afhankelijk van het gewas en de hoogte van de luchtvochtigheid of er een effect te verwachten is. Maar voor bijna alle kasgewassen geldt wel dat, zolang er in de plant geen gebreksverschijnselen optreden door de lagere transpiratiesnelheid, een hoge luchtvochtigheid altijd in meer of mindere mate positief is voor de vegetatieve groei.

### Wortelgroei

Wortels vormen bij de meeste kasgewassen slechts een gering aandeel van de totale plantmassa. Bij vruchtdragende tomaat in steenwol is dat bijvoorbeeld on-

geveer 5%. Er bestaat een zeker evenwicht tussen de hoeveelheid bovengrondse groei en de wortelgroei, waarbij niet alleen de hoeveelheid wortels, maar ook de mate van vertakking van belang is.

Over de invloed van luchtvochtigheid op wortelgroei en vertakking is weinig bekend. Algemeen wordt aangenomen dat er minder wortels gevormd worden bij een hoge luchtvochtigheid of een laag transpiratieniveau, doordat de waterbehoefte van het gewas dan minder groot is.

Net als bij de bovengrondse groei zijn de effecten het sterkst bij extreem lage luchtvochtigheid. Bij meer gematigde en hoge luchtvochtigheden in kassen is, in combinatie met een goede watervoorziening bij substraatteelt, de invloed op de wortelgroei meestal gering. Bij een producerend aubergine- en tomatengewas in steenwol is gevonden dat van de totale

# Vruchtgroenten reageren niet eender op vocht

*Over het algemeen groeien planten beter bij een hoge luchtvochtigheid. De bladfotosynthese is iets hoger maar of dit ook altijd leidt tot een hogere produktie verschilt sterk per gewas. Komkommer, tomaat, paprika en aubergine reageren in ieder geval alle vier anders op het vochtdeficit.*

De reacties van komkommer, tomaat, paprika en aubergine bij een vochtdeficit tussen de 1 en 6 gram per m<sup>3</sup> verschillen onderling sterk en zijn soms zelfs tegengesteld.

Komkommer is een gewas dat duidelijk meer produceert bij een hogere luchtvochtigheid. Bovendien vormt het gewas bij een hoge luchtvochtigheid sneller zij-scheuten, en de bladeren zijn groter en dunner. Het totale bladoppervlak neemt daardoor snel toe. Bij een continu hoge luchtvochtigheid (vochtdeficit 2-3 gram per m<sup>3</sup>) kan het bladoppervlakte toenemen met wel 10% ten opzichte van een lage luchtvochtigheid (vochtdeficit 5-6 gram per m<sup>3</sup>). Samen met de grotere huidmondjesopening bij hoge luchtvochtigheid leidt dit tot een hogere totale gewasfotosynthese. Dit speelt vooral in de beginfase van de teelt.

Bij een nog hogere luchtvochtigheid, met name overdag (vochtdeficit kleiner dan 2 gram per m<sup>3</sup>) treedt calciumgebrek op waardoor de bladoppervlakte afneemt. In extreme gevallen kan daardoor de uiteindelijke produktie dalen.

Bij een hoge luchtvochtigheid stijgt zowel het aantal vruchten als het vruchtgewicht, dit laatste vooral onder invloed van de luchtvochtigheid overdag. De verklaring hiervoor wordt gezocht in de iets hogere fotosynthese bij een hogere luchtvochtigheid. De extra vruchten zijn met name het gevolg van een grotere hoeveelheid bladoksels. De abortie hangt niet samen met de luchtvochtigheid en ook de uitgroeiduur van de vruchten is gelijk. De totale produktie wordt door deze effecten sterk beïnvloed door de luchtvochtigheid. Bij een continu lage luchtvochtigheid (vochtdeficit van 6 gram per m<sup>3</sup>; rv van 65% bij 21°C) is de gemiddelde produktie voor een aantal voorjaars- en herfstteelten ongeveer 20% lager dan bij

**Compromis zoeken**

- Voor een hoge produktie van goede kwaliteit moet voor komkommer en aubergine een compromis worden gezocht tussen een lage en een hoge luchtvochtigheid.
- De produktie van paprika reageert nauwelijks op luchtvochtigheid.
- Bij tomaat is een lage luchtvochtigheid gunstig voor een goede produktie.

een hoge luchtvochtigheid (vochtdeficit 3 gram per m<sup>3</sup>; rv van 85% bij 21°C).

## Tomaat

Ook bij tomaat speelt de invloed van de luchtvochtigheid op het bladoppervlak een grote rol bij de produktie. Tomaat reageert wat dit betreft het sterkst negatief op een hoge luchtvochtigheid. Bij een hoge luchtvochtigheid treedt in sterke mate calciumgebrek op in de bladeren. De bladeren die groeien gedurende een korte periode (een week) met zeer hoge luchtvochtigheid zullen duidelijk kleiner blijven. Bij een vochtdeficit van minder dan 3 gram per m<sup>3</sup> kan het bladoppervlak bij sommige trossen met 50% dalen vergeleken met bladeren die groeien bij een



Een van de kwaliteitsproblemen die optreden bij hoge luchtvochtigheid zijn zwelscheuren bij paprika.

vochtdeficit van 6-7 gram per m<sup>3</sup>. Als het gewas bij een hoge luchtvochtigheid wordt gezet groeien de eerste bladeren nog normaal uit maar hoger aan de plant worden ze steeds kleiner. Wordt de luchtvochtigheid weer verlaagd dan duurt het nog enige tijd voordat de bladeren weer normaal uitgroeien (figuur 1).

Bij tomaat worden de vruchten vooral gevoed met assimilaten uit bladeren in de directe omgeving van de tros. Blijven deze bladeren klein dan ontstaan aan de trossen in de buurt kleinere vruchten. Zo is het gemiddeld vruchtgewicht bij ronde tomaat bij een vochtdeficit van 3 gram per m<sup>3</sup> ruim 10% lager. Zolang het bladoppervlak niet daalt door calciumgebrek blijven de vruchten juist iets groter. Dit

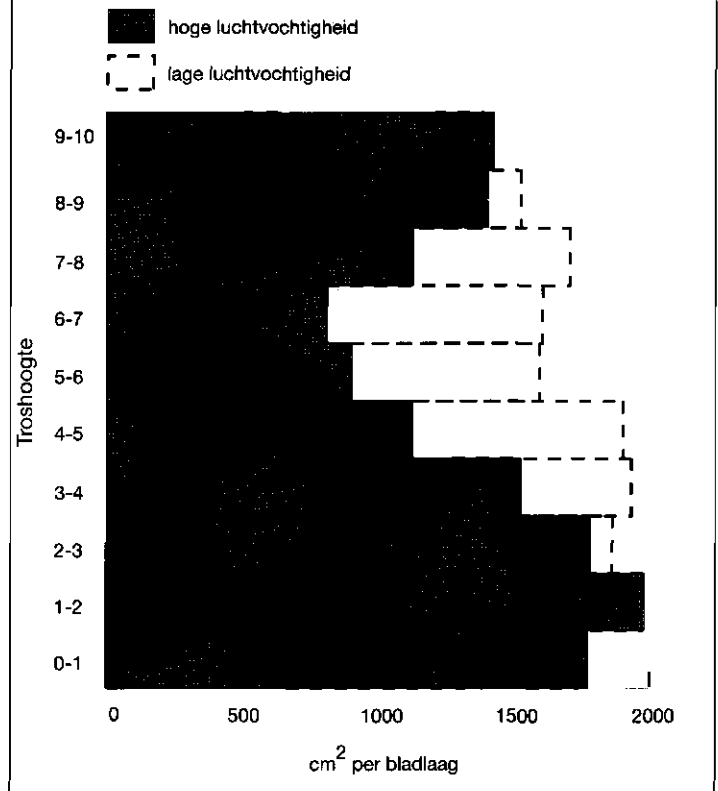
## Invloed van een hoge luchtvochtigheid bij vier vruchtgroenten

	Komkommer	Aubergine	Paprika	Tomaat
Totale produktie	+	0/-	0	-
Bladoppervlak	+	0	0	-
Aantal vruchten	+	-	0	0
Gemiddeld vruchtgewicht	+	+	0/+	-
Uiterlijke kwaliteit	-	+	-	-

+ = groter of beter bij hoge luchtvochtigheid  
 - = minder of slechter bij hoge luchtvochtigheid  
 0 = geen invloed

0/- = geen invloed tot licht negatief  
 0/+ = geen invloed tot licht positief

Invloed van hoge luchtvochtigheid op de bladoppervlakteverdeling bij tomaat. De hoge luchtvochtigheid heerst vanaf het begin van de teelt tot aan de ontwikkeling van de zevende tros



is vaak het geval bij de vroege produktie.

Bij continu hoge vochtigheid was het aantal vruchten dat niet uitgroeide ruim drie maal zo hoog als bij de hoge luchtvochtigheid. Dit komt in de eerste plaats door de slechtere assimilatievoorziening maar ook door de slechtere zaadzetting bij de hoge luchtvochtigheid. Door de geringere hoeveelheid zaden wordt de concurrentiepositie van deze vruchten kleiner. De slechtere zaadzetting is het gevolg van het slechter loskomen van stuifmeel. Bij een vochtdeficit van 2 gram per m<sup>3</sup> (rv 90% bij 20°C) komt slechts eenderde van de hoeveelheid stuifmeel vrij, vergeleken met een vochtdeficit van 8,5 gram per m<sup>3</sup> (rv 50% bij 20°C). De hoeveelheid vruchten wordt niet beïnvloed omdat de luchtvochtigheid geen effect heeft op de bloeisnelheid en de abortie van vruchten. Ook de uitgroeiperiode van de vruchten blijft onder verschillende luchtvochtigheden gelijk.

### Paprika

Bij paprika zijn in het gebied met een vochtdeficit van 2 tot 6 gram per m<sup>3</sup> geen duidelijke effecten van de luchtvochtigheid op de bladgroei aangetoond. Het aantal bladeren lijkt iets hoger te zijn bij een hoge vochtigheid overdag maar dit leidt niet toch een groter bladoppervlak.

Ook de bloei wordt nauwelijks beïnvloed. De hoeveelheid bloemen is iets ho-

ger bij een lagere luchtvochtigheid in de nacht terwijl de zetting beter is bij een hoge luchtvochtigheid overdag. Het resultaat is dat het aantal vruchten per plant iets hoger is bij een lage luchtvochtigheid tijdens de nacht. Dit geeft echter geen hogere totale produktie want het hoger aantal vruchten wordt gecompenseerd door een lager vruchtgewicht. De vruchten zijn iets fijner bij een lage luchtvochtigheid tijdens de nacht, wat de kans op zwelscheuren verkleint.

Opvallend is het duidelijke effect van de luchtvochtigheid op het aantal zaden. Bij de hoge vochtigheid overdag werden 30% meer zaden gevonden. Deze reactie is tegengesteld aan die van tomaat, waarvan het aantal zaden juist afneemt bij een hoge luchtvochtigheid. Dit hangt waarschijnlijk samen met de verschillende bloemvorm. Bij paprika zitten de meeldraden vrij open en is het effect op het vrijkomen van het stuifmeel minder sterk dan bij tomaat, waar de meeldraden meer in de bloem zijn opgesloten. Ook bij dit gewas is er geen invloed van de luchtvochtigheid op de uitgroei duur van de vruchten.

### Aubergine

Aubergine reageert wat betreft groei en bloei vrijwel gelijk als paprika. Er is geen duidelijke invloed op de bladoppervlakte en het aantal aangelegde bloemen. In de

herfst kan onder een hoge luchtvochtigheid het aantal vruchten dalen, maar stijgt het gemiddelde vruchtgewicht. Uiteindelijk geeft een hoge luchtvochtigheid toch een lagere totale produktie. Over het algemeen zijn de effecten van een hoge luchtvochtigheid bij aubergine op produktie afwezig of iets negatief.

### Consequenties

Naast de produktie spelen bij de keuze voor het aanhouden van een bepaalde luchtvochtigheid, ook uitwendige kwaliteit en houdbaarheid een rol. In de tabel zijn voor de vier vruchtgroenten de be-

## Invloed op produktie komt vooral door effect op het bladoppervlak

langrijkste zaken ten aanzien van produktie samengevat. Bij komkommer geeft een hoge luchtvochtigheid een hogere produktie maar loopt de kwaliteit terug, bij aubergine geldt juist het omgekeerde. Bij deze gewassen zal dus een compromis moeten worden gezocht tussen produktie en kwaliteit. Bij paprika kan de keuze van de luchtvochtigheid vooral worden gericht op de kwaliteit. Bij tomaat werkt een lage luchtvochtigheid zowel gunstig voor de produktie als voor de meeste uitwendige kwaliteitsaspecten. ■

# Eerste fase van de teelt vraagt veel vocht

*In de vermeerderingsfase zijn gewassen bijzonder gevoelig voor vocht. Beheersing van de luchtvochtigheid tijdens de opkweek en kort na het uitplanten is dan ook van groot belang voor een goede start. Goed uitgangsmateriaal vormt immers de basis voor een geslaagde teelt.*

In de glasgroenteteelt is zaaien nog altijd de meest voorkomende vermeerderingstechniek, hoewel weefselkweek steeds meer terrein wint. In mindere mate wordt gebruik gemaakt van stekken en enten. Deze laatste twee technieken zijn bij siergewassen aanzienlijk belangrijker dan bij groentegewassen.

## Kieming van zaad

De luchtvochtigheid heeft indirect invloed op de kieming van zaad. Om te kunnen kiemen moet zaad eerst vocht opnemen. Dit water wordt onttrokken aan het kiemmedium. Een vochtig kiemmedium bevordert de wateropname van het zaad en een geslaagde kieming. Als er vochttekort is, kan nog wel de kieming in gang worden gezet, maar blijft er onvoldoende water over om het kiemingsproces op gang te houden. Daardoor stopt het gestarte kiemingsproces waardoor de kiem tenslotte sterft.

Met name de vochtspanning van het kiemingssubstraat is belangrijk voor het kiemingspercentage. De vochtspanning mag niet te hoog zijn. Vochtige lucht, dus lucht met een hoge rv boven het substraat, verlaagt de vochtspanning van het medium. Droge lucht heeft een sterk uitdrogende werking. Het substraat verdampt dan zelf veel water waardoor de vochtspanning stijgt. De concurrentie om het beschikbare vocht tussen het net gekiemde zaad en het substraat wordt dan meestal in het nadeel van het kiemplantje beslecht.

Om de lucht boven het kiembed verzadigd te houden met vocht, kan het kiembed worden afgedekt met plastic.

Nadat de jonge kiemplantjes bovengronds zijn, gaan ze, onder invloed van straling en warmte, zelf verdampen. In een verzadigde atmosfeer (100% rv) gebeurt dit alleen als de bladtemperatuur,

## Vochtgehalte voortdurend bewaken

- De kieming van zaden verloopt vaak beter bij een hoge luchtvochtigheid.
- Onder extreme omstandigheden is verhoging van de luchtvochtigheid onvoldoende om uitdroging te voorkomen, schermen is dan noodzakelijk.
- Na het uitplanten moet zeer voorzichtig worden gelucht om een te grote vochtafvoer te voorkomen.
- Een hoge luchtvochtigheid in de beginfase bevordert de bladgroei.

en daarmee het vochtgehalte in het blad, hoger is dan de omringende lucht. De bladtemperatuur kan daardoor sterk oplopen. Daarnaast bestaat de kans dat condenswater van het plastic op het plantje neerslaat. Dat werkt het optreden van kiemziektes in de hand. Het is daarom beter het plastic te verwijderen, wanneer het grootste gedeelte van de zaailingen bovengronds staat. Dit moet geleidelijk gebeuren om te voorkomen dat de kiemplantjes, met een klein wortelstelsel, plotseling worden blootgesteld aan een relatief zeer droge omgeving.

## Weefselkweek

Bij vermeerdering via weefselkweek vormt de afharding en beworteling een belangrijke fase. Bij beworteling buiten de reageerbuis, wat goedkoper is en een beter vertakt wortelstelsel geeft, is beheersing van de luchtvochtigheid zeer belangrijk. Ministekken die uit de buis komen, zijn gewend aan een zeer hoge luchtvochtigheid. Een lage luchtvochtigheid kan al binnen enkele minuten de



dood veroorzaken. Voor een goede weggroei is een relatieve luchtvochtigheid van boven de 80% noodzakelijk.

## Stekken of enten

Een stek verkeert eigenlijk in een heel onnatuurlijke situatie. Het stekje heeft een groot probleem wat betreft de waterhuishouding. Door het ontbreken van wortels kan de stek geen water opnemen, terwijl de bladeren wel verdampen. Voor een goede beworteling is het dan ook van belang dat de stek zo weinig mogelijk water verliest. Direct na het stek steken moeten dan ook 'verdampingsremmende' maatregelen worden genomen, om de vochtvoorziening van de stek op peil te houden.

Alleen afdekken met plastic is meestal niet voldoende. In de zomer kan de temperatuur onder het plastic zeer hoog oplopen en stijgt ook de bladtemperatuur sterk. Hierdoor kan de stek toch nog relatief veel verdampen. Om de instraling te beperken kan daarom 's zomers beter ook geschermd worden boven de stektenten.



Eerste fase teelt vraagt veel vocht

Bij vermeerdering via weefselweek luistert de relatieve vochtigheid erg nauw



Een tweede mogelijkheid om de luchtvochtigheid boven stekken op peil te houden is het gebruik van nevelinstallaties of bevochtigingssystemen. Deze verhogen de waterdampdruk in de buurt van het blad, door het verdampen van het vernevelde water. Nevelinstallaties zorgen er tevens voor dat het blad met een dun waterlaagje wordt bedekt. Deze waterfilm gaat bij veel instraling verdampen en onttrekt hierbij warmte aan het blad. Het gevolg is dat de bladtemperatuur daalt, waardoor de verdamping van het blad zelf geremd wordt.

Ook bij enten is het voorkómen van verdroging van belang. De parenchymcellen van de aangesneden plantedelen zorgen voor de vergroeiing. Deze cellen hebben een zeer dunne celwand en drogen snel uit. Het is gebleken dat een waterfilm langs de vergroeiingsvlakken een betere callusvorming geeft dan alleen het handhaven van verzadigde lucht.

Onder zonnige omstandigheden is enkel het verhogen van de luchtvochtigheid

als middel om de verdamping van stekken en kiemplantjes te verminderen, onvoldoende. Er moet dan ook gebruik gemaakt worden van een zonnescherm.

### Na het uitplanten

Na de vermeerderingsfase komen de plantjes plotseling in een grote kas te staan. Een jong gewas verdampt nog weinig en is daardoor niet in staat de luchtvochtigheid op een hoog peil te houden. De maximale aanvoer van vocht door de verdampende bladeren, staat in geen verhouding tot de maximale afvoer van vocht. De verdamping uit de grond kan dit zelfs bij grondteelten niet compenseren. Bij veel substraatteelten is er helemaal geen extra vochtaanvoer.

Omdat in die situatie de vochtaanvoer door verdamping van het gewas erg laag is, zal zich bij een laag vochtgehalte in de kas een evenwicht instellen tussen de aan- en afvoer. Omdat bovendien het koelend effect van de verdamping gering is, ontstaat dus een warm droog klimaat. Het vochtverschil tussen blad en lucht

zal hierdoor dus extra groot zijn. De plantjes lopen in die situatie het risico dat de wateropname de verdamping niet kan volgen. De kans op verbranding is dan groot. Het is aan te bevelen in zulke situaties te broezen of gebruik te maken van een eventueel aanwezige nevelinstallatie. Met name onder zomerse omstandigheden met veel instraling kan het weggroeien van het jonge gewas hiermee worden bevorderd.

Het aanhouden van een hoge luchtvochtigheid in het begin van de teelt kan bijdragen aan een iets snellere groei. Bij tomaat, maar nog duidelijker bij komkommer, hebben hoge luchtvochtigheden in de beginfase iets grotere bladeren tot gevolg. Door de extra lichtonderschepping wordt meer van het licht benut voor de fotosynthese. Deze effecten zijn echter pas goed zichtbaar bij zeer hoge luchtvochtigheden (bij een vochtdeficit van 3-4 gram per m<sup>3</sup> of minder). Bij jonge planten is een dergelijke luchtvochtigheid meestal alleen te bereiken in zeer dichte, geschermdde, kassen. ■

# Invloed vocht bij veel gewassen nog wazig

*Over de invloed van luchtvochtigheid op de produktie van snijbloemen valt nog heel wat te leren. Toch heeft het onderzoek ook al een aantal interessante resultaten opgeleverd, waarmee in de teelt rekening kan worden gehouden.*

**D**e gevolgen van een hoge luchtvochtigheid kunnen zowel positief als negatief zijn. Dit is afhankelijk van ondermeer andere teeltfactoren of de cultivar. Bovendien kunnen effecten verschillen tussen de startfase, de vegetatieve fase en de bloei.

## Jong stadium

Een aantal siergewassen wordt via weefselkweek vermeerderd. De bewortelingsfase vindt vaak buiten de bus plaats. Het in-vitro gevormde weefsel is vaak niet in staat om de buitenomstandigheden te overleven omdat het zeer snel uitdroogt. Oorzaken hiervoor kunnen zijn het ontbreken van de waslaag, niet-functionerende huidmondjes of overmatige guttatie. De oorzaak kan van soort tot soort verschillen. Daarom worden de minstekken meestal bij een constante luchtvochtigheid van 80% of hoger geplant. De meeste gewassen vormen dan vrij snel wortels en nieuwe bladeren. Als het plantje groot genoeg is om verspeend te worden kan de luchtvochtigheid geleidelijk worden verlaagd. Nadat de plantjes zijn afgehard, zijn de in-vitro gevormde bladeren vaak verdroogd of verouderd.

Tijdens de eerste bewortelingsfase onder de hogere luchtvochtigheid is de verdamping van de blaadjes minimaal. Hierdoor blijft de waterbalans binnen de plant in evenwicht. Bij Gerbera remt dit het optreden van krulblaadjes. Dit heeft als voordeel dat de uitgroei van de plantjes sneller verloopt. Plantjes met krulblaadjes vertragen de uitgroei van de gerbera's na het verspenen met minimaal een week.

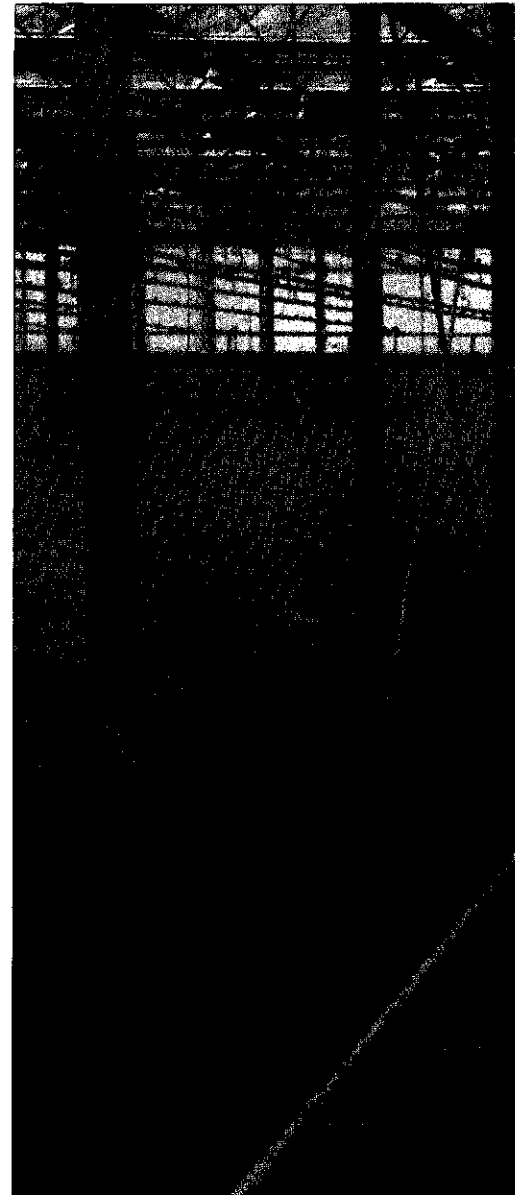
## Produktiefase

### Chryasant

Bij chryasant bleek tijdens de eerste fase een hoge luchtvochtigheid (vochtdeficit

- Groei is vaak beter bij hoge luchtvochtigheid.
- Hoge luchtvochtigheid geeft meer blad bij chryasant.
- Invloed hoge luchtvochtigheid bij roos is vooral in de zomer duidelijk.
- Bij goede watervoorziening en opname is de invloed van luchtvochtigheid waarschijnlijk gering.
- Invloed luchtvochtigheid is sterk afhankelijk van de cultivar.
- 'Vochtsparen' is belangrijker voor CO<sub>2</sub> dan voor vocht.

0,8 tot 1 g per m<sup>3</sup> bij 22/15°C dag/nacht) een snellere groei te geven dan een lage luchtvochtigheid (vochtdeficit 7 tot 10 g per m<sup>3</sup>). Het aantal zij scheuten en bladeren aan zij scheuten en totale bladoppervlak werd hoger bij een hoge luchtvochtigheid. Omdat bij chryasant de bloemen worden gevormd aan het einde van (zij)scheuten, worden bij hoge luchtvochtigheid ook meer bloemknoppen gevonden door de sterkere uitloop van zij scheuten. Bovendien neemt de plantlengte toe. In Engels onderzoek is gekeken naar de invloed van luchtvochtigheid op de periode vanaf start van de korte-dagbehandeling tot bloei. Bij een cultivar die onder normale omstandigheden 10 weken na de start van de korte-dagbehandeling bloeide, werd deze periode 7 tot 10 dagen langer bij een continu zeer hoge luchtvochtigheid (vochtdeficit minder dan 1,5 g per m<sup>3</sup>) tijdens de korte-dagbehandeling. Evenals bij andere gewassen werden bij de hoge luchtvochtigheid relatief minder wortels gevormd. Bij een verhoging van de luchtvochtigheid van 60% naar 90% was de totale produktie hoger als gevolg van een betere lichtonderschepping door meer bladoppervlak.



### Roos (winter)

In Canadees onderzoek is de invloed van een hoge constante luchtvochtigheid, bereikt met een vernevelingsinstallatie, vergeleken met een wisselende, niet-geregelde, luchtvochtigheid. Hiervoor zijn zes verschillende cultivars gebruikt. De temperatuur was gelijk, gemiddeld 23,9°C overdag en 16,8°C 's nachts. Het vochtdeficit was bij de constant hoge luchtvochtigheid overdag gemiddeld 4,5 g per m<sup>3</sup> en 's nachts 3 g per m<sup>3</sup> (gemiddelde RV van 82%). Bij de wisselende luchtvochtigheid was deze gemiddeld aanzienlijk lager (RV 69%) met bovendien veel grotere schommelingen.

Onder lichtarme omstandigheden (winter) nam de produktie van roos niet toe bij een hogere luchtvochtigheid. Alleen in combinatie met assimilatiebelichting in de winter gedurende 18 uur is een lichte toename van de produktie bij hogere luchtvochtigheid waargenomen.

**Bij chrysanten geeft een hoge luchtvochtigheid tijdens de eerste fase van de teelt een snellere groei**

hogere luchtvochtigheid in de kas met de constante RV was deze gemiddeld 1,5°C kouder, namelijk 26,7°C tegenover 28,3°C in de variabele kas.

### Beperkende factoren

Waarschijnlijk heeft een hogere luchtvochtigheid alleen een verhoging van de productie tot gevolg als de wateropname of -toevoer naar de wortels beperkend is. Dit zou een verklaring kunnen zijn waarom de luchtvochtigheid onder lichtarme omstandigheden weinig effect heeft. Onder zomerse (lichtrijke) omstandigheden zal (bodem)vocht eerder de beperkende factor zijn voor groei dan in de winter. Bij verscheidene cultivars is een verschil in de mate van productieverhoging waargenomen. Bij chrysant werden eveneens cultivarverschillen gevonden.

### 'Vochtsparen'

In de praktijk wordt nu geëxperimenteerd met 'vochtsparen'. Naarmate de lichtintensiteit op de dag hoger wordt, wordt de ventilatietemperatuur hoger gekozen, zodat de ramen niet verder opengaan. Dit beperkt de afvoer van vochtige lucht uit de kas, waardoor de luchtvochtigheid wat hoger kan blijven. De temperatuur loopt door deze maatregel echter ook op. Belangrijker is dat het CO<sub>2</sub>-gehalte op een hoger niveau wordt gehandhaafd waardoor de fotosynthese sneller verloopt. Gezien het geringe effect van de luchtvochtigheid op de fotosynthese is het onwaarschijnlijk dat dit een positief effect heeft. De eventuele groeiwinst van 5 tot 7 dagen die is gezien bij een vegetatief gewas, is daarom zeer waarschijnlijk niet het gevolg van een hogere luchtvochtigheid maar van de hogere CO<sub>2</sub>-concentratie.

'Vochtsparen' is eigenlijk dus een verkeerde term voor wat in feite wordt bedoeld. Tot nu toe zijn nog geen betrouwbare gegevens beschikbaar die aangeven of en zo ja, wanneer verhogen van de luchtvochtigheid werkelijk zinvol is. Wel is gebleken dat gedurende een lange tijd hoge luchtvochtigheid de bloei juist kan vertragen. ■

### Roos (zomer)

Onder zomerse, dus lichtrijke, warme omstandigheden reageren rozen verschillend op een verhoging van de luchtvochtigheid. Dit hangt ondermeer samen met de overige klimaatomstandigheden in de experimenten, zoals temperatuur en watervoorziening bij de wortels, maar ook van de gebruikte cultivar.

Verhogen van de luchtvochtigheid door luchtbevochtiging leidt in de zomer tot lagere temperaturen in de bevochtigde kassen ten opzichte van kassen zonder verneveling. De verlaging van de temperatuur in onderzoekskassen lag meestal tussen 1,5 en 2°C terwijl soms ook de hoeveelheid straling in de kas daalde met circa 8%. Ondanks de lagere temperatuur en minder licht was de opbrengst in stuks en kwaliteit van de rozen minimaal gelijk aan die van niet-vernevelde kassen.

Een constante luchtvochtigheid gedurende de zomer leidde bij de cultivars 'Royalty' en 'Samantha' tot een duidelijk hogere

productie dan in een vergelijkbare kas waar de planten met een wisselende RV werden opgekweekt (zie tabel). Zowel het aantal geoogste rozen per plant als de lengte van de geoogste rozen nam toe. De verhoging bleek afhankelijk van de gebruikte cultivar. Bij de constant gehouden luchtvochtigheid werden de bladeren groter. De luchtvochtigheid was in de 'constante' kas gemiddeld over de zomer 79%. Dit was hoger dan bij de wisselende RV, die tussen 30 en 80% schommelde en gemiddeld op 55% lag. Als gevolg van de

### Invloed van de luchtvochtigheid op de productie en uiterlijke kenmerken van roos in de zomer.

Cultivar	Royalty		Samantha	
	constante (hoge) RV	wisselende (lage) RV	constante (hoge) RV	wisselende (lage) RV
Aantal bloemen	5,5	4,8	3,9	3,1
Lengte (cm)	49,7	44,6	52,2	49,3
Bladoppervlak (cm <sup>2</sup> )	526,0	248,0	566,0	326,0
Internodiënlengte (cm)	7,5	5,1	7,1	5,7

# Hoge luchtvochtigheid vaak positief voor groei

*Bij kamerplanten heeft verhoging van de luchtvochtigheid vaak een positieve invloed op de groei. Voor een goed totaalprodukt zijn echter ook de effecten op de sierwaarde en houdbaarheid van groot belang. In een tijd, waarin steeds meer wordt gebruikgemaakt van verneveling is het van belang ook deze aspecten in de gaten te houden.*

**K**amerplanten kunnen vaak met meer licht worden geteeld dan in het algemeen wordt aangenomen, ook in de zomer. Steeds vaker wordt geprobeerd met zo min mogelijk krijt en optimaal gebruik van beweegbare schermen en luchtbevochtiging, de zomer zonder problemen door te komen. De laatste tijd is veel onderzoek gedaan naar de invloed van verneveling op de groei, ontwikkeling en kwaliteit van potplanten in de zomer.

Toepassen van een luchtbevochtigingsinstallatie heeft een grote invloed op het kasklimaat. Zo was bijvoorbeeld de gemiddelde kasttemperatuur overdag in onderzoekskassen 3 tot 4°C lager terwijl de maximum temperatuur ongeveer 6°C lager was. Zonder verneveling daalde de relatieve luchtvochtigheid overdag tot gemiddeld 50%. Bij verneveling was dit gemiddeld 65 tot 75%. De hierna beschreven gewasreacties onder verneveling zijn dus altijd het gevolg van een combinatie van de invloed van luchtvochtigheid en temperatuur.

## Groei en produktie

Bij veel van de onderzochte gewassen (Cordylone, Dieffenbachia, Guzmania en Nephrolepis) heeft verneveling een duidelijk positieve invloed op de groei. De planten worden zwaarder en groter dan planten uit afdelingen zonder verneveling. Bij Codiaeum zijn geen groeiverschillen gevonden terwijl bij Ficus wel de trend (meer groei door verneveling) aanwezig was, maar niet betrouwbaar.

Relatief droog telen (door minder frequent water te geven) in combinatie met niet-vernevelen (lage relatieve luchtvochtigheid en hoge maximum temperatuur) remt de groei bij Cordylone en Spathiphyllum. Bij Dieffenbachia en Begonia heeft vernevelen in combinatie met een

- Een hoge luchtvochtigheid geeft bij veel potplanten een betere groei.
- Bij Dieffenbachia en Spathiphyllum hangt de invloed van de luchtvochtigheid af van de EC of de watergeeffrequentie.
- De houdbaarheid van de meeste potplanten is slechter door een hoge luchtvochtigheid tijdens de teelt.
- Afharden door een lage luchtvochtigheid tijdens de laatste weken van de teelt bevordert de houdbaarheid van Begonia en Ficus.

hoge EC een positief effect op de groei. Zonder vernevelen veroorzaakt een hoge EC een sterke groeiremming.

Ook in ander luchtvochtigheidsonderzoek is een positieve invloed gevonden op de groei. Zo worden bij Saintpaulia en poinsettia meer en ook grotere bladeren aangelegd onder een hoge luchtvochtigheid. Bij Begonia worden ook grotere bladeren aangelegd maar neemt het aantal niet toe. Bij Begonia en poinsettia neemt ook de scheutlengte toe bij een hogere luchtvochtigheid.

## Sierwaarde

Bij Cordylone 'Red Edge' wordt door verneveling de bladkleur beter (roder) maar bij Codiaeum juist minder (groener). Bij Guzmania krijgt de bloeiwijze meer kleur (wordt roder) bij verneveling. Door verneveling komt aanzienlijk minder bladverbranding voor bij Guzmania en Dieffenbachia. Dieffenbachia vormt meer zij-scheuten. Yucca's hebben bij verneveling meer last van halfronde beschadigingen aan de rand van het blad ('manen'). Gele bladranden komen echter juist minder voor dan zonder verneveling.



Een hoge luchtvochtigheid kan ook de bloei duidelijk beïnvloeden. Bij Saintpaulia neemt het aantal bloemen en knoppen toe bij een hoge luchtvochtigheid en wordt de periode tot bloei korter. Deze laatste reactie treedt ook op bij Begonia.

De sierwaarde van kamerplanten kan nadelig worden beïnvloed door glazigheid en rand. Deze verschijnselen ontstaan onder omstandigheden met een hoge luchtvochtigheid (lage verdamping) en een grote wateropname (hoge wortelactiviteit). Glazigheid kan ontstaan bij een groot aantal gewassen, zoals Anthurium, Ficus, Calathea, Asplenium en Rhipidophora. Als glazigheid lang duurt, sterven door zuurstofgebrek cellen af waardoor bruine bladvlekken ontstaan die de sierwaarde blijvend verminderen.

Een hoge luchtvochtigheid tijdens teelt of transport verhoogt ook de kans op Botrytis. Op de bloemen ontstaat smet of pokken. In ernstige gevallen is zelfs sprake van het volledig uitvallen van bloemen of afsterven van planten. Hierdoor wordt de sierwaarde ernstig verminderd. Bekende voorbeelden zijn (pot-) chry-



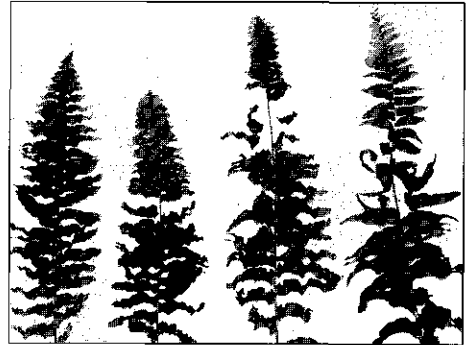
Verneveling kan bladnecrose veroorzaken bij Dieffenbachia

houdbaarheid. De knoppen bleven onder huiskameromstandigheden aan de plant en kwamen goed open. Een hogere luchtvochtigheid (13,9 g per m<sup>3</sup> bij 18°C; 90% RV) gaf minder knoppen en bovendien meer knopval en minder bijgroei van knoppen (doorbloei).

Bij irissen geeft een hoge luchtvochtigheid, met name in het laatste deel van de trek, bleke bloemen. Deze komen op de vaas minder goed open dan bloemen met een goede kleur. Bovendien hebben ze een korter vaasleven. De bloemen zijn beter als ze tijdens de kasperiode meer verdampen (bij meer licht en/of lage luchtvochtigheid).

De houdbaarheid van Ficus benjamina 'Starlight', een bontbladige cultivar,

Bij Nephrolepis treedt meer bladruï op als verneveling is toegepast



sant, roos, Saintpaulia, Gerbera, Begonia en poinsettia.

### Houdbaarheid

Veel teeltfactoren, zoals grond- en luchttemperaturen, luchtvochtigheid, bemesting en lichtintensiteit hebben invloed op de houdbaarheid van siergewassen. Tot

nu toe wordt aangenomen dat bij normale teeltwijze, de kasklimaatfactoren de grootste invloed op de houdbaarheid hebben.

Bij Begonia geeft een lage luchtvochtigheid (7,7 g per m<sup>3</sup> bij 18°C; 50% RV) tijdens de laatste weken van de teelt planten met een mooier uiterlijk en een betere

wordt minder door verneveling. Bovendien treedt meer bladval en -verbruining op. Bij Nephrolepis is ook een verminderde houdbaarheid gevonden bij verneveling terwijl ook meer bladruï en -vergeeling werd gevonden. Bij een tweede onderzoek ontstonden echter geen verschillen. Bij Dieffenbachia is de invloed van verneveling op de houdbaarheid onduidelijk. Tot nu toe zijn in het onderzoek tegengestelde resultaten gevonden. Wel is meer necrose (bladverbranding) gevonden bij toepassing van verneveling.

### Afharden

Bij Ficus benjamina 'Starlight' is onderzocht of het mogelijk is planten te laten afharden door ze aan het einde van de teelt bloot te stellen aan, voor de plant, minder gunstige omstandigheden. Door vier weken voor het afleveren te stoppen met verneveling wordt de houdbaarheid verbeterd (minder bladverbruining en -val). Het aantal weken afharden dat noodzakelijk is voor een verbeterde houdbaarheid is nog niet helemaal duidelijk. Twee weken lijkt echter te kort voor een plant om zich goed aan te passen. ■

### Invloed van verneveling op een aantal plantkenmerken bij verschillende gewassen.

+ = meer of beter bij verneveling

- = minder of slechter bij verneveling

0 = evenveel of evengoed met/zonder verneveling

lege vakjes = niet gemeten of niet van toepassing

	Vg	Dg	Ds	D	H	Bl	Kl	Sch
Codiaeum	0	0	0		0	0	-	
Cordylina	0	+	+		0	0	+	
Dieffenbachia	1	1	0		0	0		+
Ficus	+	0	-		+		0	
Guzmania	+	+	0	+		+		
Nephrolepis	+	+	0	+	+			
Spathiphyllum	2	0	0		2			

1: positief bij hoge EC, bij lage EC geen effect

2: positief bij 'nat' telen, minder effect bij 'droog' telen

Vg=versgewicht

H=planthoogte

Kl=kleur

Dg=drooggewicht

D=plantdiameter

Sch=zijscheuten

Ds=droge-stofgehalte

Bl=aantal bladeren

# Blad lijdt van storing in waterhuishouding

*Gewoon rand, droogrand en glazigheid zijn voorbeelden van fysiogene afwijkingen.*

*Ze ontstaan door een storing in de waterhuishouding. Een niet optimale luchtvochtigheid kan mede oorzaak zijn van deze misvormingen aan bladeren.*

**F**ysiogene afwijkingen zijn bijna nooit enkel en alleen te wijten aan een te hoge of te lage luchtvochtigheid. Er zijn veel meer factoren die de waterhuishouding van de plant beïnvloeden. Een paar belangrijke factoren zijn de EC in het wortelmilieu, blad- en luchttemperatuur, groeisnelheid, raseigenschappen, het verleden van de plant of de gevoeligheid voor een verandering in de groei-omstandigheden. Vrijwel altijd is het een combinatie van factoren die de afwijking veroorzaakt. De verschillende factoren kunnen elkaar versterken, maar ook tegenwerken.

De waterhuishouding heeft grote invloed op de opname en de verdeling van calcium in de plant. Vandaar dat fysiogene afwijkingen vaak samengaan met een afwijkende calciumopname en calciumverdeling.

## **Te hoge luchtvochtigheid**

Veel bladafwijkingen vinden hun oorzaak in een te hoge luchtvochtigheid **Glazigheid in sla.** Bij glazigheid in sla is het blad plaatselijk verzadigd met wa-

## **Glazigheid en rand treden op bij verschillende luchtvochtigheden**

ter, vooral aan de rand. Kenmerkend voor glazigheid is dat de plekken zijn begrensd door de nerven. De plekken zijn lichter groen dan de rest van het blad en enigszins 'doorzichtig'; ze hebben een glazig uiterlijk. Glazigheid komt voor van november tot en met februari. Als de verdamping toeneemt, kan het symptoom na enkele uren verdwijnen. Is het op een bepaalde plaats langdurig aanwezig, dan sterft het weefsel tenslotte af.

### **Afwijkingen aan bladeren**

- Fysiogene afwijkingen aan bladeren hangen samen met de water- en calciumvoorziening.
- Glazigheid ontstaat door hoge worteldruk en lage verdamping.
- Bladrandjes bij tomaat en bolblad bij komkommer komen voor bij hoge luchtvochtigheid.
- Een lage luchtvochtigheid remt de calciumaanvoer naar het hart van de plant bij sla, andijvie en Chinese kool, zodat gewoon rand kan ontstaan.

Glazigheid treedt op als de wateropname groter is dan de verdamping. Daardoor wordt celvocht uit de cellen in de intercellulaire ruimten geperst. Een grote wateropname ontstaat onder andere door een lage EC en een hoge temperatuur in het wortelmilieu. Een lage verdamping kan ontstaan door een grote uitstraling tijdens een heldere nacht. Hierdoor daalt de bladtemperatuur, waardoor de verdamping afneemt of zelfs negatief wordt. Dat wil zeggen dat condensatie optreedt. Als de heldere nacht wordt gevolgd door een sombere dag, is de verdamping ook overdag gering. Een hoge luchtvochtigheid bevordert glazigheid omdat het de verdamping vermindert. Glazigheid kan worden tegengegaan door met name 's nachts de verdamping te stimuleren en/of de wateropname te verminderen. Met stoken en luchten wordt de verdamping gestimuleerd, door het verhogen van de EC in het wortelmilieu wordt de wateropname vermindert.

Ook bij andijvie, kool en komkommer



kan glazigheid optreden. Bij komkommer echter alleen bij een lage EC in het wortelmilieu.

**Nerfrand in sla.** Jonge bladeren of bladeren die de krop omsluiten, krijgen aan de buitenrand soms zwarte nerven. Dit wordt nerfrand genoemd. Vanuit de nerven wordt vocht uit de cellen gedrukt. De aantasting treedt vaak op na een periode van vochtig en donker weer. De oorzaak van nerfrand is hetzelfde als die van glazigheid.

**Bladrandjes bij tomaat** zijn 'witachtige' randjes aan het uiteinde en de punten van het blad. Het symptoom komt voor in februari en maart aan bladeren van jonge tot middelmatige leeftijd; dus niet bij de allerjongste, maar ook niet bij de oudste bladeren. Het weefsel sterft na verloop van tijd af en wordt gemakkelijk aangetast door Botrytis.

De oorzaak van bladrandjes is een te lage verdamping, waardoor het blad te weinig calciumhoudend houtvatsap krijgt aangevoerd. Plaatselijk ontstaat



#### Glazigheid treedt op bij een geringe verdamping

bladeren, vooral bij zonnig weer na een periode met veel bewolking. De buitenste bladeren zuigen veel calciumhoudend houtvatsap weg, waardoor de binnenste bladeren te weinig calcium krijgen. Als de groeisnelheid toeneemt en bij sla de krop zich gaat sluiten, kan het zijn dat de binnenste bladeren te weinig calcium bevatten voor een goede opbouw van celwanden en celmembranen.

Bij sla speelt de luchtvochtigheid slechts een kleine rol, maar bij Chinese kool heeft de luchtvochtigheid 's nachts een grote invloed. Bij hoge luchtvochtigheid 's nachts is de aantasting door gewoon rand slechts een kwart vergeleken met een lage luchtvochtigheid. Bij hoge luchtvochtigheid is de verdamping name-

**Droogrand ontstaat doordat er plaatselijk meer water verdampst dan er wordt aangevoerd**



calciumgebrek. De remedie hiertegen is de verdamping te stimuleren, dus meer luchten en stoken. Alleen het verhogen van het calciumgehalte in het wortelmilieu is niet voldoende.

**Bolblad bij komkommer.** Bij komkommer treedt vaak bolblad op.

Het blad is niet vlak maar bol doordat de bladranden niet uitgroeien. Aan de rand van het blad is de calciumaanvoer te laag geweest voor de vorming van goede celwanden en celmembranen. Bij de latere uitgroei van het blad groeit het binnenste gedeelte wel uit maar de randen niet. Daardoor trekt het blad krom. Bij bolblad is in de bladrand het calciumgehalte duidelijk lager dan bij gezond blad.

Een hoge luchtvochtigheid remt de verdamping waardoor de kans op bolblad toeneemt.

#### Te lage luchtvochtigheid

Bladeren lijden ook van een lage luchtvochtigheid.

**Droogrand bij sla en andijvie.** Kenmerkend voor droogrand bij sla en andijvie is het ontstaan van geelbruine plekjes langs de rand van de buitenste oude bladeren (twee tot drie kransen). De geelbruine plekjes worden later groter. Het symptoom treedt op in een bijna volgroeid gewas. De schade valt meestal mee.

Droogrand treedt op doordat de buitenste bladeren meer water verdampen dan wordt aangevoerd. Daardoor droogt het weefsel. Het symptoom doet zich vooral voor in de buurt van laag liggende verwarmingsbuizen.

**Gewoon rand bij sla, kool en andijvie.** Bij gewoon rand bij sla, kool en andijvie hebben de binnenste bladeren, die de krop of het hart omsluiten, donkerbruine randjes. De plekken zijn grillig van vorm en niet begrensd door nerven zoals bij glazigheid. Het weefsel is volledig afgestorven en wordt gemakkelijk aangetast door *Botrytis*. De oorzaak is een sterke verdamping van de buitenste

lijk gering. Er kan dan voldoende worteldruk worden opgebouwd zodat calciumhoudend houtvatsap naar de binnenste bladeren stroomt. Daarom is het calciumgehalte van de binnenste bladeren bij een hoge luchtvochtigheid hoger.

Onderzoek heeft aangetoond dat de binnenste bladeren van Chinese kool bij een lage luchtvochtigheid 's nachts, een calciumgehalte hebben van circa 100 mmol per kilogram droge stof. Bij een hoge luchtvochtigheid was het calciumgehalte twee keer zo hoog. Door de luchtvochtigheid 's nachts te verhogen wordt de kans op rand bij Chinese kool kleiner. Bij sla is uitsluitend een hoge luchtvochtigheid onvoldoende om gewoon rand volledig te voorkomen. Dat komt omdat de hoge luchtvochtigheid ook de groeisnelheid verhoogt. De calciumbehoefte in de binnenste bladeren wordt daardoor ook groter. Hierdoor blijft de verhouding tussen de aanvoer van calcium en de behoefte aan calcium nog te laag en kan toch rand ontstaan. ■

# Onjuist calciumgehalte geeft problemen

*Veel fysiogene afwijkingen in vruchten zijn het gevolg van een tekort of juist een overmaat aan calcium en worden altijd veroorzaakt door een storing in de vochtuithouding. Hierbij speelt de luchtvochtigheid een rol, in veel gevallen in combinatie met de voeding en de kastemperatuur.*

**V**ruchten verdampen nauwelijks. Vanzelfsprekend wordt dan ook weinig water met calcium via de houtvaten aangezogen. Daardoor kan een tekort aan calcium ontstaan. Via de worteldruk is het mogelijk meer calcium in de vruchten te brengen. Soms zelfs te veel.

## Neusrot en klappers

Neusrot bij tomaat en paprika en klappers bij aubergine zijn het gevolg van een plaatselijk calciumtekort in de vrucht. Bij een lichte aantasting kan de tomaat bij de neus alleen inwendig zwart zijn. In een verder stadium vertonen tomaten en paprika's vooral aan de onderzijde een zwartbruine plek. Een ernstige vorm van neusrot ontstaat als de vrucht in een jong stadium wordt aangetast. In dat geval wordt minstens de helft van de vrucht eerst glazig en daarna bruin/zwart.

Bij aubergines is het celweefsel onder de opperhuid bruin, waterig en zacht. In een later stadium, soms pas na de oogst, kan de vruchthuid op deze plaatsen openbarsten. Vandaar de naam klappers.

Omdat calcium binnen de vrucht slecht getransporteerd wordt, ontstaan deze verschijnselen juist aan de onderzijde van de vrucht. Het calciumgehalte kan daar de helft bedragen van het gehalte aan de steelzijde van de vrucht. Bij een calciumgehalte in de vrucht lager dan 20 mmol per kg droge stof kunnen problemen ontstaan. Vooral in de eerste weken na de zetting is het belangrijk dat de cellen voldoende calcium kunnen inbouwen.

Een tekort ontstaat vaak door een combinatie van verschillende factoren, zoals een snelle vruchtuigroei bij hoge temperaturen, een hoge EC, verkeerde voedingssamenstelling of een sterk vege-

## Afwijkingen

- Neusrot en klappers zijn het gevolg van een laag calciumgehalte in de vrucht.
- Goudspikkels, stip en kelkverdroging ontstaan juist bij een hoog gehalte aan calcium in vrucht of kelk.
- Zwelscheurtjes ontstaan vooral bij een stugge vruchthuid en een sterke worteldruk.

tatieve groei. Ook raseigenschappen hebben invloed op het wel of niet optreden van afwijkingen. Bovendien speelt de luchtvochtigheid een rol. Bij een hoge verdamping gaat er veel calcium naar het blad en weinig naar de vrucht. Bij een overgang van donker weer naar dagen met een hoge instraling en temperatuur, kunnen gevoelige vruchten problemen opleveren. Bij deze klimaatsomstandigheden is de groeisnelheid van de vruchten hoog en de verdamping sterk, waardoor de cellen te weinig calcium krijgen aangevoerd. Door de temperatuur van de minimumbuis lichtafhankelijk te verlagen en daksproeiers te gebruiken, kan bij scherp weer de verdamping van de planten worden beperkt. Bovendien kan een grotere toevoer van calcium naar de vrucht worden bereikt door de verdamping 's nachts te verminderen. De plant kan dan worteldruk opbouwen. Calcium wordt dan via de houtvaten als het ware van de wortel naar de vruchten gepompt.

## Goudspikkels en stip

De tegenhangers van neusrot zijn goudspikkels bij tomaat en stip bij paprika.

Deze verschijnselen gaan namelijk samen met een plaatselijke overmaat aan calcium in de vrucht. Tomaten met goudspikkels hebben vooral rond de kroon kleine witte tot geelachtige stipjes. Deze stipjes bestaan uit cellen met kristallen van calciumoxalaat. Dieper in de vrucht kunnen de kristallen naaldvormig van structuur zijn. Tijdens het oogsten en sorteren kunnen daardoor celwanden kapot geprikt worden met als gevolg een kortere houdbaarheid. Bovendien zien vruchten met goudspikkels er voor de consument niet aantrekkelijk uit.

Bij stip bij paprika komen in de vruchtwand groenachtige tot bruinzwarte stippen voor. Op de stipplekken zijn onder de microscoop dode cellen te zien, waarvan enkele vrij grote, kubusvormige kristallen van calciumoxalaat bevatten. Op de plaatsen met stip is het calciumgehalte soms drie keer zo hoog als in gezond vruchtweefsel. Het is nog onduidelijk of de kristallen de oorzaak of juist het gevolg zijn van de dode cellen. Het is wel bekend dat maatregelen die de calciumtoevoer naar de vruchten bevorderen, meer stip geven. Soms zijn de stippen pas na doorsnijden van de vrucht te zien. Het





is vooral een visueel probleem, mede omdat consumenten stip koppelen aan rot. Het klimaat heeft duidelijk invloed op het optreden van goudspikkels en stip.

Bij tomaat geeft een hoge luchtvochtigheid (lage verdamping) tijdens de dag en de nacht meer goudspikkels. Bij paprika bevordert een hoge luchtvochtigheid tijdens de nacht het optreden van stip. Verder veroorzaken alle factoren die neusrot tegengaan juist meer problemen met goudspikkels en stip. Zo treden goudspikkels meer op bij een lage luchttemperatuur, een hoge mattemperatuur, een lage EC en een hoog calcium-, fosfaat- en chloridegehalte in de voeding. Bij beide verschijnselen zijn er duidelijke verschillen in rasgevoeligheid.

### Kelkverdroging

Bij kelkverdroging verkleuren de kelk-slippen van aubergine gedeeltelijk of geheel bruin. De verdroging wordt vijf tot zeven dagen voor de oogst zichtbaar. Kelkbladeren van zieke vruchten bevatten veel meer calcium en nitraat dan van gezonde vruchten en bovendien calcium-oxalaat-kristallen. De kelk reageert fysiologisch gezien als een blad. Een hoge

### Neusrot ontstaat door een tekort aan calcium

verdamping geeft dus een grote toevoer van calcium naar de kelk zodat eerder kristallen worden gevormd. Een lage luchtvochtigheid, zowel overdag als 's nachts, geeft daarom veel kelkverdroging. In het voorjaar neemt de kans op kelkverdroging toe na dagen met een hoge instraling. Ook dit heeft waarschijnlijk te maken met de sterke verdamping. Door het telen van andere rassen is het probleem duidelijk kleiner geworden. Daarnaast kan een juiste voedingssamenstelling kelkverdroging verminderen, bijvoorbeeld een hoge K/Ca-verhouding.

### Zwel- en 'krimpscheuren'

Zwelscheurtjes zijn scheurtjes in de buitenste cellaag van de vruchtwand. Tomaten met zwelscheurtjes zien er grauw uit door het fijne netwerk van scheurtjes in de vruchthuid. De scheurtjes lopen dwars door de cellen heen en maken de vruchthuid poreus, waardoor de vrucht snel kan uitdrogen. Soms zijn enkele grote scheurtjes verkurkt. Zwelscheurtjes

ontstaan zes tot zeven weken na de zetting. Naarmate de tijd tot de oogst langer duurt, wordt het probleem groter.

Bij paprika komen ook kleine, niet verkurkte haarscheurtjes voor maar vooral de verkurkte scheurtjes zijn goed zichtbaar. Ze ontstaan rond het hardgroene stadium van de vrucht. Deze scheurtjes worden vaak krimpscheuren genoemd, hoewel het te betwijfelen is of ze ontstaan door het krimpen van de vrucht. De oorzaak is waarschijnlijk dat de vruchthuid een sterke inwendige spanning niet meer aan kan en kleine scheurtjes gaat vertonen. Het is daarom beter ook bij paprika te spreken van zwelscheuren.

Een snelle uitgroei bij hoge temperaturen geeft zowel bij tomaat als bij paprika minder zwelscheuren. Bij paprika bevordert een groot verschil tussen de dagen nachttemperatuur juist het optreden



Kelkverdroging bij aubergine is een afwijking die ontstaat door een overmaat aan calcium

ervan. Het effect van de luchtvochtigheid op zwelscheurtjes is duidelijk minder sterk dan dat van de temperatuur. Bij het eerste zetsel van paprika werkte een hoge luchtvochtigheid gedurende het hele etmaal zwelscheurtjes in de hand. Een lage EC en een lage plantbelasting geeft zowel bij tomaat als bij paprika meer kans op scheurtjes. De worteldruk wordt hierdoor hoger en over minder vruchten verdeeld, waardoor de vruchten meer op spanning komen te staan. Het ras heeft ook een grote invloed op de mate van gevoeligheid. ■

# Luchtvochtigheid een invloedrijke factor

*Fysiogene afwijkingen zijn groeistoornissen.*

*Verstoring van de waterhuishouding van de plant*

*is hier vaak de oorzaak van. De gevoeligheid voor*

*fysiogene afwijkingen hangt samen met de*

*stevigheid van de celmembranen.*

*Luchtvochtigheid is één van de vele factoren die*

*hierop van invloed zijn.*

**V**eel fysiogene afwijkingen bij siergewassen zijn vergelijkbaar met bekende verschijnselen in de groenteteelt zoals 'rand' en 'glazigheid'.

Een te grote worteldruk gecombineerd met een lage verdamping is de oorzaak van glazigheid. Ruimtes tussen cellen (intercellulaire holten) lopen dan vol met water. Het weefsel krijgt hierdoor een glazig uiterlijk. Glazigheid kan zich herstellen en hoeft niet tot schade te leiden.

Rand is het gevolg van onvoldoende calciumaanvoer naar de strekkende delen. Daardoor ontstaan zwakke celmembranen die niet in staat zijn grote schommelingen in verdamping op te vangen. Rand leidt tot het afsterven van planteweefsel.

## Afwijkingen bij snijbloemen

Fysiogene afwijkingen komen in de snijbloemeteelt niet op grote schaal voor en treden veelal alleen op bij bepaalde cultivars van een gewas. Voorbeelden zijn het 'kiepen' van tulpen, 'bleke bloemen' bij Iris, glazige randen bij Anthurium en het ontstaan van 'vochtblaadjes' bij roos.

Bij het kiepen van tulpen worden delen van de stengel glazig, gevolgd door verlies van vocht op die plaatsen en ten slotte insnoering en knikken van de stengel. Kiepen komt alleen voor in de broeierij en niet op het veld.

Bleke bloemen bij Iris ontstaan tijdens de trek, maar zorgen ook tijdens de na-oogstfase voor verminderde kwaliteit. De bloemen komen minder ver open en ook het vaasleven is korter. Bij Anthurium 'Cuba' ontstonden in de winter glazige randen aan de schutbladeren bij een lage EC.

Bij roos is de oorzaak van het ontstaan van vochtblaadjes niet altijd duidelijk, het lijkt vooral een gevolg te zijn van gro-

- Zorg voor voldoende verdamping (lage luchtvochtigheid) overdag.
- Rustig telen vermindert de kans op groeistoornissen.
- Een hoge Ca/Mg-verhouding in de voedingsoplossing vermindert problemen.
- Kies, indien mogelijk, niet gevoelige cultivars.

te klimaatwisselingen in het voorjaar (te laat luchten) waardoor verbranding van jonge groeitoppen optreedt.

## Afwijkingen bij potplanten

Glazigheidsverschijnselen komen ook voor bij potplanten, bijvoorbeeld bij Ficus, Dracena, Cordyline, diverse palmen, Schefflera, Calathea en Asplenium. Er ontstaan gele, waterige vlekken op het blad, die later, door afsterving, bruinzwart verkleuren. Een andere afwijking is misvormd blad. In een jong stadium ontstaat schade aan het groeipunt, waarna het blad beschadigd uitgroeit (Asple-

nium en Spathiphyllum).

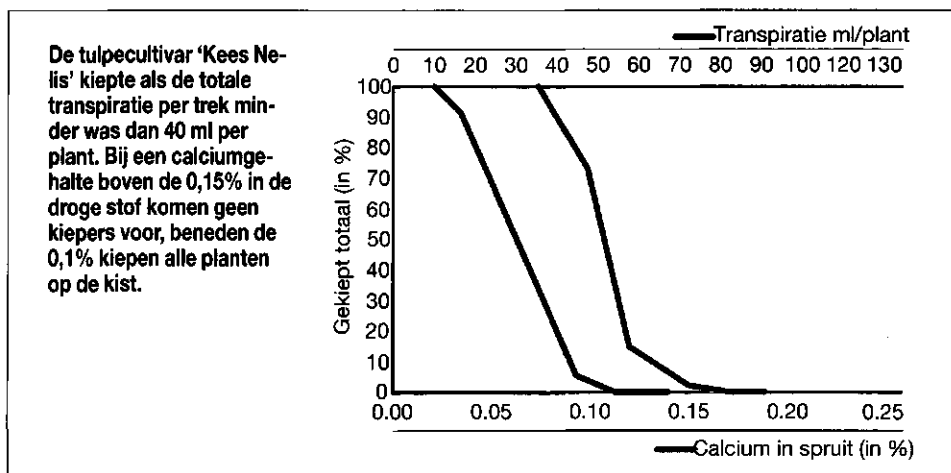
Afwijkingen aan de bloemen komen voor bij Kalanchoe. Afgestorven cellen in de kroonblaadjes zorgen voor witte vlekken en strepen ('witte bloemetjes'). Zowel misvormd blad als witte bloemetjes verminderen de kwaliteit van het produkt in ernstige mate. Beide verschijnselen lijken het gevolg te zijn van rand (calciumgebrek).

## Invloed vocht niet altijd duidelijk

In onderzoek met luchtvochtigheid en worteltemperaturen op het Proefstation voor de Bloemisterij in Aalsmeer konden witte bloemetjes bij Kalanchoe en bladbeschadiging bij Spathiphyllum echter niet worden opgeroepen, zelfs niet met de meest extreme behandelingen. Daarbij werden de gewassen overdag of 's nachts afgedekt met anti-condensfolie, waardoor de relatieve luchtvochtigheid tot bo-



In een jong stadium ontstaat schade aan het groeipunt van Spathiphyllum, waarna het blad beschadigd uitgroeit



umgehalte in de bloemen. Zonder tabletverwarming treedt ook geen zichtbare schade op en het calciumgehalte bij een lage luchtvochtigheid en onverwarmde bodems was kennelijk al hoog genoeg om schade te voorkomen.

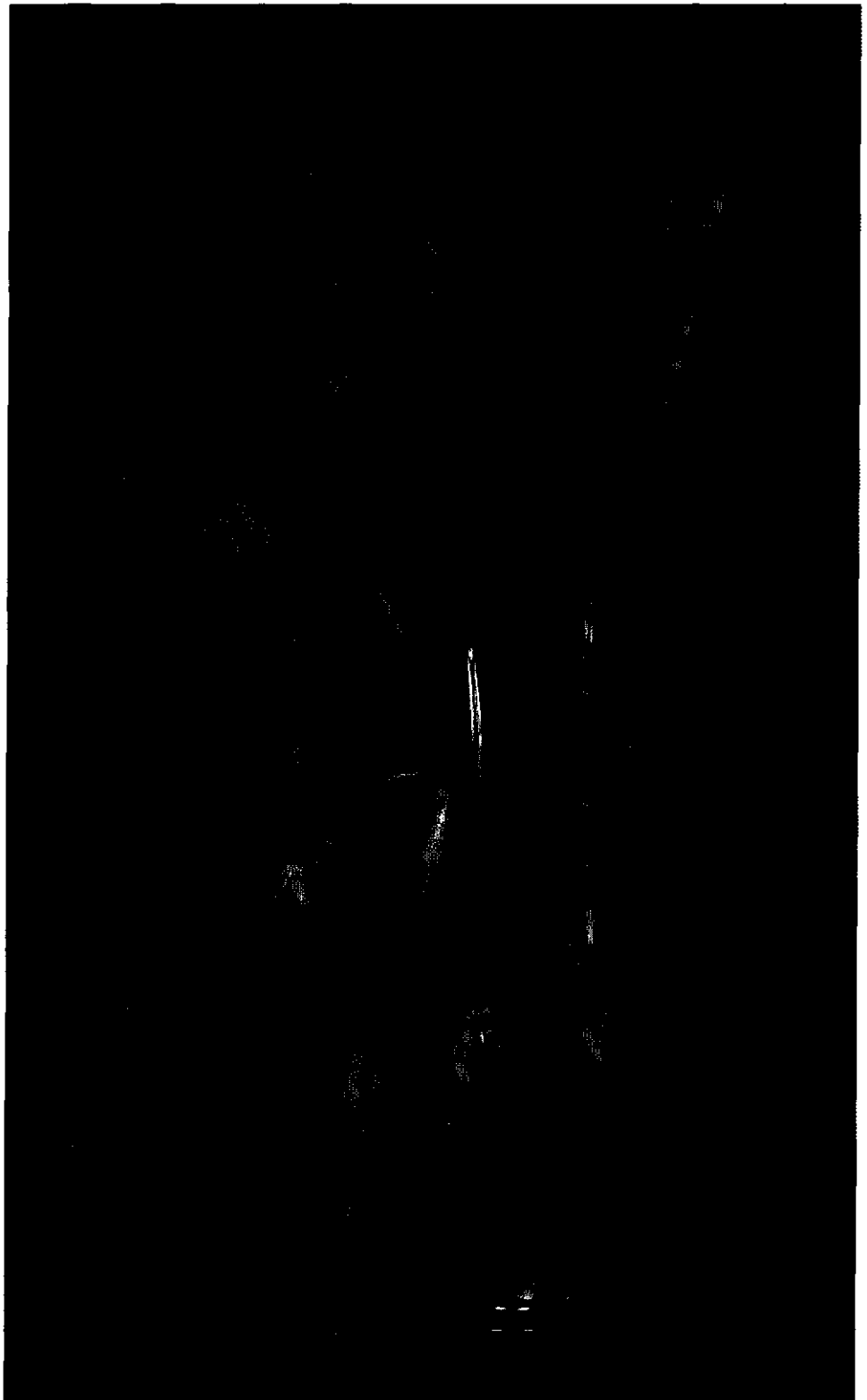
### **Teelttemperatuur en bemesting**

In een andere proef ontstond in hetzelfde jaar wél bloemschade bij Kalanchoe, ook in behandelingen die op het proefstation geen schade hadden gegeven. Behalve magnesium waren alle elementen in lagere concentratie aanwezig in de kroonblaadjes. Er is inmiddels aangetoond dat etmaaltemperatuur (teeltsnelheid) en bemesting van invloed zijn op het ontstaan van witte bloemetjes bij Kalanchoe. Het verdient aanbeveling 'rustig' te telen (temperatuur niet hoger dan 20°C). Ook een hoge Ca:Mg-verhouding in de voedingsoplossing vermindert de schade. De diverse cultivars verschillen in gevoeligheid voor witte bloemetjes. Door een juiste cultivarkeuze is het probleem te voorkomen.

Ook bij Spathiphyllum is gebleken dat de teeltsnelheid van belang is bij het ontstaan van misvormde bladeren. Het percentage planten met misvormde bladeren is hoger als de luchttemperatuur tussen het gewas hoger is (18 tot 24°C). Sterke schade treedt op bij temperaturen boven de 27°C. De potttemperatuur heeft géén effect op misvorming. Beschadigde bladeren hadden een lager calcium- en een hoger magnesiumgehalte dan gezonde bladeren.

### **Verdamping en calciumvoorziening**

Uit het voorgaande is af te leiden dat zeer waarschijnlijk de calciumhuishouding binnen de plant van belang is bij het ontstaan van fysiogene afwijkingen bij potplanten. Ook bij het ontstaan van kiepers bij tulpen blijkt het calciumgehalte in de plant een belangrijke rol te spelen. Op het veld is het calciumgehalte vijf tot acht keer hoger dan in de broeierij. Dit verklaart mogelijk waarom kiepers alleen in de kas voorkomen. Bij de trek van tulpen neemt de mate van kiepen toe bij een lage totale verdamping per trek. De hoeveelheid calcium in de plant is evenredig met de verdampingssom. Een goede balans tussen verdamping en groeisnelheid kan voorkomen dat het calciumgehalte te laag, en de situatie kiepgevaarlijk wordt. Voor het broeien van tulpen wordt geadviseerd tijdens de tweede helft van de trek de luchtvochtigheid beneden de 14,5 g per m<sup>3</sup> te houden (RV lager dan 85% bij 20°C). Eenzelfde relatie met verdamping en calciumgehalte van de plant is gevonden bij het ontstaan van bleke bloemen van Iris 'Ideal'. Bij deze



cultivar is het van belang tijdens de laatste 10-25 dagen van de trek de verdamping te stimuleren door stoken en luchten.

Geconcludeerd kan worden dat veel groeistoornissen ontstaan als het aanbod van calcium lager is dan de grote vraag ernaar bij hoge teeltsnelheden. Een goede balans tussen opname en transport van calcium enerzijds en de vraag naar calcium anderzijds is daarbij van groot

**Tussen verschillende tulpecultivars bestaan verschillen in kiepgevoeligheid**

belang. Problemen kunnen worden voorkomen door rustig te telen (om daarmee de groeisnelheid en dus de vraag naar calcium te beperken) en het aanbod van calcium te vergroten door overdag de verdamping te stimuleren en eventueel de voeding aan te passen. ■

# Vochtigheid ook na de oogst van belang

*Bloemen en planten hebben het na de oogst vaak zwaar te verduren. Tijdens het transport van teler naar consument worden bloemen regelmatig blootgesteld aan extreme klimaatomstandigheden. Ook bij de consument zijn de omstandigheden niet altijd optimaal. De luchtvochtigheid is een van de factoren die hierbij een rol speelt.*

De kwaliteit van sierteeltoproducten bij de oogst wordt mede bepaald door klimaatomstandigheden tijdens de teelt. De luchtvochtigheid heeft zowel invloed op de uitwendige kwaliteit (de sierwaarde) als de inwendige kwaliteit (de houdbaarheid). Hoe beter de kwaliteit bij de oogst, hoe groter de kans is dat de uiteindelijke consument een goed produkt krijgt.

In de tussenliggende fase (transport, handel) kan de kwaliteit echter verminderen onder invloed van diverse factoren. Belangrijk daarbij zijn vochtverlies en de aantasting door schimmels.

Het vochtverlies van de plant hangt sterk af van de luchtvochtigheid. Bij een lage luchtvochtigheid tijdens de transport- en opslagfase kunnen planten veel verdampen waardoor ze uitdrogen en slap gaan hangen. Heerst er een hoge luchtvochtigheid dan is de kans op uitdrogen gering, maar is Botrytis een gevaarlijke belager.

## Transportfase

Gedurende het transport van bloemen en planten kan de relatieve luchtvochtigheid hoog oplopen. Tijdens het ketenonderzoek in 1988 is in vrijwel elke schakel van de keten een hoge tot zeer hoge rv (meer dan 85%) gemeten. Bovendien bleek dat de rv tijdens de verschillende fasen van de afzetketen nauwelijks wordt geregeld. Vooral in koelcellen en vrachtwagens kan de relatieve luchtvochtigheid gemakkelijk oplopen tot 90 à 95%.

Een hoge luchtvochtigheid hoeft op zich geen problemen op te leveren. Het remt de verdamping van bloemen en planten. Voor snijbloemen die na de oogst geen water meer kunnen opnemen kan dit zelfs gunstig zijn omdat de kans op uitdroging kleiner wordt.

Een hoge luchtvochtigheid is echter

## Naar de consument

- Een te hoge of te lage luchtvochtigheid in de afzetketen kan een aanslag op de kwaliteit betekenen.
- De rv wordt in de diverse schakels van de afzetketen onvoldoende geregeld.
- Gesloten plastic hoesen en veel bossen per doos vergroten de kans op Botrytis bij snijbloemen.
- De lage luchtvochtigheid in huiskamers veroorzaakt veel problemen door (plaatselijke) verdroging.

gunstig voor de ontwikkeling van schimmelinfecties. Vooral als bij een hoge luchtvochtigheid temperatuurschommelingen optreden neemt het risico op condensvorming sterk toe. Dit vergroot de kans op een aantasting van Botrytis sterk. Op bloemen ontstaat smet of pokken. In ernstige gevallen kunnen bloemen of zelfs hele planten volledig uitvalen. Bekende voorbeelden van gewassen waarbij tijdens de transportfase vaak problemen met Botrytis optreden zijn Poinsettia, roos en potchrysaant.

## Verpakking belangrijk

Een geschikte verpakking kan een deel van de problemen met Botrytis beperken. Uit onderzoek naar de invloed van verpakkingsmateriaal bij Begonia is gebleken dat Botrytis juist optreedt als een gesloten plastic hoes gebruikt wordt. Een geperforeerde plastic hoes of een papieren is beter doordat hierbij een betere luchtuitwisseling mogelijk is. De luchtvochtigheid is in zulke hoesen lager, wat het risico op condens verkleint.

Aan de andere kant zullen de bladeren



en de potkluit bij een vochtdoorlatende hoes meer verdampen. Bij een geperforeerde of papieren hoes moet daarom rekening worden gehouden met de vochtigheid van de potkluit. De potkluit kan, afhankelijk van de samenstelling van de potgrond, bij lange transporttijden sterk uitdrogen.

Voor snijbloemen geldt ook dat Botrytis vooral optreedt als een gesloten plastic hoes gebruikt wordt. Geperforeerde hoesen kunnen de kans op aantasting verminderen.

Ook de hoeveelheid bossen in een (gesloten) doos speelt een rol. Hoe meer bladmassa, hoe sterker de vochtproductie is en hoe eerder een hoge luchtvochtigheid bereikt wordt. Dit remt weliswaar de uitdroging, maar in verband met de kans op Botrytis is het beter niet te veel bloemen in een gesloten doos te voeren.

## Toets smetgevoeligheid

Een hoge luchtvochtigheid tijdens de transportfase blijkt in veel gevallen een hoop narigheid te kunnen veroorzaken.

De luchtvochtigheid tijdens het transport kan soms erg hoog oplopen



Het proefstation in Aalsmeer heeft met deze kennis een toetsmethode ontwikkeld waarbij juist gebruik wordt gemaakt van een hoge luchtvochtigheid en alle nare gevolgen die het teweeg brengt.

Om de transportgevoeligheid (smetgevoeligheid) van Saintpaulia cultivars na te gaan, worden de planten blootgesteld aan een transportsimulatie met een rv van 85 à 95%. Door dit vochtige klimaat worden Botrytis-sporen dus opzettelijk gestimuleerd te kiemen. Daarna worden de planten enkele weken in de houdbaarheidsruimte gezet. Uit de verschillen in Botrytis-aantasting tussen de cultivars worden de verschillen in smetgevoeligheid afgeleid.

Tot nu toe wordt deze methode alleen voor Saintpaulia gebruikt. Nagegaan wordt of deze methode ook voor andere gewassen geschikt is.

### Situatie huiskamer

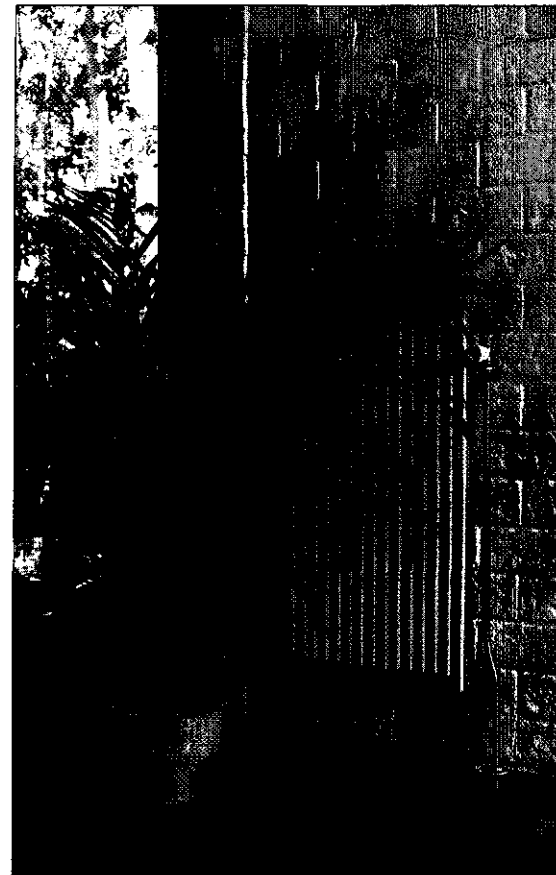
In de huiskamer of het kantoor van de uiteindelijke consument blijkt de luchtvochtigheid meestal erg laag te zijn. Als de bloemen en planten de transportfase



Planten staan in de huiskamer vaak op zeer ongunstige plaatsen met een zeer lage luchtvochtigheid

goed zijn doorgekomen treden er bij de consument weinig of geen problemen meer op met Botrytis. De luchtvochtigheid in genoemde ruimten is echter vaak zo laag dat juist andere problemen optreden. Vooral bruine bladpunten en bladnecrose (afsterving van blad) bij potplanten zijn problemen die in de huiskamer gemakkelijk optreden.

Om dit soort problemen te voorkomen of in ieder geval te beperken kan getracht worden de luchtvochtigheid in de ruimte



te verhogen. Dit kan met (professionele) luchtbevochtigingsinstallaties, maar ook heel simpel door bakjes water aan de radiatoren te hangen.

Daarnaast kan een goede voorlichting over de omstandigheden die de plant wenst in de huiskamer, veel problemen voorkomen. Het beste is deze informatie direct met de plant mee te leveren. ■

# Wisselende vochtigheid: meer Botrytis en 'wit'

*De luchtvochtigheid heeft op verschillende manieren invloed op de aantasting door Botrytis en echte meeldauw. Twee schimmels die veel groenten belagen. Zo beïnvloedt de relatieve luchtvochtigheid de sporevorming, de verspreiding van de sporen, de kieming van de sporen, de uitgroei van de schimmel en de vatbaarheid van de plant.*

## Rol klimaat

- Botrytis cinerea wordt in de hand gewerkt door een hoge luchtvochtigheid en een nat gewas
- Door een goede klimaatregeling is Botrytis in de meeste gevallen te voorkomen.
- Echte meeldauw ontwikkelt zich vooral goed onder droge omstandigheden.
- Echte meeldauw kan worden geremd door gedeeltelijk resistente rassen en toediening van silicium.

## Echte meeldauw

Echte meeldauw ('wit') wordt veroorzaakt door verschillende schimmels. Vaak kan een bepaalde schimmel maar één groentegewas aantasten. Op een aantal gewassen kunnen wel verschillende schimmels echte meeldauw veroorzaken.

De aantasting bestaat uit een wit schimmelpluis, meestal op de bovenkant van het blad, dat er makkelijk af te wrijven is. Bij paprika groeit de schimmel die echte meeldauw veroorzaakt echter in het blad en het schimmelpluis zit aan de onderkant van het blad. Meeldauw is een groot probleem in de komkommer-teelt en in toenemende mate ook in de tomatenteelt.

### Invloed luchtvochtigheid

Echte meeldauwschimmels veroorzaken vooral veel aantasting bij een lage rv.

Sporen van deze schimmels bevatten veel water en kiemen daardoor ook bij lage luchtvochtigheid en droge bladeren. De invloed van de rv is echter niet voor alle meeldauwschimmels hetzelfde.

De sporen verspreiden zich door de lucht, vooral bij luchtbeweging en bij snelle wisselingen in de rv. Luchtbeweging ontstaat rond verwarmingsbuizen en bij de deuren en tijdens werkzaamheden in de kas. Ook is bij de verwarmingsbuizen de rv laag, zodat daar vaak de snelste uitbreiding van de ziekte optreedt.

In het algemeen geldt dat echte meeldauw alleen duidelijk geremd wordt door aanwezigheid van water op de bladeren. De kieming verloopt bij een aantal soorten beter bij hoge rv, maar bij lage rv worden veel meer sporen geproduceerd. Verder is de tijd tussen infectie

en de eerste zichtbare aantasting bij de meeste meeldauwsoorten korter onder droge omstandigheden.

Een uitzondering is Sphaerotheca fuliginea, de schimmel die echte meeldauw op komkommer veroorzaakt. De sporen van deze meeldauwsoort kiemen het beste bij een zeer hoge rv (95 à 99 %). Bij een lagere rv treedt nauwelijks kieming op en kunnen de sporen ook niet lang overleven.

Het is niet mogelijk om door middel van het kasklimaat aantasting door echte meeldauw schimmels sterk tegen te gaan. Bij komkommer is het telen van partieel resistente rassen wel een mogelijkheid om meeldauwaantasting te remmen. Ook kunnen bepaalde voedingselementen (bijvoorbeeld silicium) een bijdrage leveren aan het remmen van meeldauw.

De schimmel die in komkommers meeldauw veroorzaakt, bezorgt telers veel last



Ook in de tomatenteelt is meeldauw een toenemend probleem



Bij paprika groeit de echte-meeldauwschimmel in het blad; het schimmelpluis zit aan de onderkant





Botrytis-stip komt voor bij tomaat, maar ook bij paprika

Bij sla zorgt een complex van schimmels voor smet

### Botrytis cinerea

Botrytis cinerea veroorzaakt bij vruchtgroentegewassen vlekken met grijsbruin schimmelpluis op de bladeren. De schimmel kan het blad vooral goed infecteren rond beschadigingen of afgefallen bloempjes en bij veroudering.

De aantasting van de vruchten kan bij tomaat twee vormen aannemen. In de eerste plaats worden typische rottings-symptomen met schimmelpluis gevormd. Deze symptomen beginnen vooral rond de bladsteel. Sterk aange-taste vruchten vallen af.

In de tweede plaats kunnen op tomaten kleine vlekjes met in het midden een stip voorkomen, zogenaamde Botrytis-stip. Deze stipsymptomen kunnen ook op de vruchten van paprika voorkomen. Bij komkommers vindt de aantasting meestal vanuit de bloem plaats. Als jonge vruchtjes vervolgens afsterven kan de schimmel doorgroeien naar de stengel.

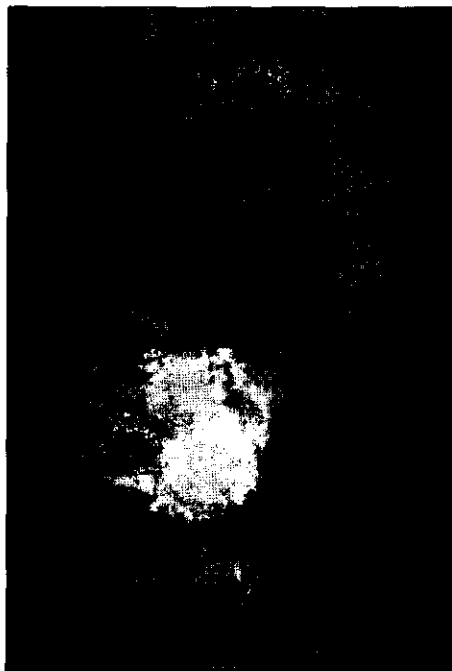
Naast deze symptomen op bladeren en vruchten, vormt Botrytis ook aantasting op de stengels. Stengelinfecties kunnen ontstaan doordat de schimmel vanuit een ander deel van de plant naar binnen groeit. Directe infectie van wonden door het oogsten of snoeien is echter vaker de oorzaak. Stengelinfecties zijn vooral een groot probleem in de hogedraadteelt van tomaat. Bij ernstige stengelaantasting kan de hele plant afsterven.

Botrytis komt ook voor bij lage gewassen als sla en aardbeien. Bij sla is deze schimmel een onderdeel van het complex van schimmels dat smet veroor-

zaakt. De eerste aantasting is zichtbaar als een rotte plek met schimmelpluis bij de voet van de plant en de planten gaan slap hangen. In een later stadium kan Botrytis ook koprot in sla veroorzaken.

#### Invloed luchtvochtigheid

In het algemeen geldt dat een hoge rv vermeden moet worden om Botrytis tegen te gaan, evenals natslaan van het gewas. Op die manier is de aantasting van bloemen, bladeren en vruchten grotendeels te voorkomen. Ditzelfde geldt voor de stengelinfecties die ontstaan doordat de schimmel de stengel



in groeit vanuit andere geïnfecteerde delen van de plant.

Botrytissporen hebben een relatieve vochtigheid (rv) van meer dan 93% nodig om te kiemen. De sporen verspreiden zich vooral bij snelle wisseling van de rv.

Ook kan de rv invloed hebben op de groei en vatbaarheid van de plant. Bovendien kunnen wonden minder snel indrogen bij een hoge rv. Het indrogen van wonden is mede afhankelijk van de manier van plukken en snoeien.

#### Voorkomen

Botrytis is in de meeste gevallen te vermijden door een goede klimaatregeling. Alleen stengelinfectie die het gevolg is van directe infectie van wonden is moeilijker te voorkomen. De wond voorziet de schimmel van voldoende vocht en daardoor is een hoge rv niet noodzakelijk voor infectie. Het voorkomen van een hoge worteldruk door middel van teeltmaatregelen kan stengelinfecties door Botrytis helpen tegen-gaan.

Om de stengel aan te tasten heeft Botrytis geen hoge luchtvochtigheid nodig

# Het klimaat als bestrijdingsmiddel

*Botrytis cinerea en echte meeldauw bedreigen veel siergewassen. Bij Botrytis is de invloed van luchtvochtigheid aanzienlijk groter dan bij meeldauw. Echte meeldauw lijkt moeilijk beheersbaar door middel van de klimaatregeling, bij Botrytis zijn de perspectieven groter.*

**D**e schimmels *Botrytis* en echte meeldauw vertonen overeenkomsten en verschillen. De schimmels worden hierna afzonderlijk beschreven. Ook de activiteiten van het onderzoek komen bij de desbetreffende schimmel aan bod.

## Botrytis cinerea

Bij veel snijbloemen en potplanten kan *Botrytis* problemen geven in de vorm van bruine vlekken op bloemen of afsterven van delen van de plant. De aantasting openbaart zich meestal pas na de oogst, in de opslag- en transportfase. De infectiedruk (aantal sporen op plant) in de kas bepaalt voor een groot deel de mate van aantasting in de na-oogstfase. In de kas zijn over het algemeen alleen sporen (conidiën) belangrijk bij de verspreiding van *Botrytis*. De sporen worden gevormd bij een hoge relatieve luchtvochtigheid (> 93%), een temperatuur tussen de 15 en 25°C en voldoende voeding (aanwezigheid van een waardplant). De sporen komen meestal voor op afstervend en dood plantmateriaal. Op een vochtig dood blad kan deze schimmel miljoenen sporen produceren. Het is dus erg belangrijk zoveel mogelijk oud plantmateriaal te verwijderen.

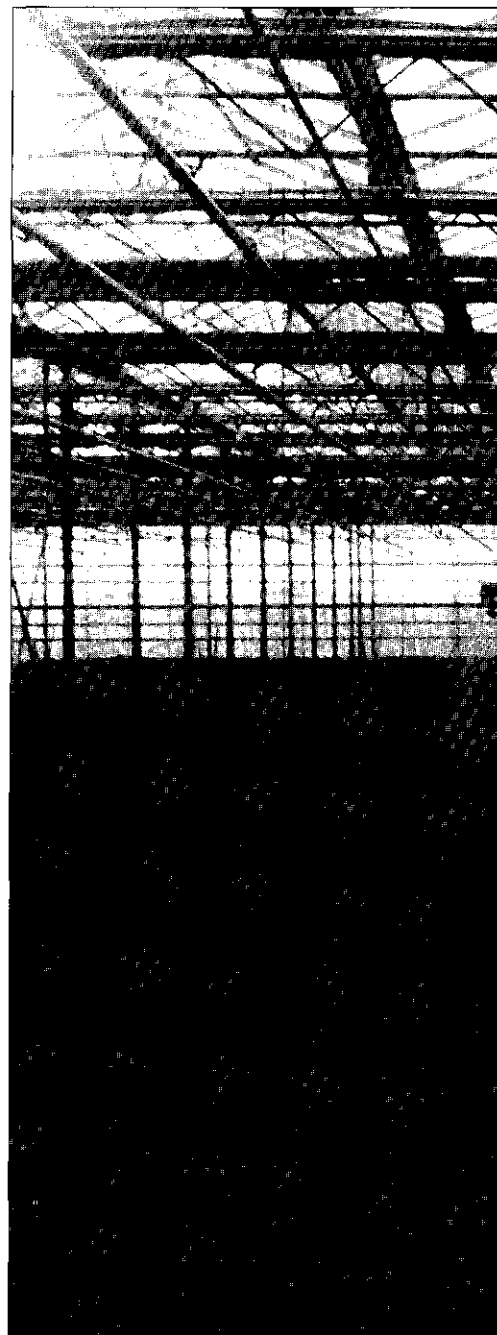
Het vrijkomen van de sporen vindt plaats bij snelle veranderingen van de relatieve luchtvochtigheid (RV), meestal in de ochtend en aan het eind van de middag. Snelle wisselingen van de RV moeten dus zoveel mogelijk worden vermeden. De sporen verspreiden zich meestal door luchtverplaatsingen en soms door waterdruppels en insecten.

Op het Proefstation voor de Bloemisterij in Aalsmeer is de afgelopen tijd onderzoek gedaan aan de verspreiding van *Botrytis cinerea* in Gerbera en roos. De sporen bleken altijd in de kas aanwezig

- Sporen van *Botrytis cinerea* zijn altijd in de kas aanwezig en kunnen in grote hoeveelheden in de kaslucht voorkomen.
- Een hoge relatieve luchtvochtigheid en een lage stralingsom tijdens de teelt zorgen, met name in de herfst voor veel *Botrytis* op de bloemen in de na-oogstfase.
- Voor het verminderen van de botrytisaantasting is het noodzakelijk zoveel mogelijk oud plantmateriaal uit de kas te verwijderen.
- Telen op snee lijkt de toename van meeldauw in het eerste jaar te vertragen.
- Beginnende en oudere scheuten zijn even vatbaar.
- Meeldauw ontstaat uniform verspreid in de kas.
- Het is niet mogelijk meeldauw via de klimaatinstelling te beheersen.

te zijn en in grote hoeveelheden in de kaslucht te kunnen voorkomen. Bij snijbloemen wordt de aantasting pas zichtbaar na de oogst, als de RV hoger is dan 95%. Op de bloemen komen dan bruine vlekjes (lesies) voor. De hoeveelheid lesies op de bloemen verschilt per seizoen. In de lente en zomer werden weinig lesies op gerberabloemen waargenomen en in de herfst veel. Op de bloemen van roos vormden zich alleen in de herfst veel lesies.

De hoeveelheid lesies op de bloemen hangt sterk af van de luchtvochtigheid in de kas en de instraling tijdens de teeltfase. Bij hoge RV en lage straling vormen zich meer lesies (tabel). Op gerbera's komen veel meer lesies voor dan op rozen. Dit komt doordat de stand van de bloemen verschilt. De gerberabloemen staan



horizontaal en vangen veel meer sporen op dan de vertikaal staande rozebloemen. Eén lesie op een rozebloem veroorzaakt echter wel veel meer schade dan op een gerberabloem. Op een rozebloem groeit de lesie steeds verder uit en kan zelfs de hele bloem aantasten, terwijl een lesie op een gerberabloem beperkt blijft tot een paar mm<sup>2</sup>.

## Meeldauw

Echte meeldauwschimmels kunnen op veel plantesoorten voorkomen, zoals roos, Begonia, Anthurium, Gerbera, Cyclamen, chrysantheum en Saintpaulia. Sommige tasteren slechts één gewas aan (bijvoorbeeld *Sphaerotheca pannosa* op roos), andere meer (bijvoorbeeld *Microspheara begoniae* op Begonia en Anthuri-





um). Echte meeldauwschimmels kunnen alleen overleven op levend plantmateriaal. Meestal komt deze schimmel voor op de bovenkant van het blad in de vorm van wit schimmelpluis en ketens van sporen, die er makkelijk vanaf te wrijven zijn. De sporen van meeldauw worden net als die van *Botrytis cinerea* verspreid via luchtbewegingen. De wind zorgt voor het loskomen en verspreiden van de sporen. Meeldauw of wit is een van de grootste problemen in de teelt van kasrozen. Oorzaak van de aantasting is *Sphaerotheca pannosa* en is zichtbaar als witte vlekken die vooral aan de bovenzijde van het blad voorkomen. Bij een zware aantasting kunnen ook de onderkant van het blad, stengels en knoppen door de schimmel bedekt raken en in extreme gevallen

gaat de plant er zelfs door dood. Echte meeldauw is chemisch te bestrijden met zwavel, Ergosterol Biosynthese Remmers (EBR) en benzimidazolen.

In de afgelopen twee jaar is op het proefstation in Aalsmeer onderzoek verricht naar de ontwikkeling en verspreiding van echte meeldauw in rozen ('Sonia'). De ontwikkeling (of epidemie) van meeldauwplekjes op bladeren is gevolgd vanaf de eerste aantasting tot het moment dat meer dan 95% van de oogstrijpe takken was aangetast. Daarna kreeg het gewas een fungicidekuur: driemaal in tien dagen het gewas bespuiten met een meeldauwmiddel. Zo kon de ontwikkeling van verschillende meeldauwaantastingen worden gevolgd. Tussen de epidemieën was een groot verschil in ontwik-

Een juiste vochtregeling kan in een aantal gevallen de inzet van bestrijdingsmiddelen terugdringen

**Aantallen lesies (bruine vlekken) op rozebloemen in de na-oogstfase en aantallen sporen van *Botrytis cinerea* bij verschillende relatieve luchtvochtigheden en de instralingssom in de kas tijdens de teeltfase.**

RV in %	Installingssom (J/cm <sup>2</sup> /dag)	Aantal sporen in kaslucht	Aantal lesies per bloem
60	250	1	0,4
60	2.500	10	0,1
60	250	10	1,0
60	2.500	1	0,1
90	250	1	38,2
90	2.500	10	12,0
90	250	10	103,5
90	2.500	1	4,5

kelingssnelheid. De duur van de eerste epidemie week sterk af van alle andere, doordat er nog relatief weinig blad in de kas was. Een gewas op snee heeft op bepaalde momenten weinig geschikt blad voor het ontstaan van meeldauw, waardoor de epidemie op dat moment iets trager verloopt. Indirect is ook de leeftijd van het gewas van invloed op de ontwikkelingssnelheid van een epidemie. Het aantal bladeren en daarmee de hoeveelheid blad per m<sup>2</sup> neemt toe bij het ouder worden van het gewas. Dit heeft tot gevolg dat het doodspuiten van de meeldauw steeds moeilijker en de kans op een nieuwe epidemie steeds groter wordt. Hierdoor verliepen in het tweede jaar de meeldauwaantastingen sneller dan in het eerste jaar en waren er zeven opeenvolgende epidemieën, terwijl er in het eerste jaar slechts drie optraden.

De verspreiding van de meeldauw door de kas is aan het eind van elke epidemie gelijk. Aanvankelijk is meer sprake van vorming van ziektehaarden. Ook deze haarden zijn echter vrij gelijkmatig over de kas verdeeld en er is geen aanwijzing dat de meeldauw, vanwege klimaatfactoren, altijd op dezelfde plaats in de kas begint. De klimaatomstandigheden varieerden voor de verschillende epidemieën. De temperatuur lag gemiddeld tussen 17 en 24°C overdag en tussen 16 en 20°C 's nachts. De relatieve luchtvochtigheid lag tussen de 65 en 75%. De gemiddelde stralingssom per dag varieerde het sterkst: van circa 200 tot 1.900 J per cm<sup>2</sup> per dag. Er is echter geen enkel verband gevonden tussen de duur van de epidemie en de klimaatomstandigheden. Gezien de grenzen van temperatuur en RV waarbinnen de schimmel goed kan groeien, is het niet mogelijk echte meeldauw te beheersen door de klimaatinstellingen van de kas te wijzigen. ■

# Droogte nadelig voor biologische bestrijding

*Voor een goede biologische bestrijding van plagen is het noodzakelijk dat de klimaatomstandigheden voor de natuurlijke vijanden gunstig zijn. Naast daglengte en temperatuur heeft ook luchtvochtigheid een aanzienlijke invloed op het succes van biologische bestrijding van een aantal plagen.*

**V**erticillium lecanii is een parasitaire schimmel die van nature wijdverspreid voorkomt. Een aantal stammen van Verticillium lecanii kan worden ingezet tegen witte vlieg, trips, en luizen. Verticillium lecanii is effectief bij een temperatuur tussen de 15 en 28°C, maar alleen als de luchtvochtigheid gedurende een langere periode zeer hoog is. Een hoge luchtvochtigheid bevordert echter ook verschillende plantenziekten en daarom is het niet wenselijk dat de hoge luchtvochtigheid een lange periode aanhoudt. De Engelse onderzoekers Helyer en Chambers hebben in een chrysantengewas aangetoond dat Verticillium lecanii ook succesvol is als de luchtvochtigheid in de kas slechts een beperkt aantal nachten per week wordt verhoogd. Een hoge luchtvochtigheid werd in dit experiment verkregen door 's avonds te nevelen onder dichte schermen.

Op het PTG zal worden onderzocht wat de invloed is van de luchtvochtigheid op de ontwikkeling van Verticillium lecanii.

Hiermee kunnen randvoorwaarden voor de klimaatregeling worden vastgesteld om de toepassing van Verticillium lecanii in andere gewassen te optimaliseren.

## Biologische bestrijding spint

De populatie-ontwikkeling van kasspint Tetranychus urticae is sterk afhankelijk van daglengte, temperatuur, luchtvochtigheid en gewasoort. Onder invloed van de korter wordende daglengte, dalende temperatuur en de afname in de voedselkwaliteit gaat een deel van de populatie in het najaar in winterrust (diapauze). Zodra in het voorjaar de omstandigheden gunstiger worden, komen de diapauzewijfjes uit de winterrust en gaan weer eieren leggen. Vanaf maart komt spint ver-

## Groei remmen of stimuleren

- Stammen van de parasitaire schimmel Verticillium lecanii die pathogeen zijn voor trips, katoenluis of witte vlieg zijn alleen effectief bij een hoge luchtvochtigheid.
- Spintmijten ontwikkelen zich sneller en produceren meer eieren bij een lage luchtvochtigheid.
- Lage luchtvochtigheid is fataal voor de eieren van sommige roofmijtsoorten.
- Biologische bestrijding gaat beter met roofmijtsoorten die goed tegen droogte kunnen.

spread in het gewas voor en is goed te bestrijden met de spintroofmijt Phytoseiulus persimilis. Ook in de wintermaanden kan spint pleksgewijs in het gewas voorkomen. Problemen levert spint dan eigenlijk niet op, door het algemeen gebruik van breedwerkende chemische bestrijdingsmiddelen. Tijdens warme perioden in de zomermaanden, wanneer de temperatuur in de kas hoog is en de luchtvochtigheid laag, kan een spintpopulatie explosief toenemen terwijl de bestrijding met Phytoseiulus persimilis problematisch verloopt. Er is een aantal oorzaken aan te geven voor het spintprobleem in deze periode. Kasspint ontwikkelt zich bij een temperatuur tussen de 13 en 35°C. De populatie ontwikkelt zich sneller naarmate de temperatuur toeneemt. Phytoseiulus persimilis daarentegen kan slecht tegen temperaturen boven de 30°C en kan daarom alleen bij lagere temperaturen spint goed onder controle houden. Een lage luchtvochtigheid heeft net als een hoge temperatuur een positief



effect op de populatie-ontwikkeling van spint. Tetranychus urticae ontwikkelt zich sneller en legt meer eieren bij een lage luchtvochtigheid dan bij een hoge luchtvochtigheid. Bij een lage luchtvochtigheid eet Phytoseiulus persimilis per tijdseenheid meer spint, maar het uitkomen van de eieren wordt er sterk negatief door beïnvloed.

Zowel spint als roofmijten leven in het microklimaat dat heerst in de luchtlaag die grenst aan het bladoppervlak. De temperatuur en luchtvochtigheid in deze luchtlaag kunnen sterk verschillen van die van de kas waarin de planten groeien. Bij een flinke spintaantasting wordt het blad necrotisch, waardoor de verdamping afneemt. De bladaantasting resulteert in een hogere bladtemperatuur en een lagere luchtvochtigheid op de grenslaag van het blad. Deze verandering in het microklimaat van het bladoppervlak is gunstig voor de spintpopulatie en nadelig voor de roofmijtpopulatie. Het is duidelijk dat Phytoseiulus persimilis

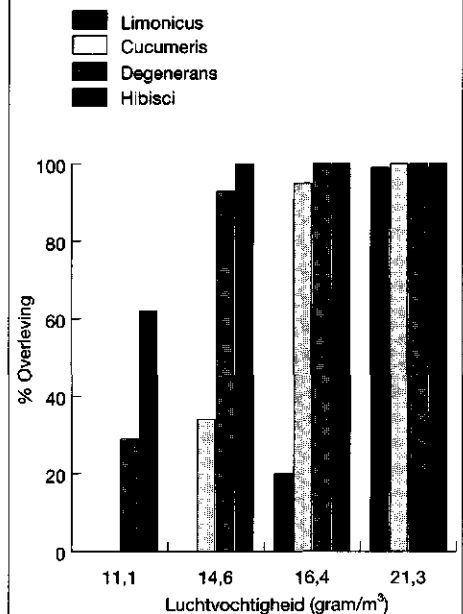
Een lage luchtvochtigheid is vaak ongunstig voor eieren van roofmijten.

gram per m<sup>3</sup> ofwel een relatieve vochtigheid van 48, 63, 71 en 92% bij een temperatuur van 25°C).

### Hoopgevende resultaten

Zowel de eieren van *Amblyseius hibisci* als die van *Amblyseius degenerans* zijn beter bestand tegen een lagere luchtvochtigheid dan de eieren van *Amblyseius cucumeris* (figuur). Beide roofmijtsoorten zijn in een paprikagewas vergeleken met de diapauzevrije *Amblyseius cucumeris*. Onderzocht werd welke roofmijtsoort het beste in staat is een trippopulatie gedurende het groeiseizoen onder controle te houden. De resultaten zijn hoopgevend. *Amblyseius degenerans* vestigde zich veel beter op het gewas dan beide andere soorten en was zelfs in staat

Tolerantie roofmijt-eieren voor droogte



een flinke tripsplaag te bestrijden. Het inzetten van deze roofmijtsoort kan een belangrijke verbetering betekenen voor de tripsbestrijding in de perioden waarin de klimaatomstandigheden relatief ongunstig zijn. Of *Amblyseius degenerans* ook geschikt is voor tripsbestrijding op andere gewassen wordt nu op het PTG nader onderzocht.

Zowel *Amblyseius degenerans* als *Amblyseius hibisci* zijn ook bekend als spintpredatoren. Gezien hun relatief goede overleving bij lage luchtvochtigheid kunnen zij mogelijk ook een bijdrage leveren aan de spintbestrijding in de zomermaanden. ■

geen goede roofvijand (predator) is onder deze omstandigheden. Daarom moet gezocht worden naar nieuwe predatoren die beter bestand zijn tegen hogere temperaturen en droogte.

### Biologische bestrijding van trips

Californische trips, *Frankliniella occidentalis*, is een plaag die het hele jaar door in het gewas kan voorkomen. Twee belangrijke natuurlijke vijanden van deze plaagsoort zijn de roofwantsen *Orius spec.* en de roofmijt *Amblyseius cucumeris*. In paprika kunnen deze natuurlijke vijanden preventief worden ingezet dankzij de aanwezigheid van pollen als alternatieve voedselbron. Met de *Amblyseius cucumeris*-stam worden succesvolle resultaten geboekt in de winter, omdat deze stam geen diapauze heeft. Gedurende vorstperioden echter kan de luchtvochtigheid in kassen sterk dalen wat schadelijk is voor *Amblyseius cucumeris*. Ook tijdens warme zonnige perioden in de zomer kan een lage luchtvochtigheid

in de kas problematisch zijn voor roofmijteieren. Roofwantsen, die minder gevoelig zijn voor een lage luchtvochtigheid, zijn niet inzetbaar in de winterperiode omdat ze onder invloed van kortedag condities in diapauze gaan.

### Nieuwe roofmijtsoorten

Voor een goede tripsbestrijding in de winter zijn diapauzevrije predatoren nodig die beter bestand zijn tegen een lage luchtvochtigheid. Daarom is, in samenwerking met de Universiteit van Amsterdam, gezocht naar een tripsetende roofmijtsoort die minder gevoelig is voor een lage luchtvochtigheid.

In een laboratoriumexperiment werden de roofmijtsoorten *Amblyseius cucumeris*, *Amblyseius limonicus*, *Amblyseius hibisci* en *Amblyseius degenerans*, alle goede tripspredatoren en diapauzevrij, getest op deze eigenschap. Van elke roofmijtsoort werd het percentage uitgekomen eieren bepaald bij vier luchtvochtigheidsniveaus (11,1; 14,6; 16,4 en 21,3

# Mens en gewas vragen verschillend klimaat

*In de glastuinbouw wordt een groot deel van de werktijd in de kassen doorgebracht. Het klimaat in deze kassen is in de eerste plaats afgestemd op optimale gewasgroei. In de praktijk betekent dit dat de luchtvochtigheid meestal niet optimaal is voor de arbeidsomstandigheden.*

**H**oeveel tijd op glastuinbouwbedrijven in de kassen wordt doorgebracht, hangt af van de teelt en in hoeverre de bewerkingen gemechaniseerd zijn. Op jaarrondtomatenbedrijven wordt ruim 80% van de totale werktijd in de kas doorgebracht. Op chrysantenbedrijven kan dit zelfs oplopen tot 95%. Op bedrijven met potplanten op transporttabletten werken de mensen nog maar 10% van de tijd in de kas.

Het klimaat verschilt uiteraard ook per gewas, maar grofweg ligt de temperatuur rond de 20°C en de relatieve luchtvochtigheid (rv) boven de 70%. De werkende mens wil bij dergelijke temperaturen liever een lagere rv.

*Figuur 1* geeft weer bij welke temperaturen en luchtvochtigheden de werkende mens zich prettig voelt. Het gearceerde gebied geeft de zogenaamde behaaglijkheidszone weer. Ondanks dat dit gebied behoorlijk ruim is, komt het bijna nergens overeen met de 'behaaglijkheidszone' van planten.

De meeste planten wensen een mini-

## Een minder gunstig klimaat is niet nadelig voor de gezondheid

mum luchtvochtigheid van 70% terwijl dat voor de werkende mens het maximum is. Bij een aantal gewassen - zoals sla en andere bladgewassen, radijs, anjer en tulp - kan het gedurende de winter flink koud zijn. Ook daarbij voelen mensen zich minder prettig. Het gevolg is dat het prestatievermogen afneemt. Bovendien zal men meer kleren aantrekken om zich tegen de kou te beschermen. Dat kan hinderlijk zijn bij het bewegen.

De aanbevolen temperatuur bij zware

### Werken in een kas

- Mensen willen meestal een lagere luchtvochtigheid dan het gewas.
- Werken in een omgeving met een hoge temperatuur en luchtvochtigheid kost meer inspanning.
- Het beste kan luchtige, vochtabsorberende kleding worden gedragen.
- Boven 38°C moet het werken bij voorkeur geheel gestaakt worden.
- Vochtverlies kan het beste worden aangevuld door regelmatig kleine hoeveelheden lauwe (niet-alcoholische) dranken te drinken.

lichamelijke arbeid is 15°C. Lagere temperaturen dienen zoveel mogelijk vermeden te worden. Omdat hogere temperaturen in kassen veel vaker voorkomen wordt verder alleen daaraan aandacht geschonken.

### Gezondheidsklachten

De kans op klachten door een minder gunstig klimaat is bij gezonde mensen klein. Ook op lange termijn zijn nauwelijks problemen te verwachten. Mensen die lijden aan bijvoorbeeld cara of een afwijking aan de bloedsomloop zullen als gevolg van de hogere luchtvochtigheid eerder klachten vertonen. Dat kan leiden tot een hoger verzuimpercentage.

Het klimaat heeft bij ieder mens invloed op de geleverde prestatie en de inspanning die hiervoor gedaan moet worden.

### Inspanning en prestatie

Werken in een omgeving met een hoge temperatuur en luchtvochtigheid vereist



Drinken moet bij voorkeur op de werkplek aanwezig zijn

meer inspanning. Daardoor raakt iemand eerder vermoeid. In de arbeidskunde wordt dit de klimaatfactor genoemd (*figuur 2*). Deze factor geeft aan hoeveel extra rust gewenst is bij een bepaald klimaat. Of anders gezegd: hoeveel procent men langzamer werkt dan normaal bij dezelfde inspanning.

Werken bij hogere temperaturen is nooit geheel te vermijden. Om de overlast en de negatieve gevolgen zo klein mogelijk te houden zijn een aantal maatregelen te nemen. Zo kan het klimaat in de kas, de kleding, het eten en drinken en het werkritme aangepast worden.

### Klimaat in de kas

Bij hogere temperaturen heeft de luchtvochtigheid een grote invloed op de werkende mens. Dat blijkt wel uit de overzichten van de behaaglijkheidszone en de klimaatfactor. Daarom verdient het aanbeveling bij warm weer te streven naar een zo laag mogelijke luchtvochtigheid door te ventileren.

De temperatuur heeft ook een grote invloed heeft op het welbevinden van de mens. Daarom moet deze eveneens op een aanvaardbaar niveau gehouden worden. De kastemperatuur is te verlagen door luchten, krijten, schermen en door dakberging. Een extra voordeel van



schermen en krijten is dat het de directe straling op de mens sterk vermindert.

### Kleding en drinken

De kleding moet aangepast worden aan het werk en de omstandigheden. Bij hogere temperaturen verdient luchtige, vocht-absorberende kleding de voorkeur. Katoen is in dit opzicht veel beter dan andere natuurlijke stoffen. Kunststoffen zijn niet aan te bevelen omdat ze over het algemeen zeer slecht vocht opnemen. Daardoor ontstaat snel een zweterig gevoel.

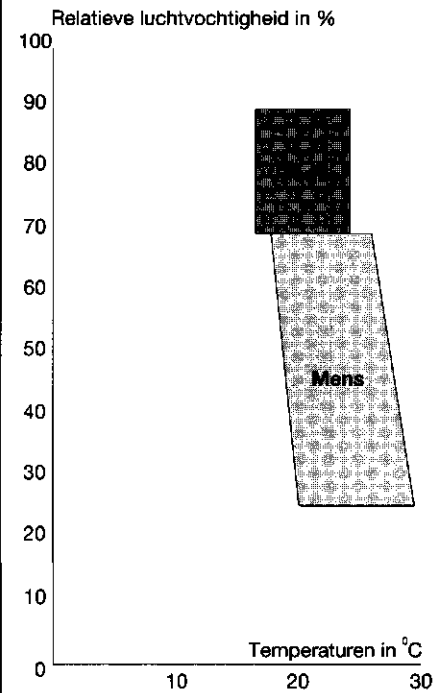
Bij hogere temperaturen zweet je meer. Dit vochtverlies moet gecompenseerd worden. Regelmatig kleine hoeveelheden (per keer maximaal een kwart liter) drinken werkt het beste. Lauwe tot warme dranken verdienen daarbij de voorkeur. Drink bijvoorbeeld thee met weinig suiker, koffie en wissel dat nu en dan af met bouillon. Deze dranken belasten de maag minder en worden sneller in het bloed opgenomen dan koude dranken. Gekoelde en alcoholische dranken zijn uit den boze. Ook melk is niet aan te bevelen omdat dit de spijsverteringsorganen te veel belast. De dranken moeten daar verstrekt worden waar men er gemakkelijk over kan beschikken. Dat is dus op de werkplek en niet honderden meters verderop.

### Werkritme

Bij hoge temperaturen en luchtvochtigheid is de klimaatfactor hoger. Hierdoor

is meer rust nodig. Naarmate de klimaatfactor groter en het werk zwaarder is, moeten de pauzes frequenter en langer zijn. Veel bedrijven houden hier rekening mee. Op hete dagen beginnen de teler en

### Behaaglijkheidszone van de werkende mens bij lichte arbeid en normale kleding en 'behaaglijkheidszone' planten



zijn medewerkers vroeger en stoppen ze eerder. Zodoende wordt langer onder betere en dus korter onder de slechtere omstandigheden later op de dag gewerkt. ■

### Klimaatfactor en inspanning

Bij een temperatuur van 28°C en een rv tussen 55-65% bedraagt de klimaatfactor 1,1. Dit betekent dat iemand zich ten opzichte van normaal 10% meer zal moeten inspannen om dezelfde produktie per tijdseenheid te behalen. Streeft men naar dezelfde inspanning als in een normale situatie (klimaatfactor 1) dan moet men 10% langzamer werken of de werktijd met 10% verkorten. Als het in de kas warmer wordt dan

38°C, moet het werken bij voorkeur geheel gestaakt worden. Bij deze temperatuur en een rv van 50% is de klimaatfactor 2,0. Dit wil zeggen dat de prestatie afneemt met 50% (halveert dus), oftewel dat men twee keer zolang moet werken om eenzelfde produktie te behalen. Bij een hogere luchtvochtigheid wordt de klimaatfactor 2,0 al eerder bereikt. Bij een rv van 90% is dat al bij een temperatuur van 32°C.

Figuur 2 Klimaatfactor

R.V. in %	Temperatuur in C.								
	22	24	26	28	30	32	34	36	38
22						1,03	1,07	1,1	1,17
27					1,03	1,03	1,1	1,17	1,23
32					1,03	1,07	1,13	1,2	1,3
37				1,03	1,03	1,1	1,17	1,27	1,4
40				1,03	1,07	1,13	1,2	1,33	1,5
45				1,03	1,1	1,17	1,27	1,45	1,7
50				1,07	1,1	1,17	1,33	1,6	2,0
55			1,03	1,1	1,13	1,2	1,4	1,75	-
60			1,03	1,1	1,17	1,23	1,5	2,0	-
65			1,03	1,1	1,17	1,3	1,6	-	-
72			1,07	1,13	1,23	1,4	2,0	-	-
80		1,03	1,1	1,17	1,33	1,65	-	-	-
90		1,07	1,17	1,27	1,5	2,0	-	-	-

- klimaatfactor groter dan 2, stoppen met werken.

