



# telen in potdichte kassen

dr. ir. P.J.A.L. de Lint

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| Isolatie en luchtvochtigheid        | 2  |
| Warmtestraling                      | 5  |
| Temperatuurveranderingen en condens | 7  |
| Vochtigheid en verdamping           | 9  |
| Verdamping en bladtemperatuur       | 10 |
| Verdamping en wateropname           | 12 |
| Verdamping en mineralen             | 13 |
| Overwegingen bij de teelt           | 15 |
| Samenvatting en slot                | 17 |

**Telen in potdichte kassen** is als artikelenserie eerder verschenen in Tuinderij, vakblad voor de glasgroenteteler.

# DICHTE, ENERGIEBESPA NIEUWE EISEN AAN

Om zuinig te kunnen zijn met energie, moeten we dichtere kassen gaan bouwen en zullen we minder moeten gaan luchten. Deze twee veranderingen werken allebei het ontstaan van zachte gewassen in de hand.

In de glastuinbouw weet iedereen wel wat een zacht gewas is. Een zacht gewas is kwetsbaar en daarom is het gevaarlijk. Vandaar ook dat we de gewasconditie

beheersen door de kassen te luchten en door te zorgen voor ruimte en openheid in het gewas.

De schaarste aan energie en de daarmee samenhangende hoge gasprijzen, plaatsen de tuinbouw echter voor een heroverweging van de huidige teeltkundige gebruiken. Oók ten aanzien van een zacht gewas. Want, zoals gezegd, om zuinig te kunnen zijn met energie moeten

de kassen dichtere worden en zullen we minder mogen luchten. De vraag is nu: kunnen we „potdicht” telen? Hoe reageren de gewassen daarop? Wat zou er mis kunnen gaan? En wat is daar dan tegen te doen? We kunnen ons echter ook afvragen, of er eigenlijk wel reden is om zo erg bang te zijn voor een zacht gewas. In een serie van 9 artikelen zal materiaal worden aangedragen, dat wellicht bij u

## Telen in potdichte kassen (1)

# ISOLATIE EN LUCHTVOCHTIGHEID

Een kas die op temperatuur is gebracht, moet eigenlijk de daarvoor gebruikte energie niet meer verliezen. Er zijn drie soorten van verlies, die principieel van elkaar te onderscheiden zijn (**figuur 1**)

\* *Ventilatie*, waarbij kaslucht wordt uitgewisseld met buitenlucht. Met betrekking tot de huidige kassen zijn er twee soorten van ventilatie. De eerste is ventilatie door geopende luchtramen. De tuinder kan deze ventilatie regelen met de stand van de luchtramen. En er is ventilatie door lekkage. Afhankelijk van de constructie van de kas ontsnapt er meer of minder lucht door kieren en andere openingen. Deze ventilatie is niet regelbaar en is daarom oncontroleerbaar. Als men deze lekkage niet wenst, moet men een kas bouwen die luchtdicht is en dan geen ventilatie vertoont wanneer de luchtramen dicht zijn.

\* *Convectie*, waarbij de kas door het dek warmte verliest, omdat de warme kaslucht die langs het dek strijkt warmte afgeeft aan de koude buitenlucht die buitenlangs komt.

\* *Uitstraling* van het kasdek naar de hemelruimte of het wolkendek. Dit energieverlies berust op het temperatuurverschil tussen kasdek en de wolken of de hemel.

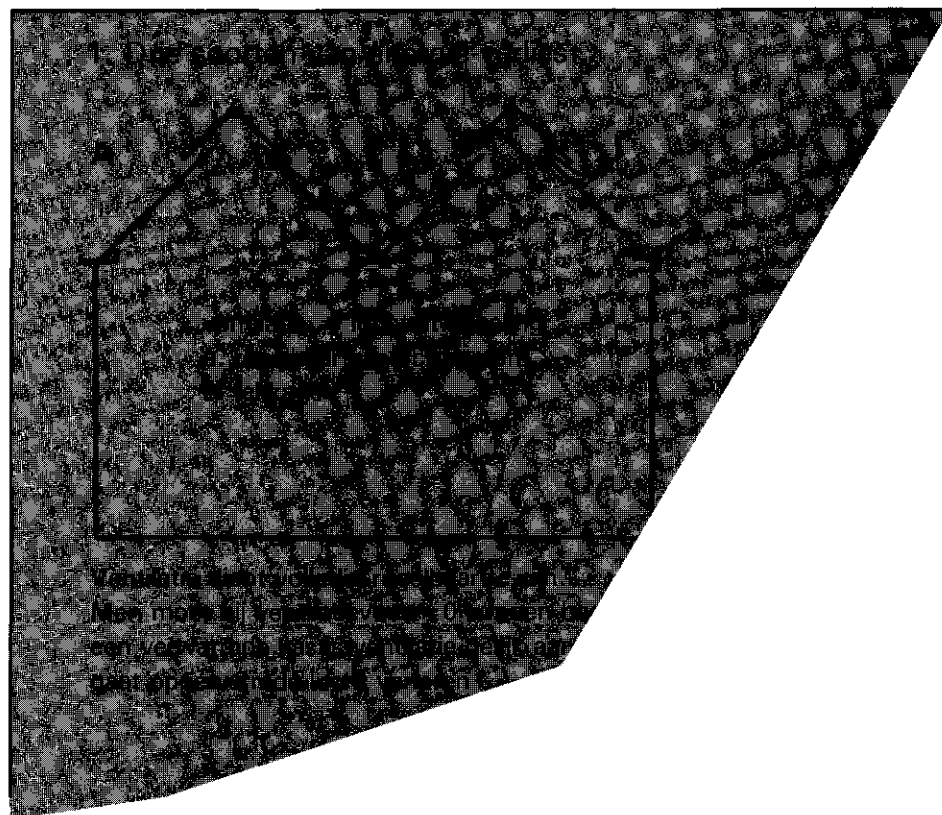
Een energie-zuinige kas moet dus luchtdicht zijn om geen ventilatie-verliezen te lijden en hij moet goed geïsoleerd zijn om geen convectie of uitstralingsverliezen te krijgen.

In zo'n potdichte kas zal tegen het geïsoleerde dek, b.v. het dubbele glas of kunststof, niet zo makkelijk condensatie

Tabel 1: Huidtemperatuur, verzadigde lucht, lucht met 50% r.v. en bijbehorende dauwpunttemperaturen

| Luchttemperatuur °C | Verzadigde lucht g/kg | Lucht met 50 % r.v. g/kg | Bijbehorende dauwpunttemperaturen °C |
|---------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| 10                  | 7.7                   | 3.9                      |                                      |
| 15                  | 10.8                  | 5.4                      | 4.9                                  |
| 20                  | 14.9                  | 7.5                      | 9.5                                  |
| 25                  | 20.4                  | 10.2                     | 14.2                                 |
| 30                  | 27.5                  | 13.8                     | 18.8                                 |
| 35                  | 37.0                  | 18.5                     | 23.5                                 |

Voor elke situatie met een bepaalde r.v. en luchttemperatuur kan met behulp van een tabel nagegaan worden waar het dauwpunt, d.w.z. waterdampverzadiging bereikt wordt. Voor 50% verzadigde lucht moet de lucht ca. 10 °C afgekoeld worden voordat condensatie gaat optreden.



# RENDE KASSEN STELLEN DE TEELTTECHNIEK

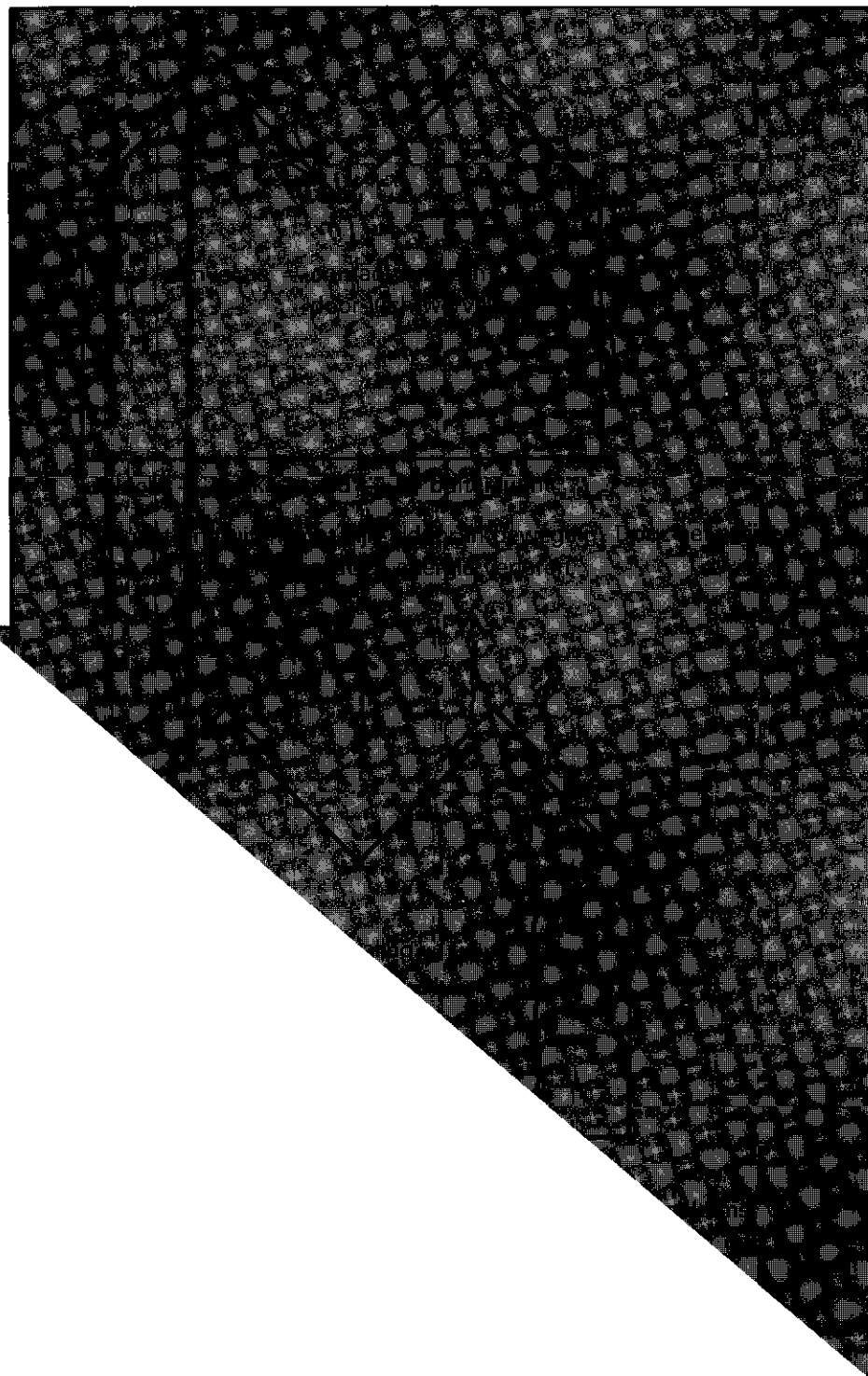
„een lampje zal laten branden”. In de komende nummers van Tuinderij zal het achtereenvolgend gaan over:

ISOLATIE EN LUCHTVOCHTIGHEID  
WARMTESTRALING  
TEMPERATUURVERANDERING EN  
CONDENS  
VOCHTIGHEID EN VERDAMPING  
VERDAMPING EN HET PLANTEBLAD

VERDAMPING EN WATEROPNAME  
VERDAMPINGEN EN MINERALEN  
OVERWEGINGEN BIJ DE TEELT  
SAMENVATTING EN TEN SLOTTE...

Op het laatste lopen we even vooruit. Uit de bespreking van de verschillende onderwerpen zal u blijken, dat het echt potdicht telen best wel eens wat problemen kan geven. Het is echter een feit, dat

door het werken met een dichte kas een stuk energiebesparing voor het grijpen ligt. En daarbij: luchten blijft altijd mogelijk! Isolatieschermen kunnen geopend worden. Belangrijk is, hoever kunnen we gaan? Vandaar dat we u dringend adviseren, de komende serie artikelen vooral goed te lezen. Begin er nu mee!



optreden als bij enkellaags materiaal, omdat de temperatuur van de binnenste laag warmer blijft door de isolatie. Alles wat goed is geïsoleerd blijft op temperatuur. De luchtvochtigheid loopt dan op naar een hogere waarde. Bij een hoge luchtvochtigheid zullen dan echter andere kasdelen, die nog wel iets afkoeling vertonen door energieverlies nat worden, b.v. de roeden, of de kasvoet, of de grond. Die komen dan aan de beurt om beter geïsoleerd te worden, enz.

Uiteindelijk zou men, door condens te bestrijden, een kas kunnen krijgen die zo goed geïsoleerd is, in al zijn onderdelen, dat toch weer onder tegen het dubbele glas of kunststofdek zelf condensatie gevonden wordt. Elke volgende verbetering van de isolatie zal een hogere luchtvochtigheid veroorzaken (**figuur 2**).

Hogere luchtvochtigheid zal in een kas ontstaan naarmate alle dingen waar de lucht tegenaan komt weer dezelfde temperatuur hebben, of dit nu delen van de kas zijn of onderdelen van de plant. Het koudste ding bepaalt de hoogte van de vochtigheid. Op het koudste deel ontstaat condens en dan kan de vochtigheid niet verder oplopen. Als alle dingen precies dezelfde temperatuur hebben, dan pas zal 100% luchtvochtigheid bereikt kunnen worden en onder die omstandigheid wordt dan ook alles tegelijk klam.

Het bovenstaande berust erop, dat koude lucht minder waterdamp kan bevatten dan warmere en dat lucht die bij koude voorwerpen komt afkoelt. Het is dus niet zo, dat koude voorwerpen vocht aantrekken, maar eigenlijk is het zo, dat warme lucht die langs te koude voorwerpen strijkt vocht uitstoot door de afkoeling bij het koude voorwerp (**tabel**).

Lucht in een kas lijkt stil te staan, maar hij is aldoor in beweging. Hele kleine temperatuurverschillen zijn al genoeg om voor beweging te zorgen. Heel langzaam vervalt de lucht door de ruimte. De wervelingen heten convectie en daarom heet de energie die verloren gaat doordat de ▶

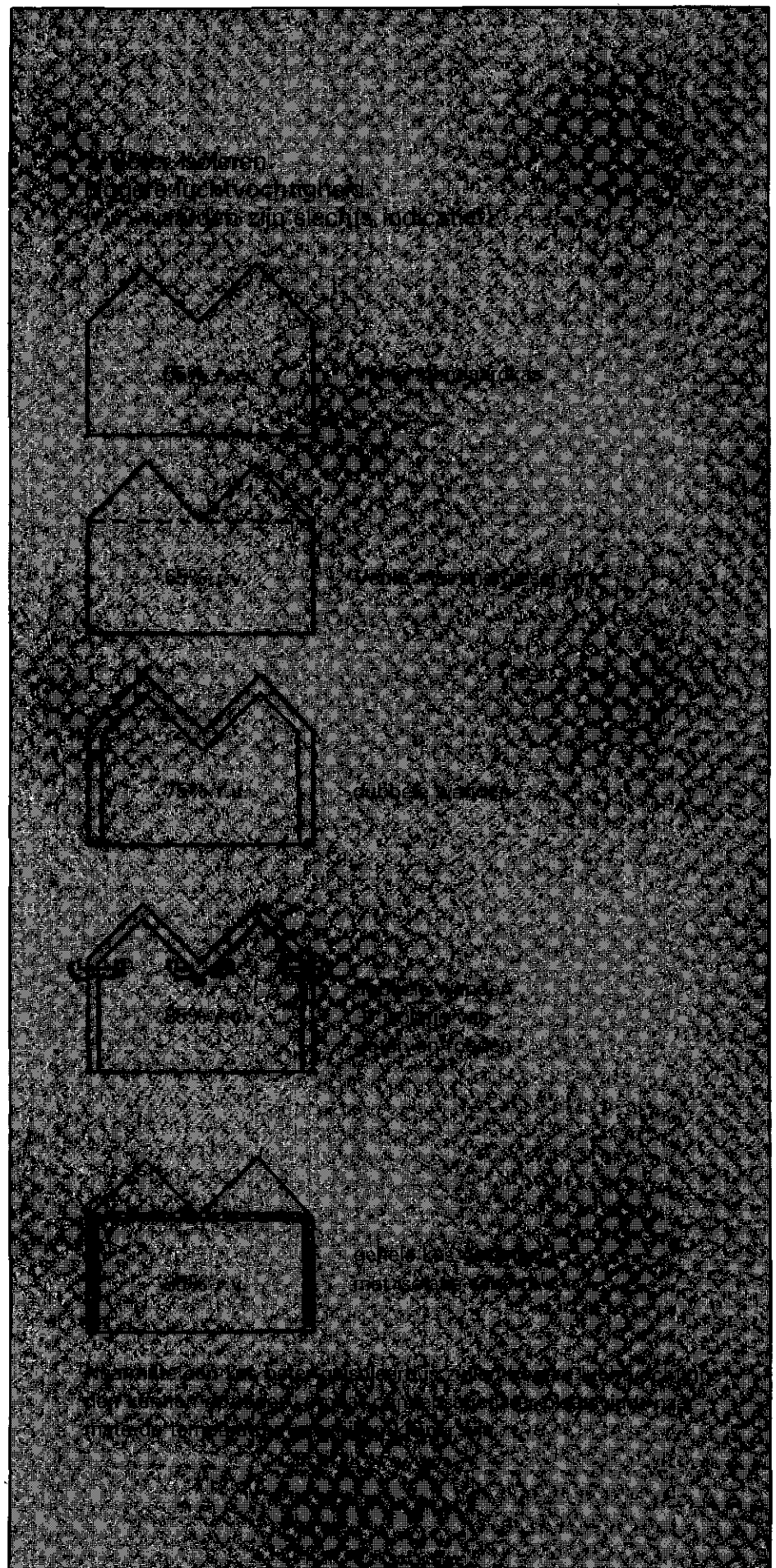
lucht langs een koud dek wervelt convectieve warmte-afgifte. Het is dus contact-overdracht van energie waar het hele luchtvolume aan onderhevig is door de wervelingen (= de convectie). Het kan soms wel even duren, maar alle luchtdeeltjes komen ooit een keer tegen het dek. De snelheid van dit soort beweging neemt toe als de temperatuurverschillen toenemen en de convectie komt tot stilstand als alles precies even warm is.

Het zal duidelijk zijn dat in een potdichte kas in de loop van de tijd toch allerlei luchtvochtigheidsniveaus gevonden kunnen worden en dat het gevonden niveau bij elke omstandigheid afhangt van de isolatietoestand van de kas en van de buitenomstandigheden. En, 100% luchtvochtigheid zal vrijwel nooit voorkomen.

Zodra de vochtigheid een bepaald niveau heeft bereikt en niet meer oploopt is een evenwicht tussen verdamping en condensatie. Alles wat het gewas daarna verdampt zal direkt ergens condenseren. In een volledig gesloten kas gaat vochtafvoer dus geheel via condensatie. Maar het hoeft niet erg vochtig te zijn. Er condenseert steeds evenveel als er verdampt en dat wordt niet beïnvloed door het vochtigheidsniveau. Omdat er evenveel water ontstaat als dat de planten opnemen zou je dus het condenseren in een gesloten kas willen laten gebeuren op de grond, want dan kan het gewas het weer gebruiken. In watercultuur en substraatteelt zou je in een gesloten kas een hele teelt lang nooit water hoeven te geven, behalve natuurlijk het beetje dat gaat zitten in de groei van plant en vruchten.

## In het kort

Een luchtdichte kas die op temperatuur gestookt is mag de gebruikte verwarmingsenergie eigenlijk niet verliezen. Door isolatie van zo'n kas kan op stookkosten bespaart worden, omdat de afkoeling zal verminderen. Kasdelen die (door de verdamping van het gewas) nat worden, zijn het koudste, die verliezen nog energie en die moeten beter geïsoleerd worden. Hoe beter de isolatie is, hoe hoger de luchtvochtigheid zal oplopen. Een luchtdichte kas heeft beslist een hoge luchtvochtigheid, al zal het maar zelden 100% worden. In een luchtdichte kas ontstaat evenveel condenswater als er water verdampt, ongeacht de heersende luchtvochtigheid.





## Telen in potdichte kassen(2)

# WARMTE-STRALING

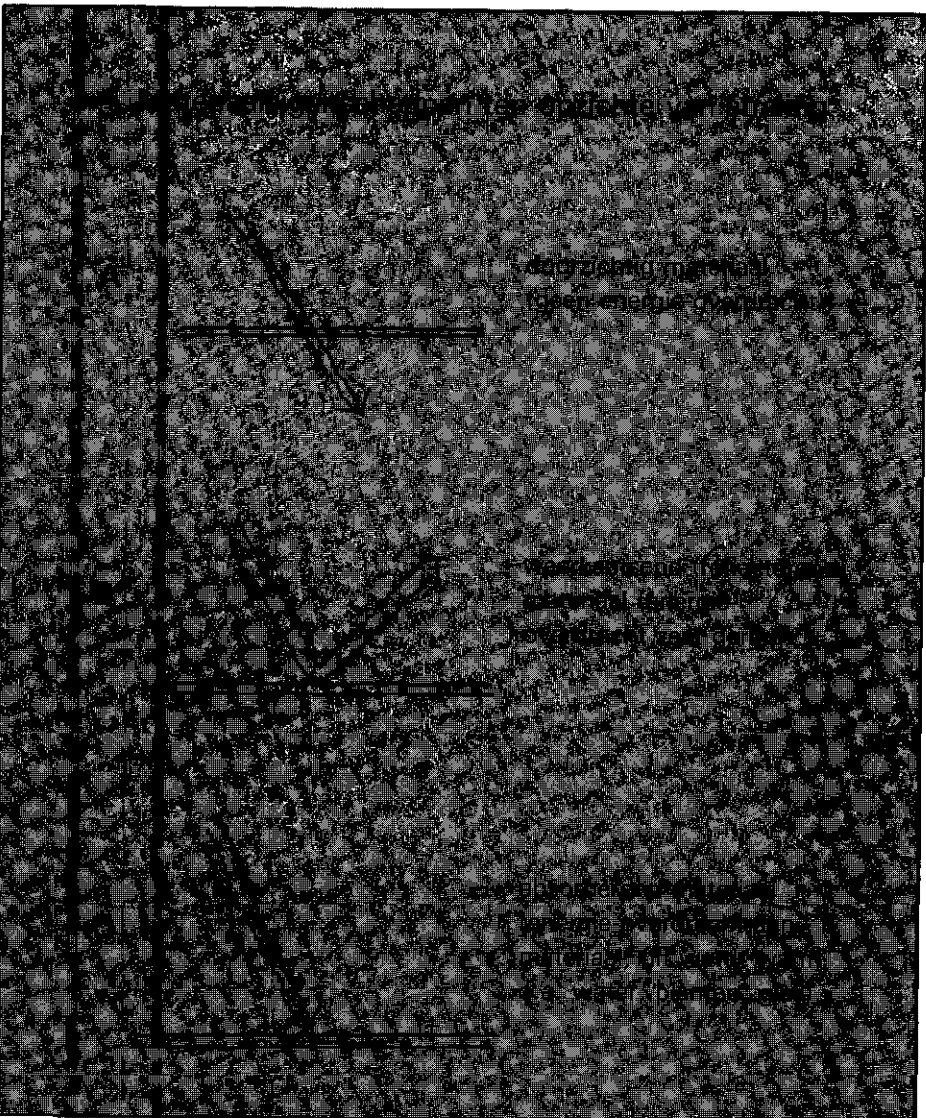
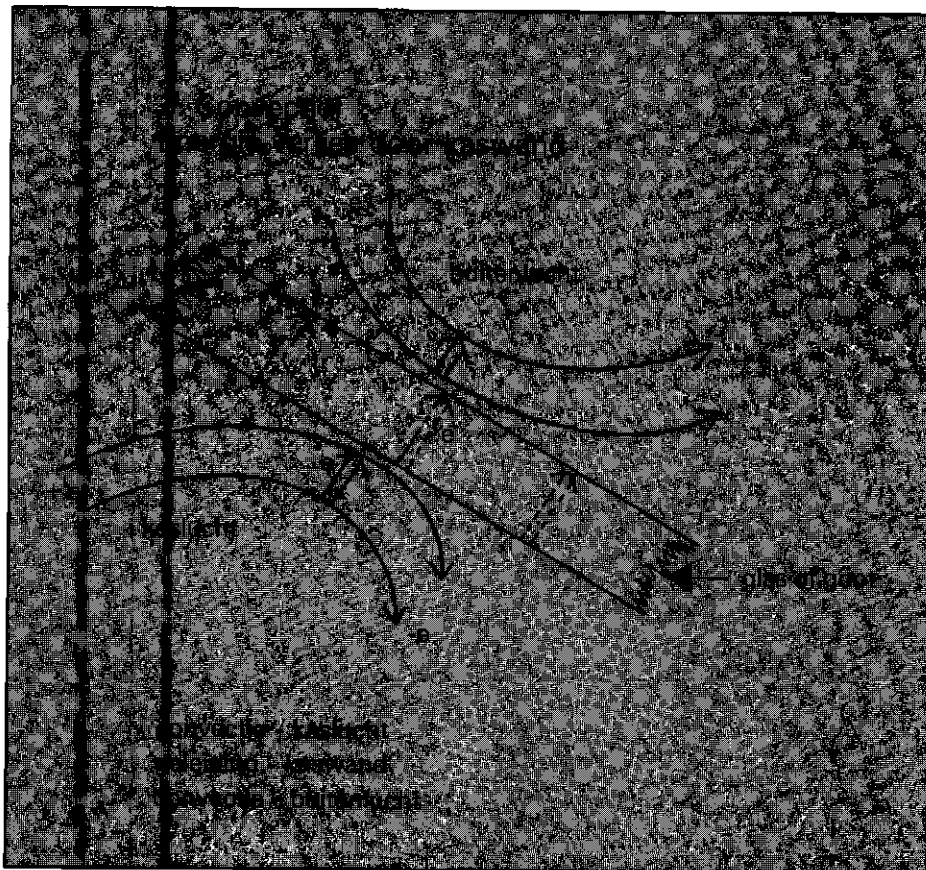
In het vorige stukje hebben we, bij de redenering over de luchtvochtigheid, net gedaan alsof contact-overdracht van energie door convectie van de kaslucht de enige manier van energie-overdracht zou zijn. Maar iedereen weet wel, dat geleiding ook een vorm van energietransport is. In vaste lichamen stroomt energie van warme naar koude plaatsen door van deeltje naar deeltje over te stappen. Geleiding is dus ook een vorm van contact-overdracht. De twee vormen van contact-overdracht van energie (convectie en geleiding) zijn te isoleren door de contacten te onderbreken met materiaal dat niet of slechts zeer zwak geleidend is (figuur 3).

Een echt andere vorm van energietransport is straling. Elk ding straalt wat energie uit. Hoe warmer iets is, hoe meer het straalt. De stralen van een zender worden opgevangen door de voorwerpen in die stralenbaan. Deze antennes ontvangen de energie dus niet door materiële contacten, maar door stralen af te stoppen. Ten opzichte van straling kennen we drie materiaaleigenschappen. Het materiaal is doorzichtig, het is reflecterend, of het is absorberend voor de betreffende straling. Alleen in het laatste geval is er energieoverdracht en door de energie-opname zal het ontvangende lichaam warm worden (figuur 4).

Van al het materiaal dat in en aan kassen gebruikt wordt kunnen we zeggen, dat het allemaal absorberend is voor warmtestraling. Planten en vruchten absorberen ook warmtestraling en ze worden er dus warm van. Er zijn sommige afdek-middelen van metalen delen die enigszins reflecterend zijn, zoals zilverpapier. Warmtestraling doorlatende materialen zijn er niet bij.

Wanneer in onze volledig gesloten kas alles dezelfde temperatuur heeft, dan zal alles even hard energie uitstralen als energie absorberen uit de omgeving. Geen enkel voorwerp wordt warmer en ook niets koelt af. Er is ook geen convectieve overdracht en de luchtvochtigheid is zeer hoog.

Het volgende voorbeeld geeft een indruk welke invloed straling heeft. Als bij voorbeeld midden in de nacht de bewolking breekt en het helder wordt, dan verandert de stralingssituatie. Wolken hebben een temperatuur en ze stralen dus warmte naar het kasdek. De uitstraling door de

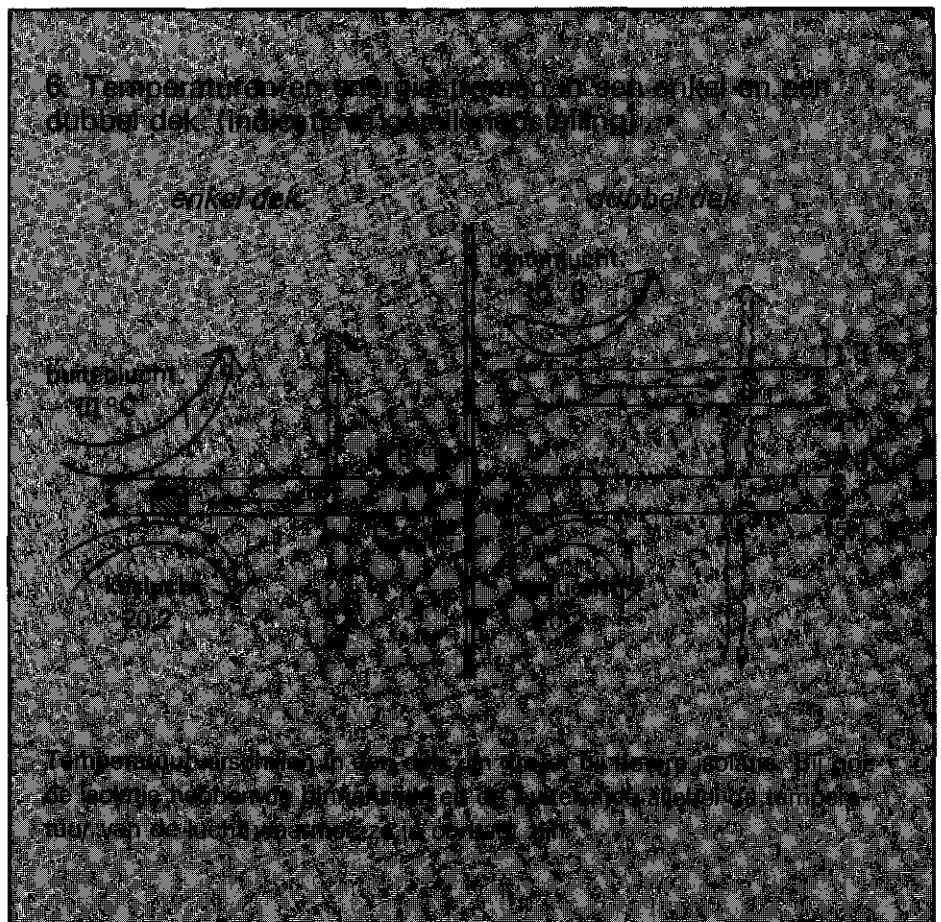
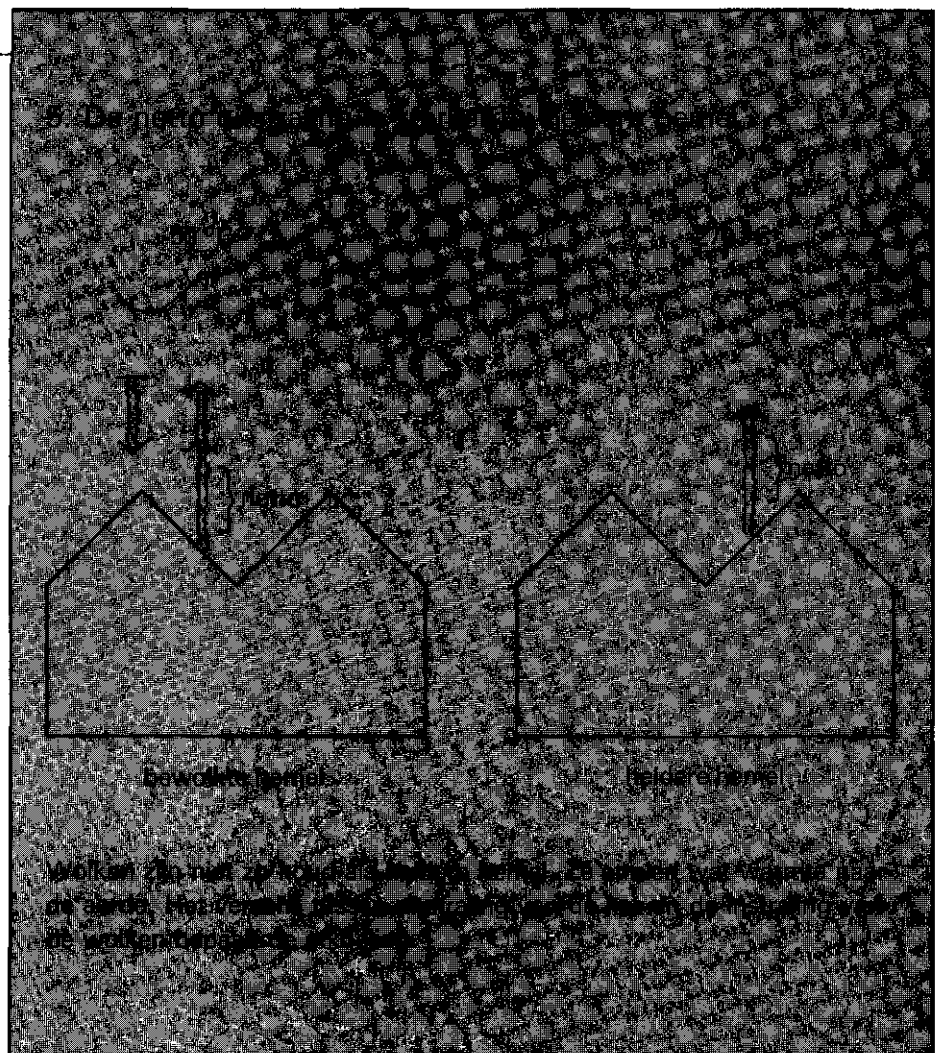


buitenoppervlak van het dek lijkt daar-  
door ruimer dan deze werkelijk is (De  
afkoeling valt mee, omdat er wat warmte  
terugkomt van het wolkendek). De wer-  
kelijke uitstralingswaarden van de kas  
zien we pas bij heldere hemel, want die  
straalt niets terug. Als het 's nachts hel-  
der is zal de buitenzijde van het glas dus  
kouder zijn dan met bewolking (figuur 5).  
Zodra de buitenzijde van het glas afkoelt  
zal er door geleiding energie aange-  
voerd worden uit het midden van de  
glasplaat enz. en dan wordt de hele ruit  
door en door koeler en dus ook de  
binnenoppervlakte. Bij dubbel glas stralen  
de twee binnenste glasoppervlakken  
naar elkaar. Als nu de buitenplaat afkoelt  
vindt er door straling energie-afgifte  
plaats uit de binnenste ruit. De binnenste  
laag zal dan zelf ook kouder worden en  
vervolgens zal b.v. de kasgrond of een  
slagewas straling gaan leveren die ster-  
ker is dan die van de binnenzijde van het  
kasdek en zo koelt ook de grond af, enz.  
(figuur 6).

De luchtlaag tussen de glasplaten werkt  
wel goed isolerend tegen contactover-  
dracht van energie, maar is niet ideaal  
tegen uitstralingsverliezen. Uitstraling  
door lage dektemperaturen is te verklei-  
nen met een scherm dat voor warmte-  
reflectie zorgt. Wel kan men de uitstra-  
ling indirect verkleinen met isolatie te-  
gen het glas, nl. doordat men er dan voor  
zorgt dat in de glasruimten geen tempe-  
ratuurverschillen optreden. Dit wordt be-  
reikt door de convectieve energie-aan-  
voer, b.v. aan de onderzijde van de bin-  
nenruit, te blokkeren met een slecht ge-  
leidende laag.

### In het kort

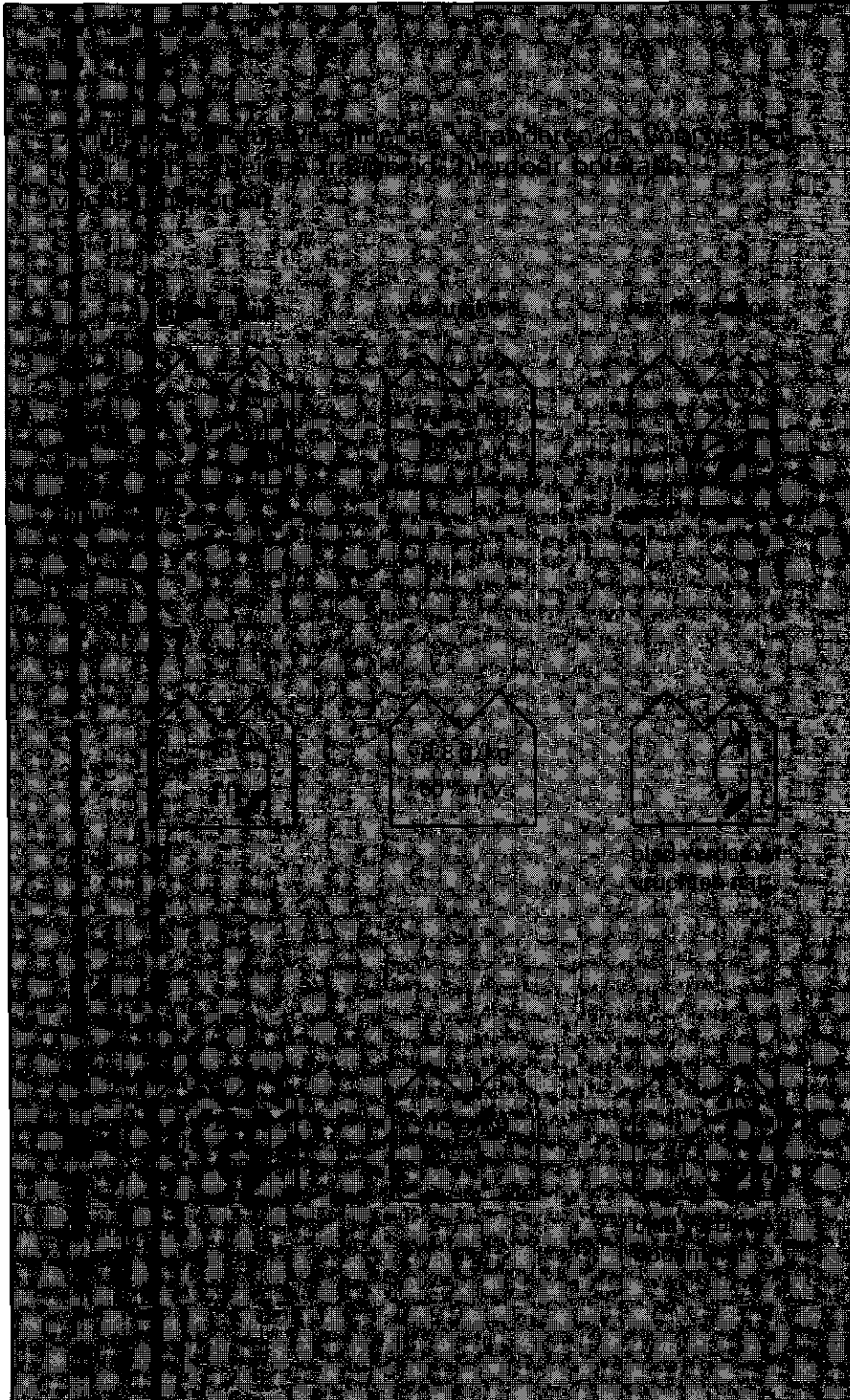
In een kas waarvan alle constructie-  
delen goed geïsoleerd zijn en die  
dubbelgedekt is, met enigszins  
warmtegeleidend glas of kunststof  
platen met luchtspouw, verliest toch  
nog energie, omdat de uitstraling niet  
ongedaan gemaakt wordt door de  
luchtlaag tussen lagen van het dek.  
Deze stralingsverliezen kunnen  
voorkomen worden door een isole-  
rend of een warmte-reflecterend  
energiescherm aan te brengen.





## Telen in potdichte kassen (3)

# Temperatuurveranderingen en condens



Wat in een kas met komkommers gebeurt bij verandering van temperatuur van 10 naar 20° tussen 6 en 10 uur

Tot nu toe is in de presentatie stilzwijgend uitgegaan van de gedachte dat we te maken hebben met een constante temperatuur. Hoe beter de isolatie, ook tegen uitstraling, hoe geringer uiteindelijk de temperatuurverschillen in de kas zullen zijn. Een gevolg daarvan is weer, dat er heel weinig lucht-beweging zal plaatsvinden en dat de luchtvochtigheid hoog zal zijn. Deze situatie is voor kassen natuurlijk onwenselijk.

In elke kas zullen regelmatig temperatuurveranderingen plaats vinden: ten eerste door de werking van de zon en andere buitenomstandigheden en vervolgens ook omdat de tuinder in de loop van een etmaal zijn gewas een zeker temperatuurregime wil geven, of omdat hij zuinig wil stoken, nl. rekening houdend met condities van dag en nacht. We moeten ons dus afvragen:

Wat gebeurt er in een grond-geïsoleerde kas, die ook luchtdicht is, bij temperatuurverandering?

Het grote probleem zit in de verschillende snelheden waarmee de verschillende dingen in een kas van temperatuur kunnen veranderen. Iedereen weet wel dat de grond bijna niet aan temperatuurverandering onderhevig is. Een paar graden warmer of kouder worden duurt bij grond al gauw een dag. De bladeren van de planten daarentegen veranderen snel van temperatuur, terwijl de veel dikkere vruchten er weer wat langer over doen. Deze verschillen hangen samen met de warmte-inhoud van de dingen in verhouding tot hun oppervlak. Er is wat dit betreft geen verschil tussen opwarmen en afkoelen. Een grote komkommer wordt langzaam koud, maar als hij eenmaal koud is duurt het ook weer lange tijd voordat hij warm is geworden. De hoeveelheid warmte-energie die het oppervlak passeren moet, om één graad hogere temperatuur te krijgen is bij een groot, dik lichaam meer dan bij kleine en dunne dingen.

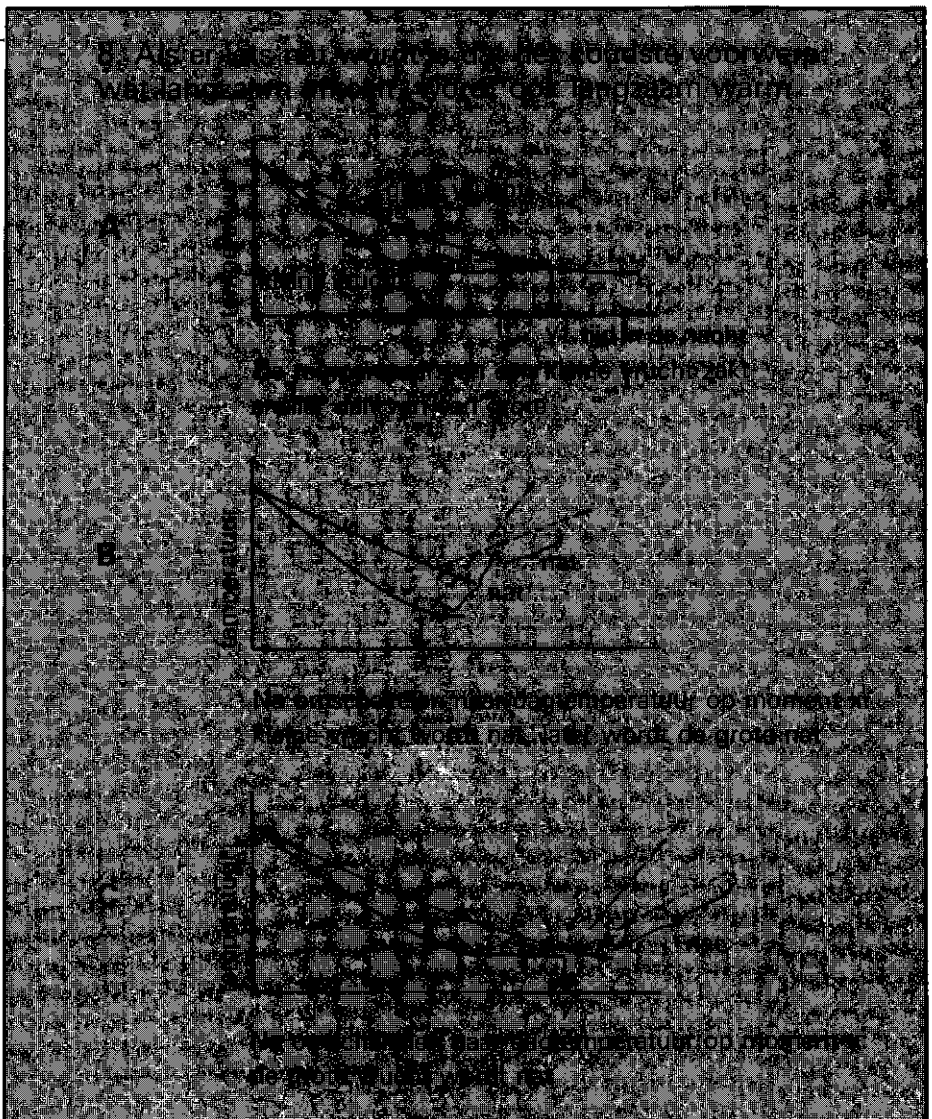
De verwarmingsbuizen zijn wat dit betreft een hoofdstuk apart. Wat de afkoeling betreft zijn het net dikke komkommers, maar de snelheid van opwarmen

regelen wij mensen, met vóórtemperatuur en klepstand. Hierbij wordt de natuurlijke werking van convectie en straling dus buiten spel gezet.

Als 's morgens, als de zon opkomt, de kas door de energie van het zonlicht begint op te warmen (we laten de verwarming uit), dan worden eerst de bladeren warm die door de zon beschenen worden, en dat gaat snel, want ze zijn zeer dun. Ook bladstelen en stengels worden warm door de zon, maar dat duurt langer, want ze zijn dikker. De bladeren verhogen door convectieve energie-afgifte de temperatuur van de lucht. De lucht verwarmt vervolgens de dingen die zich in de schaduw bevinden. De lucht geeft ook warmte aan de grond af, maar die energie wordt over een dikke laag verdeeld door geleiding, zodat de temperatuur van de grond maar heel weinig stijgt. Die grondtemperatuur was aan het eind van de nacht trouwens nog vrij hoog, omdat de warmte-afgifte uit de diepere lagen nog aan de gang was. De lucht verwarmt ook de vruchten, ook dat gaat nogal langzaam. En ook de verwarmingsbuizen worden warm, met een snelheid die tussen die van de grond en de vruchten in ligt (figuur 7). De luchtvochtigheid is aan het eind van de nacht zeer hoog, maar er zit niet zo veel waterdamp in de lucht, want de temperatuur is laag. Zodra de bladeren warmer worden, begint er water te verdampen, want de lucht tegen het blad (en in de holten in het blad) wordt warm. Die lucht kan dan meer waterdamp bevatten en zuigt aan het water in het blad. Door de convectie wordt de lucht verder van het blad af vermengd met de warmere, vochtiger lucht van de bladoppervlakten; wordt ook warmer en gaat ook meer waterdamp bevatten.

Dat is op zichzelf niet erg, maar uiteindelijk komt die warmere, vochtiger lucht bij de vruchten. De lucht geeft wel warmte af aan de koude vruchten, maar die worden daardoor niet snel genoeg warm. De lucht tegen de vruchten wordt dan zelf koud en voor de extra waterdamp, die juist uit het blad verdampt is, is dan geen ruimte meer, zodat de vruchten nat worden. Het kan trouwens best zijn, dat niet de vruchten nat worden, maar dat het de verwarmingsbuizen zijn, nl. in het geval die kouder zouden zijn dan de vruchten en als ze even koud zijn: dan worden ze allebei nat.

Bij afkoeling, b.v. aan het eind van de dag, hebben we precies hetzelfde probleem: ook dan ontstaan temperatuurverschillen. Maar nu is het natuurlijk juist omgekeerd. De dunne en kleine voorwerpen, zoals bladeren, nemen het snelst de lagere temperatuur aan en die worden dus het eerst nat bij temperatuuurdalingen. Afhankelijk van het temperatuurverloop wordt dus dan eens dit nat, dan iets anders. Deze wisselingen kunnen lang of kort duren, en de nat-



Verlaging en verhoging van luchttemperatuur en de aanpassing daaraan van grote en kleine vruchten

perioden kunnen ook lang of kort zijn en het nat worden kan matig en zeer overvloedig plaatsvinden (figuur 8).

Ook in gesloten kassen is het dus mogelijk de condensvorming op het gewas te beheersen. We moeten weten hoe lang blad, stengels en vruchten maximaal nat mogen zijn en daar moeten we dan binnen blijven met de regeling van de temperatuur-aanpassingen. Dat kan door de temperatuurveranderingen voldoende

langzaam uit te voeren, en, eventueel, door er voor te zorgen dat er ergens in de kas (op elk moment van de dag) iets is wat kouder is dan de koudste delen van de plant. Als de lucht op tijd contact krijgt met dat koude lichaam (b.v. koudwaterbuisjes, om maar iets te noemen), dan zal de plant niet nat kunnen worden.

dr. ir. P. J. A. L. de Lint  
Proefstation Naaldwijk

## In het kort

Hoewel in gesloten en goed geïsoleerde kassen die op een constante temperatuur gehouden worden regelmatig zeer hoge luchtvochtigheden zullen optreden, is dit bij wisselende temperatuur veel minder het geval. Bij wisselende temperatuur zal er, vanwege de na-ijling van de temperatuuraanpassing van verschillende kasdelen en plantorganen, een aanzienlijk lagere vochtigheid heersen. Het koudste ding waar de lucht weer mee in contact

komt bepaalt nl. de maximaal mogelijke waterdamphoeveelheid in de lucht. Als dan de lucht een hogere temperatuur heeft, zal de relatieve luchtvochtigheid lager zijn naar mate de lucht warmer is dan het koudste lichaam. Wáár de condensvorming optreedt is dus regelbaar: willen we geen condens op de plant, dan zal iets anders in de kas koeler moeten zijn dan enig deel van de plant. Willen we een lage luchtvochtigheid, dan moeten we een „zeer koud” lichaam in de kas aanbrengen.



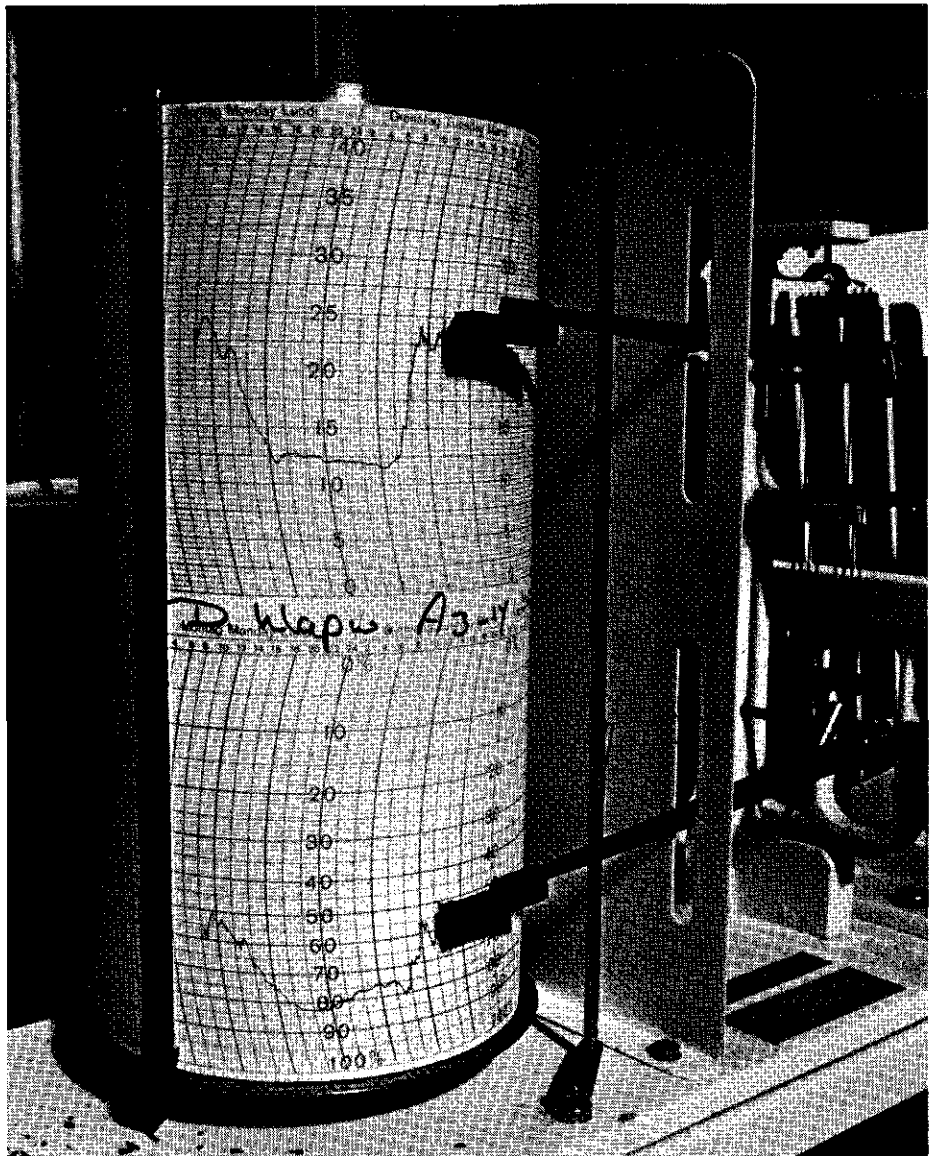
## Telen in potdichte kassen (4)

# VOCHTIGHEID EN VERDAMPING

In de vorige stukjes is globaal aangegeven hoe temperatuur en luchtvochtigheid in een gesloten en goed geïsoleerde kas met elkaar te maken hebben, vooral in verband met het nat worden van plantedelen. Het gaat erom, dat condens te maken heeft met verschillen in temperatuur en dat verschillende dingen en plantedelen in verschillend tempo veranderen naar een ander temperatuurniveau.

Om het verhaal overzichtelijk te houden en om niet van de hoofdlijn af te wijken zijn heel wat zaken die ook een rol kunnen spelen, onbesproken gebleven. Om dezelfde redenen is er ook nogal slordig omgesprongen met sommige termen. Enkele van deze tekortkomingen zullen nu aandacht krijgen.

Doordat de hoeveelheid waterdamp die lucht bevatten kan afhangt van de temperatuur die de lucht heeft, is nauwkeurig rekenen aan luchtvochtigheid nogal een moeilijke zaak. Er zijn daarom tabellen en relatiediagrammen in gebruik waaruit men kan aflezen wat men weten wil. Op grond van meetgegevens over zowel de temperatuur als de luchtvochtigheid (met thermo-hygrograaf, of met droge- en natte- bolthermometers) kunnen de gewenste afleidingen uit de diagrammen afgelezen worden. De absolute luchtvochtigheid is steeds het uitgangspunt. De lucht bevat b.v. 15 g water in dampvorm per kg droge lucht (1 kg droge lucht is 1 m<sup>3</sup>). Of, de dampspanning van het water in de lucht is 23,5 millibar (1 atmosfeer = 1000 millibar).



Het hangt nu van de temperatuur van de lucht af of deze lucht „relatief” erg vochtig is of niet. Lucht van 30 °C kan maximaal ongeveer 27,5 g/kg waterdamp bevatten. Lucht van 30 °C met 14 g/kg heeft dus een relatieve vochtigheid (r.v.) van maar ca. 50 %. Deze lucht is halfverzadigd. Koelen we deze halfverzadigde

lucht van 30 °C af naar 18 °C, dan is ca. 13 g/kg de verzadigingswaarde voor waterdamp en diezelfde lucht is bij 18 °C dus precies verzadigd met waterdamp. Lucht met 13 g/kg waterdamp erin heeft bij 18 °C het dauwpunt bereikt, koelen we nog iets door, dan ontstaat dauw of condens, of mist. Op deze manier is steeds voor lucht met een bepaalde temperatuur en met een zekere vochtinhoud te berekenen hoe groot de temperatuurverschillen mogen zijn om net nog geen condens te krijgen. Hoe hoger de relatieve vochtigheid is, hoe geringer de toelaatbare afkoeling is (zie tabel). Bovendien zijn voor een bepaalde r.v. de marges ook nog kleiner bij lagere temperatuurniveaus.

Eenzelfde redenering, met dezelfde

Vochtigheid in lucht van 20 °C: relatieve vochtigheid, dampdeficit, dauwpunt, verschil lucht en dauwpunttemperatuur

| R.v.<br>% | Vochtinhoud<br>g/kg | Dampdeficit<br>g/kg | Dauwpunt<br>°C | Temperatuurverschil<br>lucht — dauwpunt |
|-----------|---------------------|---------------------|----------------|---|
| 100       | 14,9                | 0,0                 | 20,0           | 0,0                                     |
| 80        | 11,9                | 3,0                 | 16,5           | - 3,5                                   |
| 60        | 8,8                 | 6,1                 | 11,9           | - 8,1                                   |
| 40        | 5,7                 | 9,2                 | 5,7            | -14,3                                   |
| 20        | 2,9                 | 12,0                | —              | —                                       |

meetgegevens, is van toepassing op de verdamping. De verdampingsnelheid neemt toe naarmate de lucht droger is. Hoe groter het tekort van waterdamp in de lucht is, ten opzichte van de verzadigingswaarde, hoe sterker de lucht zuigt aan vloeibaar water. Het dampspanningstekort (deficit), in mbar dampdruk, is de zuigspanning van de lucht waardoor de verdamping, b.v. ook uit bladeren bepaald wordt. Hoe droger de lucht, maar dan op basis van de absolute waarde (g/kg), hoe meer ruimte er nog voor waterdamp in de lucht is, hoe groter de zuigspanning aan het wateroppervlak zal zijn (bij de omstandigheid dat water en lucht dezelfde temperatuur hebben). Nu zagen we eerder, dat lucht die tegen voorwerpen aankomt die kouder zijn, snel afkoelt. Dat is natuurlijk ook zo bij wateroppervlakken. De temperatuur van de lucht die het water raakt daalt tot de temperatuur van het water en de verdampingsnelheid moet dus eigenlijk berekend worden op basis van het dampspanningsdeficit in de lucht bij de temperatuur van het verdampende oppervlak. Als deze temperatuur gelijk is aan de dauwpunttemperatuur die behoort bij de waterdampinhoud van de lucht dan vindt geen verdamping plaats. Naarmate de watertemperatuur hoger is dan het dauwpunt neemt de verdampingsnelheid toe en indien de temperatuur van het water lager is dan de dauwpunttemperatuur van die lucht, dan condenseert er waterdamp op het wateroppervlak. De lucht wordt door het koude water gedroogd. Hoe droger de lucht, hoe lager de dauwpunttemperatuur en hoe kouder het water mag zijn om toch nog te kunnen verdampen. In het volgende artikel zullen we zien dat voor bladeren dezelfde redenering geldig is als voor wateroppervlakken: koud blad verdampst moeilijk, warm blad verdampst veel water.

## Telen in potdichte kassen (5)

# VERDAMPING EN BLADTEMPERATUUR

**Bladeren zijn voor de verdamping ook een soort wateroppervlakken. Ze voldoen in grote lijnen aan de regels die beschreven werden in het vorige artikel. Op een paar eigenaardigheden moeten we echter wijzen. Die zijn niet al te ingrijpend, maar spelen toch soms een merkbare rol bij de verdamping.**

In de eerste plaats zijn bladeren niet zo maar „open” wateroppervlakken, want bladeren hebben een huid, met daarin de huidmondjes waar doorheen het water in het blad contact heeft met de kas-

lucht. De huidmondjes kunnen trouwens ook soms min of meer dicht gaan, waardoor het contact met de lucht verder wordt verkleind. Om deze reden is de verdamping uit een blad minder dan uit een „open” wateroppervlak. Verder is het water in de plant geen zuiver water, maar het bevat opgeloste zouten, suikers en zuren. Het heeft daardoor een bepaalde aantrekkende kracht op water (de osmotische waarde). Oplossingen trekken nl. water aan. Wil water verdampen uit een zoutoplossing dan zal eerst de zuigkracht van de zouten overwonnen moeten worden. De verdamping van regenwater is daarom ook gemakkelijker dan die van zeewater. De zuigkracht van de lucht voor waterdamp moet dus eerst de zuigkracht van de osmotische zuigspanning van de oplos-

Relaties tussen zuigspanningen van water in verschillende situaties

| Waterdamp in<br>lucht van 20 °C |                       | Water in keukenzout<br>(NaCl)-oplossing |                               |
|---------------------------------|-----------------------|---|-------------------------------|
| R.v. %                          | Deficit<br>bar (atm.) | Concentratie<br>mmol/l                  | Osmotische druk<br>bar (atm.) |
| 100                             | 0,0                   | 0,0                                     | 0,0                           |
| 99                              | - 13,4                | 0,1                                     | 3,8                           |
| 98                              | - 26,9                | 0,2                                     | 7,6                           |
| 94                              | - 82,4                | 0,5                                     | 19,0                          |
| 90                              | -140,3                | 1,0                                     | 38,0                          |

Plantesap in houtvaten (stengel)

2,2 bar

Plantesap in bladeren ca. 0,1-0,5 m

ca. 7,5-19,0 bar

Zuigspanning bodemwater (vochtig, normaal bemest)

ca. 1-5 bar

Osmotische waarde voedingsoplossingen

ca. 0,4 bar

### Warmte/energie

| Energie-aspect  | Hoeveelheid<br>(benaderde waarden)<br>MJ |
|---|--|
| Gas:  |  |
| 1 m <sup>3</sup> aardgas (warmte in de kas)                     | 30                                       |
| Verstookt per jaar per m <sup>2</sup> : 50 m <sup>3</sup>       | 1500                                     |
| Verstookt per winterdag per m <sup>2</sup> : 1/3 m <sup>3</sup> | 10                                       |
| Licht:  |  |
| Zonlicht per jaar per m <sup>2</sup>                            | 3500                                     |
| Zonlicht per decemberdag per m <sup>2</sup>                     | 2  |
| Zonlicht per zomerdag per m <sup>2</sup>                        | 20                                       |
| Water:  |  |
| Opwarmen water 1 m <sup>3</sup> 20 → 21 °C                      | 0,42                                     |
| Verdampen water 1 l   | 2,25                                     |
| Verdamping gewas per jaar per m <sup>2</sup>                    | 400                                      |
| Verdamping gewas per decemberdag per m <sup>2</sup> 0,2 l       | 0,45                                     |

Relaties tussen grootheden:

1 kWh = 3,6 MJ

1 cal = 4,2 J

1 MJ = 1.000.000 J

## In het kort

Wanneer men weet hoeveel g waterdamp de lucht per kg bevat, kan men uitrekenen — of aflezen uit diagrammen — hoe ver men deze lucht mag afkoelen zonder condensatie te krijgen. Bij het dauwpunt is de lucht juist verzadigd met waterdamp. Verder afkoelen geeft dauw.

Verdamping voldoet aan dezelfde regels. Water dat de dauwpunttemperatuur van de lucht heeft, verdampst niet. Warmer water wel, en wel steeds sneller naarmate de temperatuur van het water verder boven het dauwpunt van de lucht komt.

sing neutraliseren. De osmotische waarde van een oplossing vertegenwoordigt een zuigspanning voor waterdamp naar de oplossing toe. Het komt er eigenlijk op neer, dat de dauwpunt-temperatuur iets hoger wordt naarmate de concentratie in het water hoger is. De drogende kracht van onverzadigde lucht (de waterdampzuigspanning, of het waterdampspanningsdeficit) moet eerst deze osmotische zuigspanning overwinnen, voordat de verdamping gaat beginnen. De zuigspanningen van plantesappen zijn overigens maar zeer klein ten opzichte van de zuigspanningen van lucht en de dauwpuntverhoging is dan ook slechts in de orde van grootte van 0.1 °C. Daar komt nog bij, dat bij bladeren de waterdruk in de cellen nog van de osmotische waarde afgetrokken moet worden. Dus men moet al heel dicht bij 100 % r.v. zitten, om iets te kunnen merken van de osmotische waarde van de celsappen op de verdamping van bladeren.



Een volgende bijzonderheid van bladeren is, dat ze zeer dun zijn, dat wil zeggen dat ze per cm<sup>2</sup> maar weinig energie behoeven te verliezen om al merkbaar in temperatuur te dalen. Bij energie-uitwisseling met de lucht zagen we al, dat bladeren zeer snel met luchttemperatuurveranderingen meegaan. Voor een nauwkeurige temperatuurberekening van bladeren is het daarom nodig niet alleen rekening te houden met het temperatuurverschil ten opzichte van de lucht in verband met convectieve energie-overdracht en met straling, maar ook met de verdampings- en condensatiewarmte van water. Dit zijn weliswaar betrekkelijk geringe energiehoeveelheden, vergeleken met alle energietransporten in een kas, maar ze tellen toch mee voor de temperatuurregeling van het blad.

Verdampen van water kost energie. Deze energie moet door het blad geleverd worden. Een blad koelt dus af wanneer er water uit verdamt. Maar een koeler blad wordt weer door de aangrenzende lucht opgewarmd, zodat de afkoeling, welke veroorzaakt wordt door de verdamping, uiteindelijk verdeeld wordt over het blad en de lucht. Het temperatuurverschil tussen blad en lucht blijft daardoor altijd beperkt, maar is wat groter bij erg droge lucht in vergelijking met meer vochtige lucht. Wil men een bladtemperatuur regelen via een luchttemperatuurmeting, dan zal men de luchttemperatuur wat hoger moeten houden naarmate de lucht droger is, omdat sterkere verdamping meer afkoeling geeft van de bladeren. Als gevolg van de noodzakelijke luchttemperatuurverhoging wordt de lucht relatief droger; door het grotere deficit vergroten we dus de verdampingssnelheid en daardoor daalt de bladtemperatuur nog verder. De luchttemperatuurverhoging moet dus nog iets hoger zijn. Bij condensatie op een

blad doet zich precies het omgekeerde voor, dan komt al de energie die eerst voor de verdamping nodig was weer vrij als condensatiewarmte. Vindt zowel verdamping als condensatie in de kas plaats, dan gaat er geen energie verloren. Wordt vochtige lucht uit de kas afgevoerd door ventileren en wordt deze lucht uitgewisseld tegen drogere buitenlucht, dan gaat verdampingswarmte verloren ten opzichte van de stookbehoefte. In een gesloten, goed geïsoleerde kas, zitten we met al deze natuurkundige gegevens in een zeer eigenaardige hoek: er zijn zowat geen temperatuurverschil-

len; de luchtvochtigheid is zeer hoog; er is bijna geen luchtbeweging; er is weinig verdamping en daarom vinden we natuurlijk ook niet veel condensatie. Reeds betrekkelijk geringe temperatuurveranderingen, welke door veranderingen in buitencondities of door de tuinder aangebracht worden, zullen deze evenwichtstoestand verstoren en komen we meteen al weer een heel stuk in de richting van de toestand in een huidige kas.

dr. ir. P. J. A. L. de Lint  
Proefstation Naaldwijk

## IN HET KORT

De verdamping van water uit plantebaladeren verloopt in grote lijnen als de verdamping van open water. Door de huid van de bladeren is het water echter ten dele afgedekt en de afdekking kan nog versterkt worden doordat de huidmondjes kunnen sluiten. De osmotische waarde van het celsap,

door de daarin opgeloste stoffen, speelt slechts een zeer onbelangrijke rol, hoewel het dauwpunt van het blad er iets door verhoogd wordt. Verdampings- en condensatiewarmte kunnen aanzienlijk bijdragen tot de temperatuurregeling van het blad. De temperatuurafwijking ten opzichte van de lucht is groter naarmate de verdamping sterker is.



## Telen in potdichte kassen (6)

# VERDAMPING EN WATEROPNAME

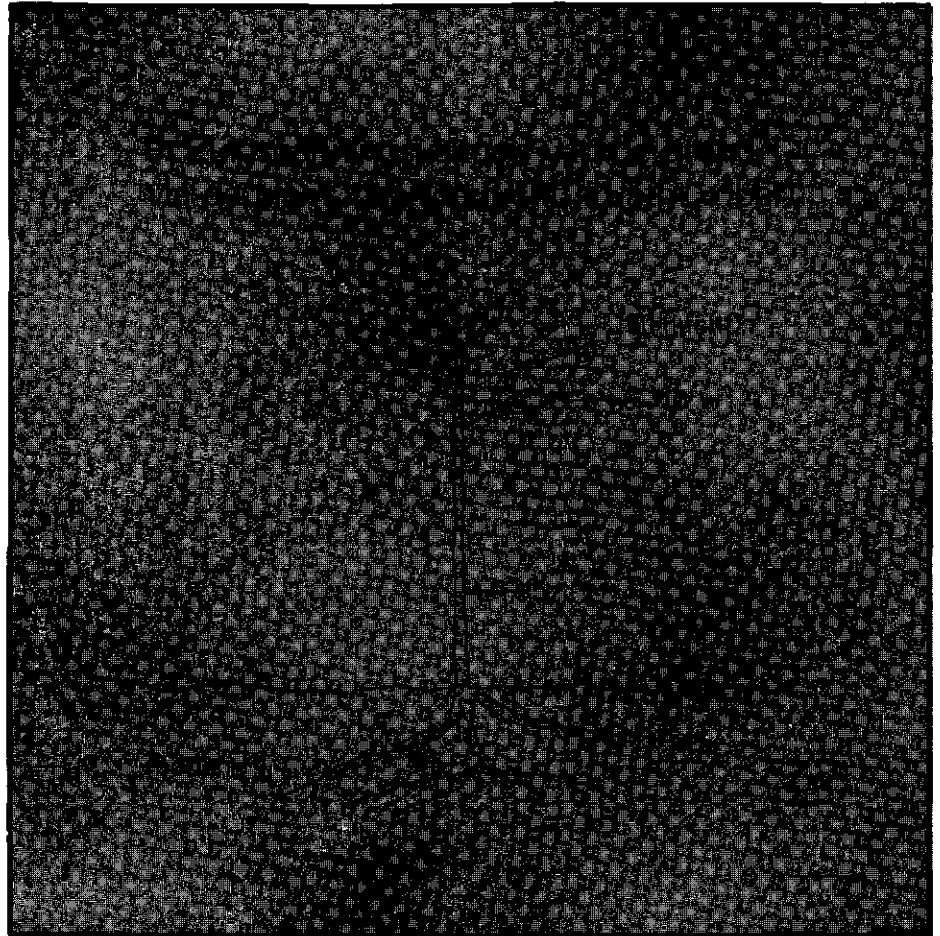
**Planten verdampen water omdat ze niet waterdicht zijn. De verdamping is groot als de zuigspanning van de lucht (het dampspanningsdeficit) groot is, vooral wanneer de lucht flink in beroering is.**

De bladtemperatuur moet wel hoger blijven dan de dauwpuntwaarde van de omgevende lucht. Het blad koelt nl. af omdat er verdampingswarmte nodig is. Deze energie moet tijdig worden aangevoerd, bij voorbeeld door convectie of doordat het blad wordt bestraald. De verdamping kan ook op gang worden gehouden door de lucht sterker te drogen door ergens een kouder voorwerp aan te brengen. De verdamping uit de bladeren van de planten verloopt dus gewoon overeenkomstig de natuurkundige wetmatigheden van de dampspanningen en de bijbehorende zuigspanningen van waterdamp in de lucht.

Precies zoals er uit grond water verdamppt, zo verdamppt het ook uit het blad. Een plant gaat dus geen water verdampen om zijn blad te koelen, maar blad dat te warm wordt, gaat vanzelf meer water verdampen.

Het enige wat een plant kan, is de verdamping verminderen door de huidmondjes in de bladeren te sluiten. Maar ook dat „regelt” de plant eigenlijk niet. Het dichtgaan is het gevolg van de bouw en chemie van de huidmondjes. Wij kunnen de plant zodanig behandelen, dat hij zijn huidmondjes dicht moet doen. Wanneer we de watertoevoer via de wortels te klein maken wordt het blad slap en dan moeten de huidmondjes dicht gaan. Wanneer we te hoge CO<sub>2</sub>-concentraties in de lucht aanbrengen gaan ook de huidmondjes dicht. De plant kan onder die omstandigheden zijn huidmondjes niet openhouden, dus hij heeft er zelf geen zeggenschap over. Dat betekent dat wij moeten weten wat we doen als we de verdamping met de huidmondjes willen regelen.

Ten opzichte van de verdamping en de luchtvochtigheid zijn planten met hun bladeren eigenlijk in een kas een soort lamellen ter vergroting van het verdampend oppervlak van de grond. Water uit de grond stroomt door wortels en stengels naar de bladeren en verdamppt daar. De plant neemt het water dus passief op: Er verdamppt water uit het blad, het blad wordt droger, of (in natuurkundige termen) de zuigspanning in het blad neemt



toe, lager in de plantestengel is nog water met minder zuigspanning, dit zal (door het verschil in zuiging) moeten opstijgen, dan is het water in de wortels aan de beurt en tenslotte zal het water in de grond de wortel in moeten stromen, vanwege een zuigspanningsverschilletje tussen wortel en bodemwater (figuur 9). Wat deze waterstroom betreft is de plant ook weer gehoorzaam aan de natuurkunde. Ook hier kunnen de wortels (weer net als de huidmondjes) alleen maar eventueel remmend werken. Bij voorbeeld bij te koude grond, of bij zuurstofgebrek in de grond, of bij een te klein wortelstelsel wordt de doorstroommogelijkheid verkleind. Kasgewassen hebben het eigenlijk, vergeleken met veel planten die buiten staan erg gemakkelijk wat hun waterhuishouding betreft. Want in een kas is het vrijwel windstil (geringe convectie) en wind versterkt de verdamping. In een kas is de luchtvochtigheid gemiddeld hoger dan buiten, waardoor ook de verdamping in een kas geringer blijft.

De stralingsintensiteit van de zon is in

een kas ook minder dan buiten, omdat een kas zo'n 30 tot 50 % van het licht onderschept, zodat dat niet op de planten komt.

In de grond is de situatie ten aanzien van de watervoorziening ook beter. Kassen staan op de beste diepe profielen die we kennen. De vochttoestand van de kasgrond wordt in het algemeen ideaal gehouden. De mestconcentratie wordt op een lage zoutwaarde geregeld en de bodemtemperatuur wordt verhoogd als dat nodig is. Tegenover al deze gemakken, voor een goede watervoorziening in de plant, staan een paar nadelen: de plant ontwikkelt grote, dunne bladeren met een zeer lage osmotische waarde en met een dunne waslaag op de huid (zodat ook met gesloten huidmondjes nog water kan verdampen). En de groei van het wortelstelsel is verhoudingsgewijs langzaam ten opzichte van die van de bladeren. Dit betekent, dat de bouw van de plant aangepast raakt aan de gemakken in de watervoorziening en daardoor drogere omstandigheden niet goed zal kunnen doorstaan. Constantheid van behandeling moet worden nagestreefd. Men kan niet ineens de omstandigheden wijzigen. De plant moet een paar dagen de tijd krijgen om zich aan te passen. Overgangen naar scherp weer moeten dus geleidelijk zijn en anders moet de plant er tijdig op worden voorbereid. Hoe milder de teeltomstandigheden waren, desto ernstiger deze problemen kunnen zijn. Of hoe milder de omstandigheden, hoe minder verandering in de conditionering mogelijk is zonder het gewas schade toe te brengen.

#### Verdamping van planten

#### Verschil tussen binnen en buiten

| Buiten              | Binnen              |
|---------------------|---------------------|
| Wind                | Geen beweging       |
| Zon                 | 70 % zon            |
| 40 % rv.            | 50 % rv.            |
| Matige bouwvoor     | Ideaal profiel      |
| en watervoorziening | en watervoorziening |

## In het kort

**De verdamping van planten verloopt geheel volgens de wetten der waterdampzuigspanningen. Luchtvochtigheid en temperatuurverschil tussen blad en lucht bepalen de verdampingssnelheid. De openingstoestand van de huidmondjes kan voor enige reductie van de verdamping zorgen. De toestroming van water uit de grond naar de bladeren kan worden beperkt door het wortelstelsel en de conditionering daarvan.**

**Permanent gemakkelijke watercondities leveren planten die gevoelig zijn voor drogere omstandigheden, zodat bij weersovergangen aanpassingsreacties nodig zijn.**

## Telen in potdichte kassen (7)

# VERDAMPING EN MINERALEN

**Een plant waaruit water verdampst en waarin water uit de grond naar binnen stroomt, staat maar zelden in puur water, want de grond is door ons tijdig bemest. Het water in de grond bevat mineralen die daar, meestal in de vorm van ionen, in opgelost zijn. De ionen stromen met het water mee de plantewortel binnen.**

Nu is het gelukkig zo, dat de meeste ionen veel moeilijker door de wortel worden doorgelaten dan water. De plant zou anders snel totaal verzuilten, want het water verdampst uit het blad, maar de ionen niet. De ionen blijven in de plant achter. We hebben hier te maken met een zelfde indikkingsproces als in de bovenste verdampende laag van grond of substraat. Soms is de verdamping uit de grond zo sterk, dat de zouten uitkristalliseren en een korstje vormen op het substraat.

Bij planten komt het bijna nooit tot echte kristallisatie, maar in de plant zijn wel alle concentraties aanzienlijk hoger dan in de bodemoplossing. Dat de situatie in de plant meevalt, komt omdat ionen en water niet één op één door de wortels worden doorgelaten. In de wortel wordt de opname van ionen afgeremd ten opzichte van de verdampingsstroom. De doordringing voor elk ion heeft een specifieke waarde en die hangt vervolgens op bijzondere wijze af van de wortelcondities. Bij voorbeeld naarmate de concentratie in de wortel hoger is, verloopt de verdere ion-opname trager. Het zal trouwens ook duidelijk zijn dat de indikking van de oplossing al aan de buitenkant van de wortel begint. Het water dat direct rondom de wortel zit, wordt namelijk sneller opgenomen dan de ionen.

De concentratie van de ionen wordt in die grenslaag tegen de wortel aan dus hoger. Bij matig vochtige grond kan dat grote vormen aannemen, in watercultuur is dit effect betrekkelijk klein.

Eenmaal in de plant worden de opgenomen ionen verder getransporteerd, met ook weer een geleidelijke concentratieverhoging naar de bladeren toe: in de plant zelf is ook weer het verlies van water uit de bladeren voelbaar als hoge-

re ionen-concentratie. Intussen worden natuurlijk veel van de nuttige ionen verwerkt bij de groei van de plant. Ze worden vastgelegd in organische droge stof van het plantenlichaam. Na vastlegging dragen ze natuurlijk niet meer bij aan de concentratie van het plantsap. Ze zijn dan niet meer in oplossing. Eigenlijk moest een plant, die eenmaal op concentratie is, dagelijks precies zoveel ionen opnemen als nodig is voor de groei, voor inbouw en concentratie-behoud. Afhankelijk van de verdamping kan dat met de concentratie en samenstelling van de voedingsoplossing aardig worden geregeld.

Als een plant flink heeft staan verdampen, bij voorbeeld aan het eind van een dag, dan zal zijn inwendige concentratie zijn gestegen. Als vervolgens, in de nacht, de verdamping tot stilstand komt (of, in elk geval veel minder wordt) zal er een tweetal aanpassingen plaatsvinden. In de eerste plaats zullen de zuigspanningsverschillen van blad tot wortel nivelleren. Nu het blad geen waterdamp meer verliest, zal de hogere concentratie (= grotere zuigkracht) van de bladsappen ten opzichte van die in de lager gelegen organen zich nog laten gelden, totdat de hele plant inwendig een gelijke zuigspanning heeft.

Enige tijd lang zal er, na afgenomen verdamping, nog water naar het blad blijven stijgen om de hoge concentratie te verdunnen.

In de tweede plaats heerst in de wortels trouwens ook een hogere concentratie dan in de grond, dus de wateropname gaat door, ook al vindt er geen verdamping meer plaats. Deze opname stopt pas als de hele plant op volle spanning staat: de waterdruk in de cellen is dan net zo groot als de zuigkracht van de oplossing in de cellen. In die nachtelijke eindsituatie zal dan nog de concentratie in de bladeren hoger zijn dan in de wortel. Dit betekent, dat de waterdruk in bladcellen ook hoger is dan in die van de wortels. Het kan zelfs zo zijn dat de concentratie in de bladcellen gedurende de verdampingsperiode overdag zo hoog is opgelopen dat de aanzuiging van water te sterk wordt. Er ontstaat dan een inwendige waterdruk die té groot is voor de wandkwaliteit van de cellen en het cellsap begint weg te lekken door de celwand heen. We krijgen dan te maken met verschijnselen als glazigheid (vollopen ►

**1) Voedingsoplossing**

Bij een teelt op steenwol moeten continu, wanneer wordt watergegeven, meststoffen aan het gietwater worden toegevoegd. De samenstelling, waaruit de voedingsoplossing in de steenwol tijdens de teelt moet bestaan, is als volgt:

|           |  |                        |
|-----------|--|------------------------|
| stikstof  | (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )                | 12 mval/l              |
| sulfaat   | (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )               | 7 mval/l               |
| fosfaat   | (H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ) | 1 mval/l of 31 mg/l P. |
| kali      | (K <sup>+</sup> )                              | 7 mval/l               |
| calcium   | (Ca <sup>++</sup> )                            | 9 mval/l               |
| magnesium | (Mg <sup>++</sup> )                            | 4 mval/l               |
| mangaan   | (Mn)   | 0.5 mg/l               |
| borium    | (B)  | 0.5 mg/l               |
| zink      | (Zn)   | 0.5 mg/l               |
| koper     | (Cu)   | 0.02 mg/l              |
| ijzer     | (Fe)   | 2.0 mg/l               |
| molybdeen | (Mo)   | 0.05 mg/l              |

Het geleidingsvermogen van de oplossing is ± 2.2 mmho/cm bij 25 °C en de osmotische druk ongeveer ¼ atm.

**2) Hoeveelheden**

Voor het verkrijgen van de bovengenoemde voedingsoplossing, moeten onderstaande hoeveelheden meststof per liter water worden toegevoegd. Doorgaans kan men tijdens de teelt werken met een concentratie van 0.3 tot 0.4 atmosfeer.

|     |                  |   |         |
|-----|------------------|---|---------|
| I   | kalksalpeter     | (Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O)               | 824 mg  |
|     | kalisalpeter     | (KNO <sub>3</sub> )   | 293 mg  |
| II  | kalibifosfaat    | (KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> )                                  | 136 mg  |
|     | zwavelzure kali  | (K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )                                   | 257 mg  |
| III | bitterzout       | (MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O)                              | 496 mg  |
|     | mangaansulfaat   | (MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O)                               | 2.0 mg  |
|     | borax            | (Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O) | 4.2 mg  |
|     | zinksulfaat      | (ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O)                              | 2.0 mg  |
|     | kopersulfaat     | (CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O)                              | 0.08 mg |
|     | ijzerchelaat     | (Fe-EDDHA Chel 138 Fe)  | 40. mg  |
|     | natriummolybdaat | (Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O)               | 0.13 mg |

\* Tabel 1 en 2 zijn overgenomen uit:

C. Sonneveld en S. voogt — „Bemesting in de tuinbouw onder glas”



Als de inwendige waterdruk te groot is ontstaan verschijnselen als guttatie

**Kationen in guttatiewater (mg/l)**

(eenmalige waarneming - v. Uffeien)

|    | Leidingwater | Bodemoplossing | Guttatiewater |
|----|--------------|----------------|---------------|
| K  | 9            | 270            | 100           |
| Ca | 117          | 180            | 300           |
| Mg | 16           | 50             | 125           |

met celsap van de luchtholten tussen de cellen in het blad) of met druppelen van bladeren (gutteren). De spanningen waar de cellen tegen bestand zijn, hangen vooral af van een regelmatige voorziening van calcium (Ca) gedurende de vorming van de cellen. Met een goede Ca-voorziening ontstaan zeer waterdichte cellen. Veel problemen met afsterven van organen (bladeren, neusrot brandkoppen) moeten dan ook waarschijnlijk in een onvoldoende Ca-voorziening worden gezocht.

dr. ir. P. J. A. L. de Lint

Proefstation Naaldwijk

**In het kort**

De verdampingsstroom van water door de plant veroorzaakt een concentratieverloop van mineralen van lage naar hoge waarden vanaf de bodemoplossing tot in de bladeren. De mineralenvoorziening van de plant is de resultante van bodemconcentratie en mengsel van elementen en de sterkte van de verdamping. Deze kunnen op elkaar worden afgesteld, zowel ter dekking van de mineralen als bouwstoffen, als ter regeling van de gewasgevoeligheid.



## Telen in potdichte kassen (8)

# OVERWEGINGEN BIJ DE TEELT

**Uiteindelijk is de vraag: kunnen we telen in een potdichte kas? En: wat is daar voor nodig? Planten die permanent bij zeer hoge luchtvochtigheden groeien (rv. tussen 95 en 99 %) zullen minder verdampen dan we nu gewend zijn. Ze zullen daardoor wat grotere bladeren vormen, want de bladcellen zullen tot maximale grootte uitzetten. Maar, het moet worden gezegd, dat we met de huidige teeltmethoden daar in de winter toch al niet zover vandaan zijn.**

De opname van zouten zal wat minder kunnen zijn. Dat deze opname in ernstige mate beperkend zal worden, ter voorziening in de behoefte van meststoffen, is niet te verwachten. Daartoe zou voor sommige mineralen wel een hogere concentratie in de bodemoplossing kunnen worden aangehouden. De te verwachten weelderige groei en de daarmee gepaard gaande zachtheid van het gewas, zouden wellicht geenszins kunnen worden beheerst door een algemeen hogere zoutconcentratie in de bodem. Speciaal tijdens zon-uren (met redelijke verdamping) zou dan, ook in de winter, een zekere zoutlast in de bladcellen kunnen worden opgebouwd. Ook zou de bladcelstrekking misschien gunstig kunnen worden geremd door tijdelijke verlagingen van de worteltemperatuur, wat vooral in substraatteelten kan worden overwogen. Dit laatste aspect van groeibeheersing zou aan de orde kunnen komen bij (of een korte tijd vóór) de omslag naar sterk zonnig weer (ca. half april) wanneer moet worden begonnen met luchten om de kasluchttemperatuur binnen de perken te houden. De planten zouden dan misschien gemakkelijker de overgang van volledig gesloten teelt, naar het teeltregime mét luchten in de zomer volbrengen. Om geen problemen te krijgen met condensatie op het gewas (bij voorbeeld bij daling van de luchttemperatuur) lijkt het noodzakelijk dat er een lichaam in de kas wordt aangebracht, dat altijd net iets kouder is dan het koudste plantedeel. Deze condensvanger dient regelmatig (evenals verwarmingsbuizen) door de



Een hogere zoutconcentratie kan helpen om een te wettig gewas te voorkomen. Het middel natuurlijk wél met verstand hanteren

kas te zijn verdeeld, zodat alle lucht er voldoende tijd langs kan strijken. De temperatuur ervan hoeft niet zeer laag te zijn. Grond- of slootwater zal meestal wel koud genoeg zijn. Door de geringe verdamping en tevens door de onderdrukte uitstraling naar het kasdek zullen de bladeren weinig energie verliezen en ze zullen dus nauwelijks temperaturen aannemen die lager zijn dan de luchttemperatuur. Bij de huidige teeltmethoden is het blad 's nachts vaak enige graden lager dan de luchttemperatuur in de kas. Het zou daarom best eens kunnen zijn, dat ondanks de hoge luchtvochtigheid bij potdicht telen toch minder vaak glazigheid zal voorkomen. Om de planttemperatuur op hetzelfde niveau te houden als bij de huidige teelttechniek, zal waarschijnlijk in een geïsoleerde, goed gesloten kas een wat lagere luchttemperatuur moeten worden aangehouden. Het gewas zou anders een te grote groeisnelheid krijgen en over de kop worden gestookt. Dit effect van geringere verdamping levert trouwens een extra besparing op energie en is dus een bijkomend effect van goede isolatie. Overigens is het bovenstaande, hoewel zelfs dat allemaal nog lijkt mee te vallen, een veel te som-



Zo'n probleem als broeikoppen moet bij telen in dichte kassen extra aandacht krijgen

## CO<sub>2</sub>-hoeveelheden

### OPWEKKING

**1 m<sup>3</sup> aardgas geeft ca. 1.000 l CO<sub>2</sub>**  
**Lucht bevat ca. 0,31/m<sup>3</sup>**  
**Kaslucht moet bevatten ca. 0,1 % = 1 l/m<sup>3</sup>**  
**Er moet dus worden toegevoegd 0,7 l/m<sup>3</sup>**  
**Met 1 m<sup>3</sup> aardgas is dus 1.400 m<sup>3</sup> kaslucht te verkrijgen**  
**Luchtvolume per 1.000 m<sup>2</sup> kas is ca. 2.800 m<sup>3</sup>.**

### VERBRUIK PLANTEN

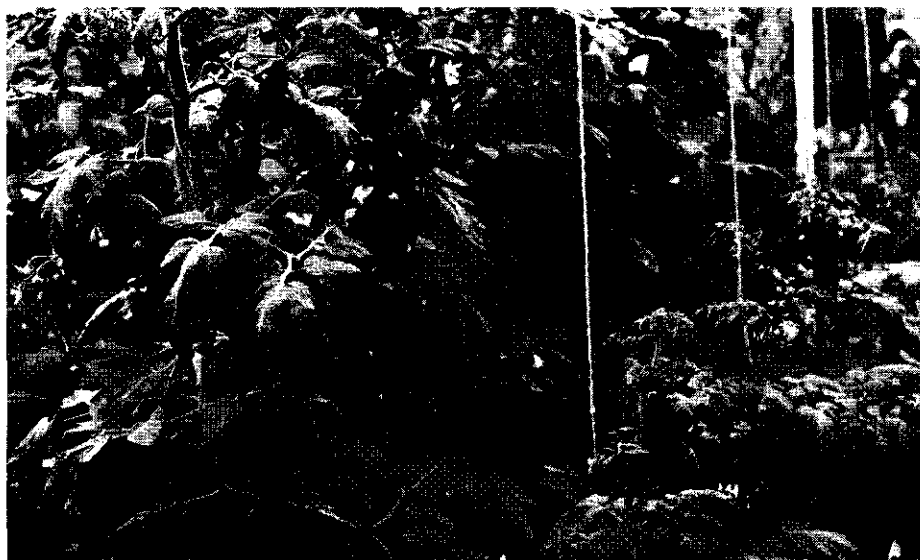
**Planten nemen CO<sub>2</sub> op: 0,5-2 l/m<sup>2</sup> / uur (als de zon schijnt)**  
**Per 1.000 m<sup>2</sup> gewas maximaal nodig 2.000 l / uur**

### BENODIGDE HOEVEELHEDEN

**Luchtverversing voor 1.000 m<sup>2</sup> kas kost:**  
**bij 2 maal per uur 4 m<sup>3</sup> gas / uur**  
**bij 1/4 maal per uur 1/2 m<sup>3</sup> gas / uur**  
**Verbruik planten kost: maximaal 1 1/2 m<sup>3</sup> gas / uur**



Een CO<sub>2</sub>-regeling is bij „poldicht” telen noodzakelijk



Bij dicht telen kunnen de bijgassen van CO<sub>2</sub> problemen gaan geven, zoals hier bijv. bloemrui als gevolg van ethyleen

bere vaststelling van zaken. Het zal zeker geen regel zijn, ook niet in de poldichte kas, dat de rv. boven 95 % komt. Het zal wel gemiddeld vochtiger worden dan we nu kennen, maar de gevarenszone van 95 %-en-òp zal uitzonderlijk blijven. Het

is intussen wèl zeker, dat in een luchtdichte kas CO<sub>2</sub>-regeling nodig is. Overdag moet er CO<sub>2</sub> worden gegeven. Er is per se een regelaar met een doseersysteem nodig. Men zal moeten beschikken over een aparte, kleine brander (maar

toch van voldoende capaciteit), want bij de geïsoleerde kas zal een grote ketelbrander te vaak stilstaan. Misschien valt zelfs zuivere CO<sub>2</sub> te overwegen. Als de kaslucht eenmaal op concentratie is, behoeft daarna nl. alleen nog maar te worden aangevuld wat het gewas verbruikt. En in het winterhalfjaar bij niet volgroeide gewassen is dat niet zo veel. Wie ooit van plan is zijn kas te gaan afdichten ontkomt er niet aan een CO<sub>2</sub>-regelsysteem aan te schaffen. Zelfs zou iedereen die er nu reeds aan denkt aanzienlijk minder te gaan luchten, er goed aan doen zo'n installatie te laten installeren. Verder is bij de hogere luchtvochtigheden ook te verwachten, dat het sluiten van de huidmondjes door verhoogde CO<sub>2</sub>-concentraties al bij minder hoge CO<sub>2</sub>-concentraties zal optreden. Bij hogere vochtigheid zal daarom wellicht 0,1 % CO<sub>2</sub> al te hoog blijken te zijn. Hogere concentraties zullen sneller en ernstiger schade veroorzaken. Ten slotte zou er in een gesloten teelt nog een probleem kunnen ontstaan door de ophoping van bij-gassen, zoals bij voorbeeld ethyleen. Planten zijn zeer gevoelig voor dit gas en overdoses moeten dus worden afgevoerd. Onderzoek en praktijk zullen attent moeten zijn op dit gevaar. Er zijn goede meetapparaten, dus controle is eenvoudig. En tegenmaatregelen zijn ook voorhanden, al was het alleen maar dat zo nu en dan een kiertje lucht zou moeten worden gezet.

### In het kort

Planten die steeds bij zeer hoge luchtvochtigheid groeien, nl. hoger dan ca. 95 %, ontwikkelen zeer grote tere bladeren. Ze hebben een laag zoutgehalte en kunnen dus voor sommige mineralen op de grens van gebreksziekten komen. Met aangepaste bemesting lijkt dit oplosbaar. Langdurig nat zijn van planten is vaak schadelijk, daarom dienen maatregelen te worden genomen om dit te voorkomen. Er moet een systeem aanwezig zijn in de kas dat als condensvanger kan functioneren. De nagestreefde luchttemperatuur zal in een geïsoleerde teelt lager moeten zijn dan die in de huidige teelt, doordat de bladeren minder energie verliezen voor verdamping en door uitstraling. CO<sub>2</sub>-regeling is nodig. Ethyleengas zou een probleem kunnen worden. De suggestie, dat in gesloten kassen de rv. altijd zeer hoog zal zijn is te somber. Maar gemiddeld zal het er wel vochtiger in zijn dan we nu normaal vinden.

## Telen in potdichte kassen (9)

# SAMENVATTING EN SLOT

**Kassen verliezen op drie manieren warmte. Ten eerste blijkt, dat de meeste kassen lang niet luchtdicht zijn als de ramen dicht liggen. Er verdwijnt door kieren in de constructie warme lucht. Deze lekkage moet dicht! Als er gelucht moet worden, oké, maar dan wel via een regelaar en dus: uitsluitend door de luchtramen. Vooral omdat er steeds meer aanwijzingen komen, dat er voor de temperatuur-beheersing in de kas tot ca. half april helemaal niet gelucht hoeft te worden.**

Ten tweede vinden warmte-verliezen plaats door convectie. Doordat koude buitenlucht langs het kasdek en de gevels strijkt, koelt de lucht in de kas af, want glas, metalen en platen van doorzichtige harde kunststof zijn allemaal nog redelijk geleidend. Daardoor verliest de kaslucht energie aan de buitenlucht. In de derde plaats zal een kasdek warmte uitstralen, omdat de hemel kouder is dan de kas. De warmte-aanvoer voor deze uitstraling vindt ook weer door het dek-materiaal plaats door geleiding.

Convectie- en uitstralingsverliezen kunnen allebei geblokkeerd worden door een isolerend scherm van slecht geleidend materiaal, zoals bijv. schuimplastic folie aan te brengen. De huidige energieschermen bestaan uit zodanig dun en geleidend materiaal (dat meestal zelfs niet eens luchtdicht en ook niet reflecterend is), dat ze in hoofdzaak alleen de convectie-verliezen enigszins verkleinen. Ze verhinderen de luchtwervelingen een beetje (door de kas in een onder- en een bovenruimte te verdelen), maar de temperatuur-verschillen worden niet van elkaar geïsoleerd. Een dubbel dek heeft een klein geleidend vermogen en het vermindert primair dus ook convectie-verliezen.

Dus: een kas moet luchtdicht zijn en moet 's nachts met isolerend materiaal geschermd worden. Er is daarbij geen dubbel dek nodig. Voor de dagperiode, als niet geschermd kan worden, zou een dubbel dek nog wel besparing van energie opleveren, maar in de koudste tijd van het jaar zijn de dagen kort en het

scherm is dus niet zo lang open. Bovendien verlaagt men met een dubbel dek de lichtdoorlating aanzienlijk.

In een luchtdichte, goed geïsoleerde kas treden aanzienlijk hogere luchtvochtigheden op dan in de huidige kassen. Bovendien zal er vrijwel altijd ergens condensatie aan de gang zijn. Als de condensatie niet, of niet langdurig, op de planten plaats vindt, zijn vanwege de hoge luchtvochtigheden nauwelijks problemen te verwachten. Waterdamp naar buiten afvoeren geeft geen speciale voordelen. De hoogste luchtvochtigheden zullen de verdamping van de planten zeker verminderen. De planten zullen daardoor beter waterverzadigd zijn. Dit geeft meer celstrekking en dus grotere cellen, wat tot uiting komt in een welig uiterlijk van de gewassen. Dit zal echter waarschijnlijk pas een opvallend probleem worden bij relatieve luchtvochtigheden boven 95 %. Ook zal bij die condities de mineralen opname en het transport van de mineralen door de plant anders kunnen gaan verlopen. De bemesting kan daar echter waarschijnlijk aan aangepast worden.

Een moeilijkheid die wel in wat ernstiger mate problemen kan gaan geven is de overgang van niet (nooit!) luchten naar wel luchten, wanneer in het voorjaar de zon meer kracht krijgt. Want, als men moet gaan luchten om de temperatuur te verlagen, dan gaan de luchtvochtigheden ineens ver omlaag en de luchtbeweging in de kas neemt ook toe, zodat de planten ineens veel meer water verlie-

zen. De vraag zal dan zijn of de wortelcapaciteit en de inwendige concentratie-opbouw in de plant zich snel genoeg zullen kunnen aanpassen om verwelking en verdroging te voorkomen. Het lijkt in deze omstandigheden het beste om een paar dagen mondjesmaat luchten te beginnen en dan liever wat te hoge temperaturen op de koop toe te nemen.

Al met al lijken veel „dichtere” teeltmethoden (in de winter totaal dicht, in de rest van het jaar zuinig met luchten) niet erg gevaarlijk. Enkele teeltgewoonten en voorschriften zullen moeten worden aangepast, maar de richting waarin dit moet gebeuren lijkt duidelijk. Door de kassen intensief te isoleren en tevens niet of slechts zeer beperkt te luchten, kan zeer veel energie worden bespaard. Bovendien kunnen de luchttemperaturen wat omlaag, want door de verminderde verdamping van het gewas en door de mindere verdamping zullen de bladtemperaturen ongeveer gelijk zijn aan de luchttemperatuur, terwijl nu in de praktijk, vooral 's nachts de planten meestal enkele graden kouder zijn dan de lucht in de kas.

Ten slotte: Echt potdicht telen zal best wat moeilijkheden in zich bergen. Maar onze huidige klimaat-instellingen zijn veel te veilig ten opzichte van de luchtvochtigheid. We hebben op dit front een heel stuk energie-besparing voor 't grijpen.

Bovendien: We kunnen geleidelijk aan bijschuiven en we kunnen ook altijd weer terug. Een kas, die luchtdicht en isolerend gemaakt (of gebouwd) is, hoeft niet potdicht gebruikt te worden. Luchten blijft mogelijk. Het isolatiescherm kan geopend worden. Alleen het dubbel zijn van een dubbel dek is niet regelbaar. En een CO<sub>2</sub>-regeling is nooit weg!

**Dr. ir. P. J. A. L. de Lint**  
Proefstation Naaldwijk

Gewogen gemiddelde kosten voor de tuinder van 1 m<sup>3</sup> aardgas, excl. BTW  
(Bron: landbouwschap)

|      | Ct. m <sup>3</sup> | % verhoging t.o.v. van het vorige jaar |
|------|--------------------|--|
| 1969 | 5,7                |  |
| 1970 | 6,1                | + 7 %                                  |
| 1971 | 6,8                | + 11,5 %                               |
| 1972 | 6,4                | - 6 %                                  |
| 1973 | 6,7                | + 4,7 %                                |
| 1974 | 8,2                | + 22,3 %                               |
| 1975 | 10,0               | + 22 %                                 |
| 1976 | 12,5               | + 25 %                                 |
| 1977 | 14,0               | + 12 %                                 |
| 1978 | 15,6               | + 11,4 %                               |
| 1979 | 17,2               | + 10,3 %                               |
| 1980 | 20,0               | + 16,3 %                               |
| 1981 | 24,9               | + 24,5 %                               |

De gasprijs stijgt, maar er is nog te besparen op energie: zo „potdicht” mogelijk telen is er één van