

---

## 4 Klimaatregeling en groeiprocessen

### Oriëntatie

Je hebt geleerd dat het klimaat bestaat uit de factoren licht, temperatuur, luchtvochtigheid, CO<sub>2</sub>-gehalte en luchtbeweging. Deze factoren beïnvloeden de groei van gewassen in een kas. Beter gezegd: 'Het klimaat moet zich aanpassen aan de processen in de plant'. Dat klinkt vreemd, maar uit vele onderzoeken met diverse gewassen is gebleken dat voor de processen in de plant bepaalde klimaatfactoren nodig zijn. Er zijn toen streefwaarden vastgesteld voor de verschillende klimaatfactoren en grenzen waarbinnen de klimaatfactoren zich moeten bevinden. De nieuwste generatie klimaatregelingen reageert direct op de groeiprocessen in de plant. Hierdoor kan worden gestreefd naar een optimale inzet van CO<sub>2</sub> en licht voor de fotosynthese met zo laag mogelijke kosten. Twee processen vormen de basis voor de plantengroei: fotosynthese en verdamping. Beide processen zijn via klimaatregeling te optimaliseren. In dit hoofdstuk lees je hoe de diverse klimaatfactoren met bepaalde onderlinge relaties inspelen op de groei van het gewas.

### Leerdoelen

Voor dit hoofdstuk zijn geen leerdoelen gedefinieerd.

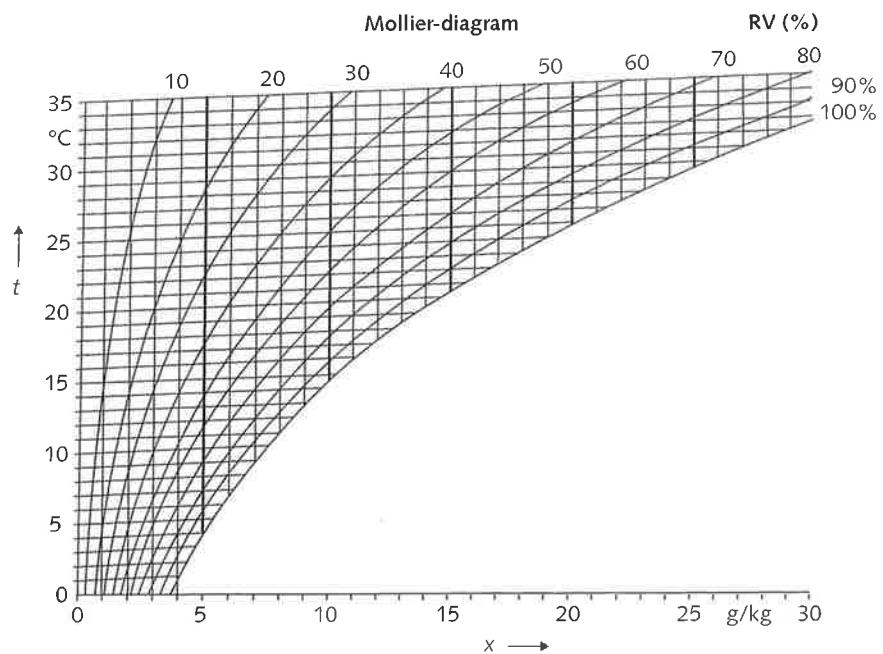
### 4.1 Het verband tussen luchtvochtigheid en kastemperatuur

Een plant moet groeien. Voor de groei heeft de plant onder andere voedingszouten en water nodig uit de bodem of het substraat. De opname van voedingszouten en water gebeurt echter alleen als de plant verdampt. De verdamping van de plant is weer afhankelijk van de luchtvochtigheid in de kas. Groei is dus afhankelijk van de klimaatfactor luchtvochtigheid. De hoeveelheid waterdamp in de lucht houdt echter direct verband met een andere klimaatfactor: de temperatuur. Het samenspel tussen de verschillende klimaatfactoren kan dus al gauw een ingewikkelde zaak worden.

#### Het Mollier-diagram

De wetenschapper Mollier heeft uitgezocht hoe het verband tussen luchtvochtigheid en temperatuur in elkaar zit. Hij heeft dit weergegeven door middel van een diagram dat naar hem is vernoemd: het Mollier-diagram. (Spreek uit: Moljee-diagram.) Met behulp van het Mollier-diagram kunnen de effecten van stoken, luchten, nevelen en verdampen van de plant en andere verschijnselen in een kas worden verklaard. In figuur 4.1 is een vereenvoudigde versie van het Mollier-diagram afgebeeld.

**Fig. 4.1**  
 Vereenvoudigde  
 voorstelling van een  
 Mollier-diagram. Op de  
 horizontale as is de  
 heersende  
 luchtvochtigheid  
 afgebeeld, zoals gemeten  
 met de natte bol. Op de  
 verticale as staat de  
 kasttemperatuur. De dikke  
 kromme lijnen verbinden  
 de punten waarop  
 dezelfde RV aanwezig is



In het Mollier-diagram worden drie soorten gegevens met elkaar in verband gebracht:

- 1 op de x-as: de absolute luchtvochtigheid (AV) uitgezet in grammen water per kilogram lucht;
- 2 links, op de y-as: de kasttemperatuur in °C;
- 3 de dikke kromme lijn verbindt de punten waarbij de RV even groot is, in stappen van 10%. Op de lijn RV = 10 is de relatieve luchtvochtigheid altijd 10%. Op de lijn RV = 70 is de relatieve luchtvochtigheid telkens 70%. Op de lijn RV = 100 is de kaslucht verzadigd met water: RV = VV. Beneden deze lijn treedt condensatie op.

In de volgende paragrafen wordt behandeld hoe je gegevens kunt aflezen uit het Mollier-diagram.

### Gegevens aflezen uit het Mollier-diagram

Het Mollier-diagram stelt tuinders in staat allerlei belangrijke gegevens af te lezen en het effect van veranderingen te voorspellen. De volgende gegevens kunnen met behulp van een Mollier-diagram worden bepaald:

- de AV en de VV;
- de RV en het effect van RV-verandering;
- het vochtdeficit;
- het dauwpunt.

#### Aflezen van AV en VV

In hoofdstuk 3 zijn de absolute luchtvochtigheid en de verzadigingsvochtigheid behandeld. De absolute luchtvochtigheid (AV) is de hoeveelheid waterdamp die op een bepaald moment in de kas aanwezig is, uitgedrukt in grammen per kilogram lucht (g/kg). De verzadigingsvochtigheid (VV) geeft aan hoeveel grammen waterdamp de kaslucht maximaal kan bevatten bij een bepaalde temperatuur. Als het

verzadigingspunt wordt overschreden, bijvoorbeeld omdat er waterdamp wordt toegevoerd of omdat de temperatuur daalt, wordt een deel van de waterdamp omgezet in waterdruppels die uit de lucht verdwijnen. De AV en VV zijn basismaten voor allerlei berekeningen van de kaslucht.

Stel, de temperatuur in een kas is 20 °C en de RV is 80%. Wat is de AV en de VV? Het aflezen van de AV en VV in het Mollier-diagram verloopt als volgt.

- Trek voor het bepalen van de AV een horizontale lijn naar rechts vanaf 20 °C. Deze lijn snijdt de RV-lijn van 80%. Ga vanuit dit punt loodrecht naar beneden. Lees nu de AV af (11,8 g/kg).
- Trek voor het bepalen van de VV de horizontale lijn bij 20 °C door tot de RV-lijn van 100% en ga dan loodrecht naar beneden. Dit is de VV (14,7 g/kg).

Warme lucht kan veel waterdamp bevatten, koude lucht weinig. In de herfst kun je dit mooi zien. Overdag bevat de lucht een bepaalde hoeveelheid waterdamp. 's Nachts daalt de temperatuur en kan de lucht die hoeveelheid waterdamp niet meer 'vastgehouden'. 's Morgens zie je dan mist. Mist is geen waterdamp, maar bestaat uit kleine waterdruppeltjes. Als de zon doorbreekt gaan die druppeltjes door de temperatuurverhoging weer over in waterdamp. De mist verdwijnt dan. Waterdamp is dus onzichtbaar!

### **De RV regelen met het Mollier-diagram**

In een kas ligt de normale RV tussen de 75 en 85%. In de meeste kassen is de RV te hoog en zal de tuinder de RV moeten verlagen. Dat kan op twee manieren: door middel van luchten en door het verhogen van de temperatuur. Met behulp van het Mollier-diagram kunnen de effecten van luchten of stoken al worden voorspeld voordat de handeling is uitgevoerd. Hoe dat gaat, lees je in de volgende voorbeelden.

#### ***Voorbeeld: RV verlagen door te stoken***

Stel, de temperatuur in de kas is 18 °C en de RV is 70%. Wat gebeurt er met de RV als je de temperatuur twee graden hoger maakt?

Zoek de kruising op tussen de lijn die behoort bij een luchttemperatuur van 18 °C en de kromme lijn die behoort bij een RV van 70%. Ga vanaf dit punt 2 °C omhoog en zoek de bijbehorende RV-waarde. Deze blijkt 63% te zijn. Je hoeft de waarde niet te berekenen, maar kunt deze aflezen uit het Mollier-diagram.

#### ***Voorbeeld: bepaalde RV verkrijgen***

Het Mollier-diagram kan ook worden gebruikt om af te lezen hoeveel de temperatuur omhoog moet om een bepaalde RV te krijgen.

De temperatuur in de kas is 20 °C en de RV is 90%. De gewenste RV is 80%. Hoeveel graden moet de temperatuur door middel van stoken worden verhoogd?

Trek een horizontale lijn vanaf 20 °C naar rechts tot de RV-lijn van 90%. Ga vanuit dit punt omhoog tot de lijn van 80%. Ga vanuit het laatste snijpunt horizontaal naar links en lees de temperatuur af (= 22 °C). De temperatuur moet tot 22 °C graden worden verhoogd om een RV van 80% te realiseren. Controleer dit in het Mollier-diagram.

### **Voorbeeld: RV verlagen door te luchten**

Buitenlucht is relatief gezien meestal droger dan kaslucht. De RV van de kaslucht kan dus worden verlaagd door te luchten. Het verlagen van de RV door te luchten heeft een dubbel effect: De temperatuur daalt en er verdwijnt vocht door de luchtramen. De AV daalt dus ook!

Zoals blijkt uit het volgende voorbeeld kan met behulp van het Mollier-diagram worden voorspeld welk effect luchten heeft op de RV.

De kastemperatuur is 20 °C en de RV is 90%. De teler brengt de RV door te luchten naar 80%. De temperatuur daalt met 2 °C en er verdwijnt 2,9 g/kg waterdamp. De nieuwe situatie wordt: 18 °C en een RV van 80%. Controleer dit in het Mollier-diagram.

### **Aflesen van het vochtdeficit**

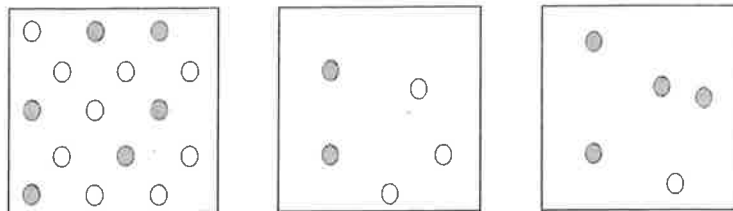
Het verschil tussen de absolute luchtvochtigheid (AV) en de verzadigingsvochtigheid (VV) wordt het vochtdeficit genoemd. Het vochtdeficit geeft aan hoeveel waterdamp de lucht nog kan opnemen voordat de lucht is verzadigd. Het vochtdeficit wordt uitgedrukt in g/kg lucht. In figuur 4.2 zijn drie situaties op het gebied van vochtdeficit afgebeeld. De maximale luchtvochtigheid is uitgebeeld door alle bolletjes bij elkaar te nemen. De lucht in het eerste figuur kan dus meer gram waterdamp bevatten dan de twee volgende situaties. De dichte bolletjes geven aan hoeveel damp er daadwerkelijk aanwezig is. De witte bolletjes geven de resterende vochttruimte aan. Dit is het vochtdeficit.

### **Voorbeeld**

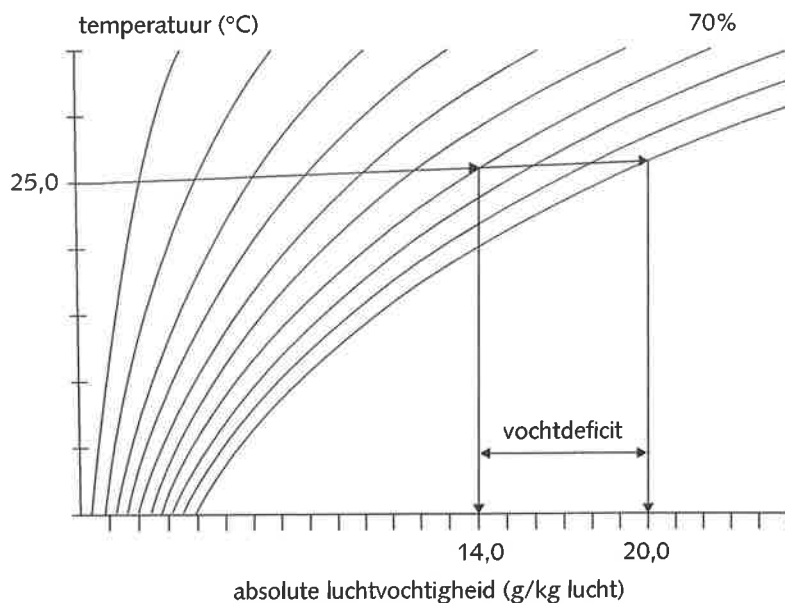
Wanneer is de absolute luchtvochtigheid gelijk aan de verzadigingsvochtigheid: bij een vochtdeficit van 0 of 100?

Bij een vochtdeficit van 0 is de heersende luchtvochtigheid gelijk aan de maximale luchtvochtigheid: de lucht is geheel verzadigd van vocht. In het Mollier-diagram kun je het vochtdeficit aflesen. Daarvoor moet je twee gegevens hebben. Je moet weten hoeveel g/kg de verzadigingsvochtigheid is bij een aangegeven temperatuur. De VV kun je aflesen door een lijn te trekken vanuit de temperatuuraanduiding en de RV-lijn van 100%. Als je vanuit dit punt een lijn naar beneden trekt, kom je bij de bijbehorende VV uit. Verder moet je weten wat de heersende luchtvochtigheid (AV) is. De AV kun je aflesen door het kruispunt tussen de temperatuurlijn en de RV-lijn op te zoeken en van daaruit naar beneden te gaan. VV - AV geeft dan het vochtdeficit. Als illustratie gebruiken we een sterk vereenvoudigde voorstelling van het Mollier-diagram. Die zie je afgebeeld in figuur 4.3.

**Fig. 4.2**  
 Drie situaties van vochtdeficit. Alle bolletjes samen geven aan hoeveel waterdampeenheden de lucht maximaal kan bevatten. De dichte bolletjes geven aan hoeveel eenheden waterdamp de lucht feitelijk bevat. De open bolletjes geven aan hoeveel dampeenheden de lucht nog kan opnemen voordat de verzadigingsvochtigheid is bereikt. Deze open bolletjes geven het vochtdeficit aan



**Fig. 4.3**  
 Het vochtdeficit bepalen met behulp van het Mollier-diagram. Je kijkt eerst hoeveel g/kg de verzadigingsvochtigheid is bij de gegeven temperatuur. Daarna lees je af wat de absolute luchtvochtigheid bij deze temperatuur is in g/kg. Het verschil tussen VV en AV is het vochtdeficit



#### Voorbeeld

Wat is het vochtdeficit bij een kastemperatuur van 25 °C en een RV van 70%?

Trek een horizontale lijn vanaf 25 °C totdat de kromme van de RV van 70% wordt gesneden. Trek de lijn door tot RV 100%. Laat vanuit de snijpunten met de beide RV-lijnen loodlijnen naar beneden lopen. Vanuit het snijpunt met de RV-lijn van 70% lees je een AV af van 14 g/kg. Vanuit het snijpunt met de RV-lijn van 100% lees je de VV af van 20 g/kg. Het vochtdeficit is dan  $20 - 14 = 6$  g/kg.

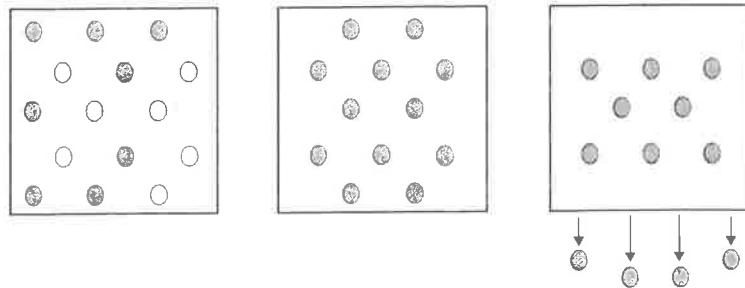
## Aflezen van het dauwpunt

condensatie

Koude lucht kan minder waterdamp bevatten dan warme lucht. Als de temperatuur daalt, kan de lucht niet meer alle waterdamp vasthouden en er treedt condensatie op. Het dauwpunt geeft aan bij welke temperatuur er *condensatie* optreedt. Dit proces wordt weergegeven in figuur 4.4. Hierin worden drie vochtsituaties afgebeeld. In de eerste situatie is er nog een vochtdeficit: de verzadigingsvochtigheid is nog niet bereikt. In de tweede situatie is sprake van verzadigingsvochtigheid: de lucht kan geen nieuwe waterdamp meer opnemen. In de derde situatie wordt de verzadigingsvochtigheid overschreden. Dat kan doordat er nieuwe damp wordt toegevoegd of doordat de verzadigde lucht afkoelt. Nu zet de lucht een deel van de waterdamp om in waterdruppeltjes.

**Fig. 4.4**

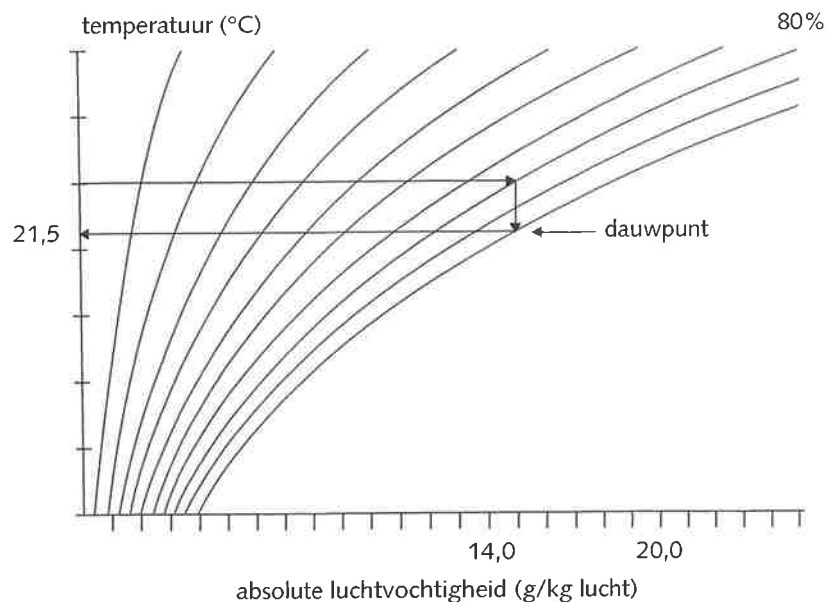
Als het vochtdeficit wordt overschreden, treedt het dauwpunt op: de waterdamp condenseert



Condenseren is een ongewenste situatie in een kas, omdat dit een ideale situatie is voor bepaalde schimmels. Tuinders moeten dus goed weten waar het dauwpunt ligt. Gelukkig kan ook het dauwpunt worden afgelezen uit het Mollier-diagram. Dit wordt uitgelegd aan de hand van figuur 4.5.

**Fig. 4.5**

Het Mollier-diagram kan worden gebruikt om het dauwpunt te bepalen. Je bepaalt eerst de RV bij de huidige temperatuur van de kas. Vanuit dit punt trek je een lijn loodrecht naar beneden totdat je de kromme van 100% snijdt. Bepaal dan de temperatuur die bij dit snijpunt hoort. Dit is het dauwpunt



### Voorbeeld: het dauwpunt aflezen

De kastemperatuur is 25°C en de RV 80%. Wat is het dauwpunt?

Bepaal het punt waarop de lijn van 25 °C en de RV-lijn van 80% elkaar snijden (zie figuur 4.5). Ga dan loodrecht naar beneden tot de RV-lijn van 100% wordt gesneden. Ga vanaf dit snijpunt naar links naar de temperatuur. Je komt uit bij 21,5 °C. Het dauwpunt is dan 21,5 °C.

## 4.2 Verdamping aansturen

In paragraaf 4.1 en speciaal met behulp van het Mollier-diagram heb je geleerd hoe de klimaatfactoren temperatuur en RV de hoeveelheid waterdamp in de lucht bepalen. Ook heb je gezien dat het vochtdeficit bepaalt hoeveel waterdamp er bij een bepaalde temperatuur nog kan worden opgenomen. Bij een vochtdeficit van 0, als de verzadigingsvochtigheid is bereikt, kunnen de planten geen waterdamp meer afgeven aan de kaslucht. Het vochtdeficit geeft dus de ruimte aan die de planten hebben om waterdamp te produceren. De klimaatfactoren moeten zo worden ingesteld dat de plant inderdaad kan verdampen. In deze paragraaf volgt een uitleg over het proces 'verdampen'.

### Verdamping in de plant

Verdamping is het natuurlijke verschijnsel waarbij water van vloeibare naar dampvormige toestand overgaat. Het verdampen door planten kost energie die als warmte aan de plant wordt onttrokken. Met andere woorden: door te verdampen koelt de plant zich. Het afgeven van de waterdamp verloopt via de huidmondjes aan de onderkant van de bladeren.

*passieve wateropname*

Door verdamping raakt de plant water kwijt. Dus moet de plant nieuw water kunnen opnemen uit het wortelmilieu. Dat gaat op een passieve manier. Daarom spreken we van *passieve wateropname*. Door verdamping ontstaat in de plant namelijk een verschil in zuigspanning. Deze zuigspanning is boven in de plant het grootst en wordt naar beneden toe verplaatst. Het is alsof een onzichtbare zuignap boven op de plant staat die deze opwaartse waterstroom in de plant teweegbrengt. De plant zelf is hierbij passief: door het verschil in druk in de wortelcellen en in het wortelmilieu dringt water de wortelcellen binnen. De sterkte van die denkbeeldige zuignap kan op allerlei niveaus worden afgesteld.

Drie voorbeelden van zuigsterkte:

- 1 geen zuiging;
- 2 een klein beetje zuiging;
- 3 een sterke zuiging.

### **Geen zuiging**

Er is geen verdamping en dus ook geen opname van water en voedingsionen. De enige voorziening van water en ionen vindt plaats door de worteldruk: de zogenaamde actieve wateropname. Bij actieve wateropname is de druk in de cellen van de wortels groter dan in de cellen in de rest van de plant. Dit leidt tot doorstroom van water naar de hoger gelegen cellen. Een dergelijke situatie bestaat bijvoorbeeld 's nachts onder een foliescherm.

### **Een klein beetje zuiging**

De plant verdampt, maar op een laag pitje.

### **Een sterke zuiging**

De plant verdampt veel en de opname van water en ionen is dus groot. Deze situatie doet zich bijvoorbeeld voor op een zonnige dag, als de plant volop assimileert.

**Fig. 4.6**

Het is alsof een onzichtbare zuignap een opwaartse waterstroom in de plant teweegbrengt



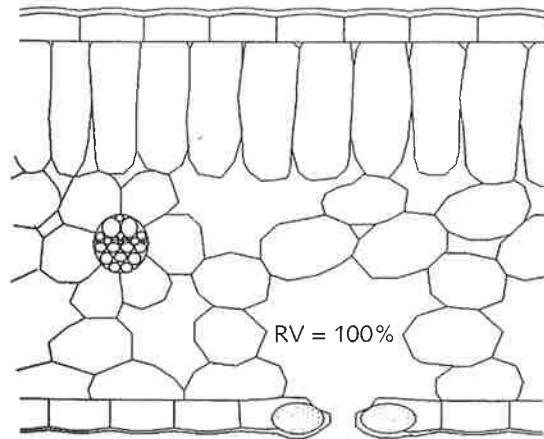
### **De werking van de huidmondjes**

Het water verlaat de plant via de huidmondjes. Maar hoe doen de huidmondjes dit? Huidmondjes zijn openingen in de benedenoppervlakte van het blad. Ieder huidmondje wordt omsloten door twee *sluitcellen*. In figuur 4.7 zie je een schematische tekening van een huidmondje met de twee sluitcellen.

Door het geopende huidmondje kan  $\text{CO}_2$ , die nodig is voor de assimilatie (fotosynthese), uit de lucht in het blad worden opgenomen. Tegelijkertijd kan door het blad waterdamp aan de lucht worden afgegeven. Er bestaat dus een verband tussen verdampen en  $\text{CO}_2$ -opname. Als de plant zich om één of andere reden afsluit voor  $\text{CO}_2$ -opname, stopt ook de verdamping. En omgekeerd: als de plant de huidmondjes afsluit voor verdamping, staat ook de  $\text{CO}_2$ -opname stil. Het openen en sluiten van de huidmondjes wordt sterk beïnvloed door diverse uitwendige omstandigheden. Dat zie je in figuur 4.8.



**Fig. 4.7**  
Schematische doorsnede van een blad. Aan de onderkant bevinden zich huidmondjes die door de plant kunnen worden gesloten of geopend



**Fig. 4.8**  
Reactie van de huidmondjes

Omstandigheid	Effect
Licht	In principe gaan de huidmondjes bij licht open.
Water	Bij gebrek aan water in het blad, zoals bij een te sterke verdamping, verliezen de sluitcellen hun celspanning en sluiten de huidmondjes zich.
CO <sub>2</sub> -concentratie	Bij een hoge CO <sub>2</sub> -concentratie in het blad of daarbuiten hebben de huidmondjes de neiging zich te sluiten.
Hormonen	Bepaalde hormonen hebben invloed op het openen en sluiten van de huidmondjes.

### Hoe groot moet de verdamping zijn?

Voor de plant is het noodzakelijk dat in ieder geval zoveel kan worden verdampt dat alle organen voldoende voedingsionen krijgen. Een te kleine verdamping is ongewenst in verband met het feit dat de plant onvoldoende wordt voorzien van moeilijk opneembare ionen, met name calcium. Daardoor kan een zwakke plant ontstaan, die gevoelig is voor overgangen in het klimaat. Schimmels maken eveneens meer kans en ook de kwaliteit van het product loopt gevaar.

*celstrekking*

Te veel verdamping overdag kost daarentegen productie. Door een te sterke verdamping zullen de cellen onvoldoende kunnen strekken (zwellen), omdat de bladeren te veel van het opgenomen water voor de verdamping opeisen. Hierdoor is de *celstrekking* niet maximaal. Dit betekent dat de bladcellen kleiner blijven. De plant zal er schraal en iel uitzien en kleinere bladeren hebben. De lichtvangst door deze kleinere bladeren is niet optimaal, zodat ze een stuk productievermogen laten liggen. Ook de vruchtcellen blijven kleiner. De vruchten zwellen niet zoals wel zou kunnen en dus zullen minder kilo's worden geoogst.

### Factoren bij verdamping

Er zijn vijf factoren die de mate van verdamping beïnvloeden:

- 1 het vochtdeficit;
- 2 de planttemperatuur;

- 3 de luchtbeweging;
- 4 het bladoppervlak;
- 5 de kashoogte.

Al deze factoren zullen beknopt worden toegelicht.

#### ***De invloed van het vochtdeficit***

Kaslucht bevat waterdamp. Een plant geeft bij verdamping waterdamp af aan de lucht. Als een plant in droge kaslucht staat, is het vochtdeficit groot en kan de plant gemakkelijker verdampen dan in vochtige lucht. Een te groot vochtdeficit is vooral overdag ongewenst. De plant verdampt dan te veel en dat gaat ten koste van de productie. Een te klein vochtdeficit is vooral gedurende de nacht ongewenst. De plant verdampt dan te weinig en dit gaat ten koste van de kwaliteit. De vochtsituatie in een kas is nooit lange tijd hetzelfde. Waterdamp kunnen we op verschillende manieren uit de kas kwijtraken:

- door luchtuitwisseling;
- uit 'lekke' kassen verdwijnt sneller lucht en dus meestal ook vocht dan uit dichte kassen;
- door condensatie: waterdamp condenseert op koude voorwerpen, bijvoorbeeld op glas. Hoe kouder het glas, des te eerder condensatie optreedt.

#### ***De invloed van de planttemperatuur***

Planten die warmer zijn, hebben meer behoefte aan koeling en verdampen dus meer.

De temperatuur van de plant wordt bepaald door:

- de temperatuur van de omgevende lucht;
- de in- en uitstraling van warmte en licht;
- de verdamping (koeling) van de plant.

*koustrepen*

Opgaande gewassen hebben op verschillende hoogten een andere temperatuur. Ook de ligging van de verwarmingsbuizen speelt daarbij een rol. Zo zullen jonge planten die naast een hete buis staan, zeker bij een lage luchtvochtigheid, meer verdampen dan is gewenst. Bij de start van de vroege stookteelt wordt onder dezelfde omstandigheden wel gesproken van een woestijnklimaat. Bladeren zullen sneller van temperatuur wisselen dan stengels en (vooral) vruchten. Het achterblijven van de temperatuur van komkommervruchten bijvoorbeeld kan *koustrepen* tot gevolg hebben, doordat de waterdamp van de warme lucht condenseert op de vruchten die relatief kouder zijn.

In de dagelijkse praktijk kan de planttemperatuur nog niet continu worden gemeten. Toch kunnen enkele algemene omstandigheden die van belang zijn voor de planttemperatuur worden vermeld. Bij weinig straling, zoals bij mistig weer, zal de plant de temperatuur van de kaslucht aannemen. Bij meer straling zal de planttemperatuur (blad) boven in de kas hoger zijn dan de kasluchttemperatuur, doordat de zon het blad opwarmt. Om de verdamping op het juiste peil te houden moet de planttemperatuur dus soms worden verlaagd. Enkele methoden hiervoor zijn:

- daksproeiers gebruiken  
Door dakberegening wordt de luchttemperatuur boven in de kas 1 tot 5 °C lager. De RV wordt zo'n 5 tot 10% verhoogd. Deze maatregel heeft vooral effect op de waterhuishouding en meestal weinig op de vruchttemperatuur. Het glas

wordt kouder waardoor er minder warmtestraling naar het gewas plaatsvindt. Bovendien is er minder instraling in de kas door condensvorming op het glas.

- krijtscherm aanbrengen  
Op hele zonnige dagen kan een licht, afwasbaar krijtscherm worden aangebracht. Omwille van het licht moet dit scherm worden afgespoeld zodra de zon weer (langdurig) verdwijnt.
- schermen  
Wanneer de instraling extreem groot is, kan het tijdelijk sluiten van een beweegbaar scherm oplossing bieden. Deze maatregel leidt echter al snel tot lichtverlies en dus tot productieverlies.
- vochtregeling met behulp van de klimaatcomputer  
Met behulp van een klimaatcomputer kan een juiste afweging worden gemaakt wat betreft het belang van temperatuur en vocht. Indien er geen computer aanwezig is, zou tijdelijk het verschil tussen de stook- en ventilatietemperatuur kunnen worden vergroot. Dit is met name in het schrale voorjaar een mogelijkheid.

#### ***De invloed van de luchtbeweging***

Als er verschil bestaat tussen het vochtgehalte in de plant en de lucht, kan er worden verdampt. Dit gaat gemakkelijker naarmate dit verschil (vochtdeficit) groter is. Iedereen weet dat luchtbeweging in een gewas gewenst is om het gewas droog te krijgen. Een sterke luchtstroming langs de bladeren leidt tot een snelle *vochtafvoer*, tenminste als de temperatuur in de kas hoger is dan buiten. Door deze luchtuitwisseling blijft het vochtdeficit tussen plant en kaslucht bestaan. Luchtbeweging wordt onder andere bevorderd door verwarming, luchting, ventilatoren en een open gewas.

#### ***De invloed van bladoppervlakte en kashoogte***

Een groter bladoppervlak vangt meer stralingsenergie op en zal daarom meer verdampen. Een volgroeid gewas zal meestal wel voldoende water kunnen opnemen en aanvoeren om te verdampen. Een volgroeid gewas kan dus door verdamping meer waterdamp in de lucht brengen dan een jong gewas. Zo kan een volgroeide plant (komkommer) op een zonnige dag in de zomer wel vijf liter water verdampen. Het is daarom zaak om vocht af te voeren, onder andere door te luchten.

Uit 'lekkende' kassen kan vocht verdwijnen zonder dat er wordt gelucht. Daarentegen blijkt in zonnige perioden de groei in lage, dichte kassen vaak erg goed, omdat de RV beter op peil blijft.

### **4.3 Fotosynthese aansturen**

Zojuist heb je geleerd dat planten water en voedingsstoffen moeten opnemen om te kunnen groeien. Dat is natuurlijk niet het enige. De plant moet ook assimileren! Assimileren is het opnemen van water en CO<sub>2</sub>, waarbij suiker en zuurstof vrijkomen. De suiker is nodig om de ademhaling te laten plaatsvinden en om bouwstoffen voor nieuwe plantencellen aan te leveren. Tijdens de ademhaling worden de suikers

verbrand en komt de opgeslagen energie weer vrij, samen met water en CO<sub>2</sub>. Deze energie wordt gebruikt voor alle levensprocessen in de plant en het proces gaat dan ook dag en nacht door. Dit in tegenstelling tot de fotosynthese, want die vindt alleen plaats bij voldoende licht. Er is dus voldoende reden om de fotosynthese optimaal te houden. In deze paragraaf kun je lezen welke factoren van belang zijn voor het aansturen van de fotosynthese.

### **Het meten van de fotosynthese**

*meetwaarde* Als je de fotosynthese wilt sturen door middel van klimaatfactoren, heb je een *meetwaarde* nodig om de fotosynthese te meten. Er zijn twee manieren om de fotosynthese te 'meten': door de toename van droge stof in kaart te brengen en door de netto opgenomen hoeveelheid CO<sub>2</sub> te bepalen.

#### ***Toename droge stof***

Een plant bestaat uit water en droge stof. Als je een plant in een oven droogt, waarbij al het water verdampt, blijft er droge stof over. De droge stof bestaat onder andere uit celwanden, celbestanddelen en suikers. Een toename in droge stof betekent dat de plant suikers heeft aangemaakt. Hieruit kan dan een meeteenheid voor de fotosynthese worden afgeleid. De eenheid voor fotosynthese is: gram droge stof per m<sup>2</sup> per dag.

#### ***Netto opgenomen hoeveelheid CO<sub>2</sub>***

Voor het maken van suiker is CO<sub>2</sub> nodig. Met gevoelige apparaten kan worden gemeten hoeveel CO<sub>2</sub> de planten in een kas opnemen uit de lucht. De eenheid voor fotosynthese is: CO<sub>2</sub>-opname per m<sup>2</sup> per dag.

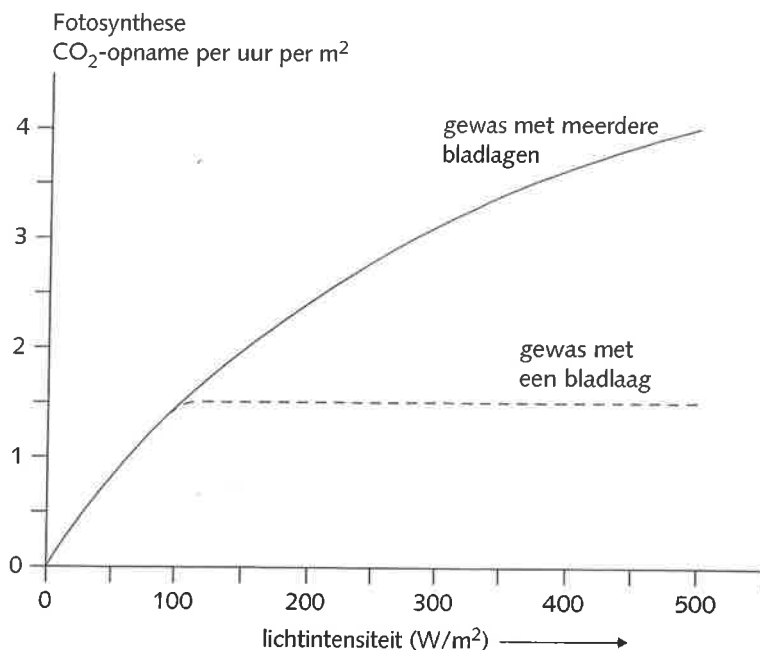
Nu je de fotosynthese kunt meten, is het mogelijk om de invloed van de klimaatfactoren licht, CO<sub>2</sub> en temperatuur op de fotosynthese te bestuderen.

### **Fotosynthese en licht**

De fotosynthese stijgt bij de toename van de hoeveelheid licht. Bij een gewas met meerdere bladlagen stijgt de fotosynthese meer dan bij gewassen met één bladlaag, omdat het licht dan ook de onderste bladeren bereikt. Bij een gewas met één bladlaag zien we dat er al een verzadiging optreedt bij een lichtinval van ongeveer 100 W/m<sup>2</sup>. Boven die waarde neemt de fotosynthese nog maar heel weinig toe.

Gewassen met meerdere bladlagen gebruiken veel meer van de lichtintensiteit. In figuur 4.9 is dit weergegeven met behulp van een stippellijn.

**Fig. 4.9**  
 Bij een gewas met meerdere bladlagen heeft een verhoogde lichtintensiteit meer effect op de fotosynthese dan bij een gewas met één bladlaag



### Fotosynthese en CO<sub>2</sub>

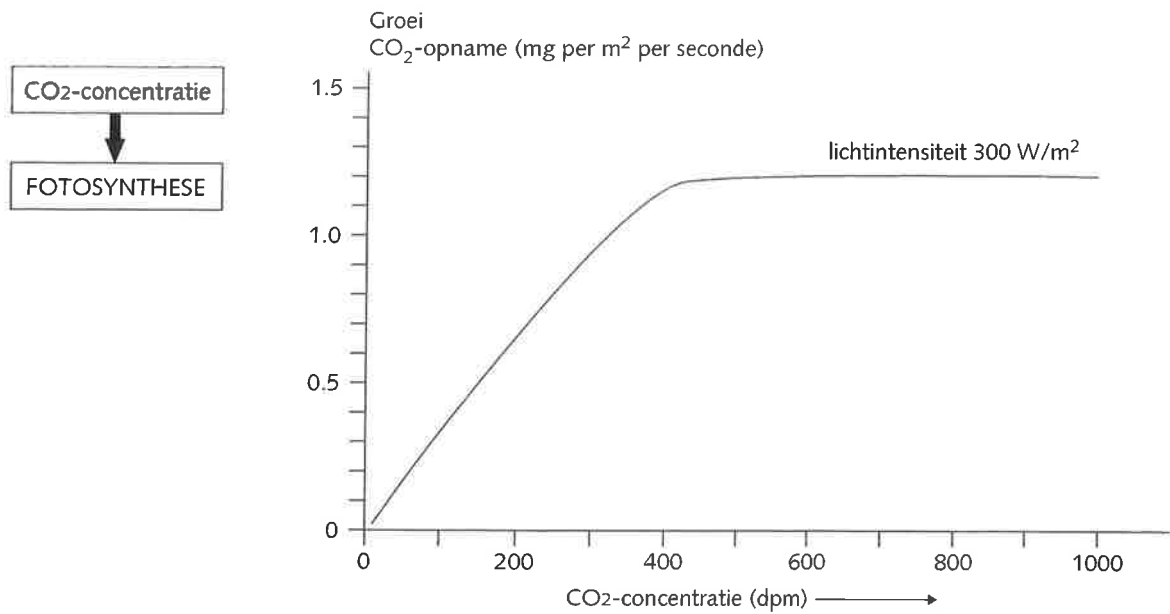
De plant neemt onder invloed van licht CO<sub>2</sub> op. De CO<sub>2</sub>-concentratie in de buitenlucht is ongeveer 300 dpm. Het verhogen van de CO<sub>2</sub>-concentratie in de kas leidt tot een verhoging van de fotosynthese. De fotosynthese neemt toe tot een concentratie van 800 dpm CO<sub>2</sub>, wat echter per gewas nog kan verschillen. Boven die grens sluit de plant de huidmondjes. Bij nog hogere CO<sub>2</sub>-concentraties (1500 - 2000 dpm) treedt er bladverbranding op. De verdamping door de huidmondjes zorgt immers ook voor afkoeling van de plant.

Figuur 4.10 geeft een grafiek weer waarin het verband tussen fotosynthese, uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-opname, en CO<sub>2</sub>-concentratie in de kaslucht wordt gedemonstreerd.

### Fotosynthese, temperatuur en licht

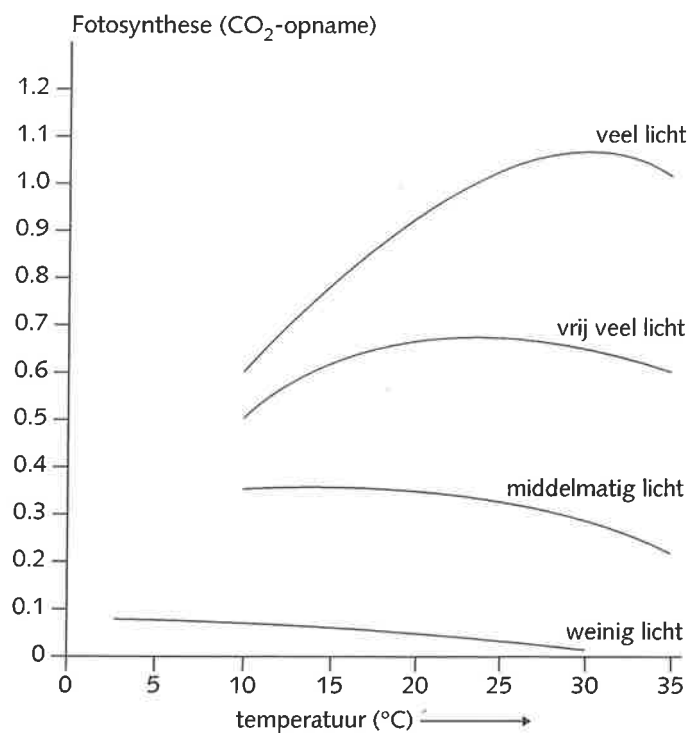
Een plant heeft tegelijk te maken met temperatuur en licht. Deze factoren moeten met elkaar in evenwicht zijn. Veel licht en een bijpassende temperatuur geeft veel fotosynthese. Veel licht en een te hoge of te lage temperatuur geeft weinig fotosynthese. Bij weinig licht bevordert ook een hoge temperatuur de fotosynthese niet. Licht is dus de meest *beperkende factor* voor het ontstaan van fotosynthese. Er moet in ieder geval licht zijn, wil fotosynthese kunnen plaatsvinden. Temperatuur kan vervolgens bijdragen of juist afdoen aan de hoeveelheid fotosynthese.

**Fig. 4.10** Fotosynthese wordt bevorderd door een hogere CO<sub>2</sub>-concentratie



In figuur 4.11 is de invloed van de factoren licht en temperatuur op de hoeveelheid fotosynthese in kaart gebracht. Er worden drie niveaus van licht aangegeven: veel, vrij veel en weinig licht. Voor elk niveau wordt de invloed van temperatuur zichtbaar. Je kunt ook zien dat bij een hoger lichtniveau een hogere optimale temperatuur hoort.

**Fig. 4.11**  
Licht en temperatuur moeten met elkaar in evenwicht zijn om de meeste fotosynthese te bereiken



Afhankelijk van het gemeten lichtniveau varieert de optimale temperatuur. De computer kan de optimale temperatuur automatisch instellen: de temperatuur wordt dan lichtafhankelijk geregeld. Op een donkere dag is de optimale temperatuur 10 °C. Dat kun je zien in figuur 4.11. Is er vrij veel licht, dan klimt de optimale temperatuur naar 20 °C. Licht en temperatuur zijn steeds met elkaar in *evenwicht*.

De fotosynthese en de ademhaling worden echter ook direct door de temperatuur beïnvloed. Een lagere temperatuur remt de fotosynthese te sterk af en een hogere temperatuur vergroot de ademhaling te veel. In het voorjaar, najaar en in de winter is dat een goede regeling. In de zomer wordt de kastemperatuur door de instraling vaak al hoger dan de optimale temperatuur. Een lichtverhoging wordt dan niet gebruikt.

#### 4.4 Simulatieprogramma's voor klimaatregeling

Op je stagebedrijf zie je de klimaatregeling in de praktijk in werking. Het zou echter ook boeiend zijn om effecten van bepaalde veranderingen te zien, voordat ze daadwerkelijk worden uitgevoerd. Dat wordt mogelijk gemaakt door computerprogramma's die de klimaatregeling kunnen simuleren (= nabootsen). In deze programma's kun je bepaalde waarden invoeren voor allerlei klimaatfactoren. Het programma bootst dan na wat het effect zal zijn als deze maatregelen in werkelijkheid worden uitgevoerd. Vergissingen kunnen zo tijdig worden onderkend.

Op je school is waarschijnlijk het programma KLIMCOS of SIMCOMP aanwezig. Hiermee kun je achter de computer en zonder de productie van een teler in de war te sturen veranderingen en effecten van de klimaatregeling bestuderen. Bij dit programma wordt een uitvoerige uitleg gegeven met een serie opdrachten om ermee te leren werken.

##### Studeertip

Zoek enkele collega-studenten bij elkaar en oefen samen met een klimaatcomputer. Je leert niet alleen het simulatieprogramma beter kennen, maar ook je inzicht in klimaatregeling wordt verdiept.

#### 4.5 Afsluiting

De mate van verdamping is afhankelijk van het vochtdeficit tussen plant en kaslucht, de luchtbeweging in de kas en het bladoppervlak van het gewas.

Het vochtverschil tussen plant en kaslucht wordt aangeduid als het vochtdeficit en wordt onder andere uitgedrukt in gram vocht per kilogram lucht. Een norm voor voldoende, maar tevens niet te sterke verdamping bij vruchtgewassen is een vochtdeficit van 3 à 7 gram vocht per kilogram lucht. In het Mollier-diagram zijn de afhankelijkheden tussen de klimaatfactoren luchtvochtigheid en kastemperatuur zichtbaar gemaakt. Hierdoor kunnen de effecten van een verandering in één van deze twee factoren op de andere en op het gewas worden voorspeld. Zo kan een tuinder

---

bijvoorbeeld aflezen hoeveel graden de temperatuur moet stijgen om een bepaald vochtdeficit te verkrijgen.

Warme lucht kan meer waterdamp (vocht) bevatten dan koude lucht. Daarom is het vochtdeficit tussen het door de zon verwarmde blad en de kaslucht vaak ongemerkt groot. Hetzelfde, maar in veel mindere mate, geldt voor planten naast een hete buis, ook 's nachts. Een te klein vochtdeficit (te hoge RV), vooral 's nachts, is ongewenst vanwege de vruchtkwaliteit (kleur en houdbaarheid bij komkommer), ziekten (*Botrytis*, *Mycosphaerella*) en ionenvoorziening (met name calcium). Een groot vochtdeficit is voor een maximale productie ongewenst, zeker in de productiefase. Onder een dampdoorlatend doek kan de RV behoorlijk lager zijn dan zonder dit scherm. Een foliescherm in het begin van de teelt is heel gunstig vanwege de wat hogere RV. Een lage dichte kas blijkt vaak een voordeel te zijn in zonnige perioden, omdat daarin de RV minder snel wegzakt.

Om de grootte van het vochtdeficit te bepalen moet naast de kasluchttemperatuur en de daarbij behorende RV ook de planttemperatuur bekend zijn. Voorlopig zal die planttemperatuur moeten worden geschat. Bij veel instraling kan de planttemperatuur boven in de kas de luchttemperatuur royaal overschrijden, terwijl tegelijkertijd onder in het gewas een zekere minimumbuistemperatuur veelal noodzakelijk zal blijven. Omgekeerd zal bij veel uitstraling de planttemperatuur boven in de kas al gauw enkele graden lager zijn dan de kasluchttemperatuur. Omdat de planttemperatuur in de praktijk niet te meten is, kan in de praktijk nog weinig met de computer worden geregeld.

Door de planttemperatuur bij benadering te schatten kunnen we proberen de zaken naar onze hand te zetten. Onder andere door gebruik te maken van daksproeiers en door bij het luchten een juiste afweging te maken tussen het belang van temperatuur en vocht, vooral in het schrale voorjaar. Ook kan worden gedacht aan een licht (afwasbaar) krijtscherm dat met daksproeiers wordt aangebracht tijdens heel zonnige perioden en wordt afgespoeld zodra de zon verdwijnt. Het tijdelijk sluiten van het scherm is een andere mogelijkheid. Beide maatregelen leiden al snel tot licht- en dus productieverlies. Het doel van al deze maatregelen is op de eerste plaats het behalen van een hogere productie.

Om fotosynthese te kunnen aansturen, moet de hoeveelheid fotosynthese worden gemeten. Dat kan op twee manieren: door de toename in droge stof van een plant te bepalen en door de netto opgenomen hoeveelheid CO<sub>2</sub> vast te stellen.

De fotosynthese is afhankelijk van licht, temperatuur en CO<sub>2</sub>. Gewassen met een enkele bladlaag hebben ongeveer 100 W/m<sup>2</sup> licht nodig om tot een optimale fotosynthese te kunnen komen. Bij planten met meerdere bladlagen neemt de maximaal bruikbare lichtintensiteit toe tot 500 W/m<sup>2</sup>. Planten vertonen meer fotosynthese als de lichtintensiteit en de temperatuur met elkaar in evenwicht zijn. Is er veel licht, dan levert een hoge temperatuur extra fotosynthese op. De temperatuur mag echter niet hoger zijn dan 30 tot 35 °C. Is er weinig licht, dan past daar een lagere temperatuur bij om de meest optimale fotosynthese te krijgen. Ook het optimale CO<sub>2</sub>-gehalte is afhankelijk van de hoeveelheid licht. Bij een hogere lichtintensiteit kan de plant meer CO<sub>2</sub> opnemen en dus meer assimileren dan bij weinig licht. Bij hogere lichtwaarden is het dus effectief om extra CO<sub>2</sub> toe te voegen aan de kaslucht.



**Schoolopdracht 4.1 Het aflezen van de AV en de VV in het Mollier-diagram**

- a Neem de tabel over en vul in. Als je de getallen niet precies kunt aflezen, geef dan een schatting.

Temperatuur	RV	AV	VV
20	50		
5	60		
18	75		

- b Wat is de VV bij 11 °C, 16 °C, 21 °C en 26 °C?

**Schoolopdracht 4.2 Vragen**

- a Uit een stoomketel komt stoom. Is dit waterdamp?  
b In een kas is een RV bereikt van 100%. Door luchting wordt de temperatuur met drie graden verlaagd. Wat gebeurt er?  
c Leg uit waarom de RV daalt als de temperatuur van de kaslucht omhooggaat en stijgt als de kasluchttemperatuur daalt.

**Schoolopdracht 4.3 Waarden aflezen**

- a In een kas is de temperatuur 22 °C en de RV 90%. Lees in het Mollier-diagram de AV en VV af.  
b Door verwarming stijgt de kastemperatuur 3 °C. Lees de nieuwe RV, AV en VV af.  
c De luchting wordt geopend. De temperatuur daalt 1 °C, de AV daalt 1 gram. Lees de nieuwe RV, AV en VV af.

**Schoolopdracht 4.4 Hoeveel graden?**

De temperatuur in de kas is 18 °C en de RV is 95%. De gewenste RV is 85%. Hoeveel graden moet de temperatuur door stoken worden verhoogd?

**Schoolopdracht 4.5 Waarden aflezen**

- a In een kas is de AV 8 g/kg en de VV 12 g/kg. Lees de RV af uit het Mollier-diagram.  
b De planten voegen door verdamping 2 gram waterdamp per kilogram toe aan de lucht. Bepaal de nieuwe RV.  
c Door luchten wordt vervolgens 4 gram waterdamp afgevoerd (de temperatuur blijft gelijk). Lees de RV na luchten af uit het Mollier-diagram.

**Schoolopdracht 4.6 Nogmaals waarden aflezen**

- a In een kas is de temperatuur 14 °C en de VV 10 g/kg. De AV is 2,5 g/kg. Lees de RV in de kas af uit het Mollier-diagram.  
b Lucht van 20,1 °C heeft een VV van 15 g/kg en een AV van 12 g/kg lucht. Lees de RV af uit het Mollier-diagram.

**Schoolopdracht 4.7 Bereken de RV**

Bereken de RV bij de volgende luchttoestanden:

- a AV = 2 g/kg en VV = 5 g/kg;

- b AV = 4 g/kg en VV = 5 g/kg;
- c AV = 20 g/kg en VV = 22 g/kg.

**Schoolopdracht 4.8 Hoeveel waterdamp?**

Bereken de hoeveelheid waterdamp van de volgende luchttoestanden:

- a VV = 20 g/kg en RV = 80%;
- b VV = 10 g/kg en RV = 60%;
- c VV = 25 g/kg en RV = 100%.

**Schoolopdracht 4.9 Welke waarden?**

- a In een kas is de temperatuur 22 °C en de RV is 70%. Lees de AV en VV af.
- b De plant voegt door verdamping 2 gram waterdamp toe aan de lucht. Lees de nieuwe AV, RV en VV af.

**Schoolopdracht 4.10 Welke waarden?**

- a In een kas heerst een temperatuur van 22 °C en een RV van 90%. Lees de AV en VV af.
- b De luchting wordt geopend, de temperatuur daalt 1 °C en de AV daalt 1 g. Lees de nieuwe AV, RV en VV af.

**Schoolopdracht 4.11 Vochtdeficit**

Hoe groot is het vochtdeficit van lucht met een AV van 10 g/kg en een VV van 13,5 g/kg?

**Schoolopdracht 4.12 Reken uit**

- a Een klimaatcomputer staat ingesteld op een RV van 75%. 's Morgens is de kastemperatuur 20 °C. In de middag loopt de kastemperatuur op tot 27 °C. Hoe groot is het vochtdeficit 's morgens en 's middags?
- b Voor de middag kan een aparte RV worden ingesteld. Welke RV moet worden ingesteld bij een middagtemperatuur van 27 °C en een gewenst vochtdeficit van 3 g/kg?

**Schoolopdracht 4.13 Condensatie**

- a In een kas meet de computer een temperatuur van 22 °C en een RV van 75%. Er heerst echter niet overal dezelfde temperatuur in de kas. Op de koudste plaats is het 18 °C. Zal er op deze koude plaats condensatie optreden?
- b In een kas meet de computer een temperatuur van 18 °C en een RV van 80%. Op de koudste plaats is het echter maar 14 °C. Er treedt condensatie op en de tuinder wil de temperatuur hoger instellen om de condensatie op te heffen. Hoeveel graden moet de temperatuur op de koudste plaats stijgen om net geen condensatie te krijgen?
- c De dagtemperatuur is 22 °C. De nachttemperatuur is 16 °C. Kan dit problemen geven met condensatie? Geef eventuele oplossingen.

**Schoolopdracht 4.14 Waar of niet waar?**

Hier volgen enkele uitspraken over verdamping door de plant. Geef aan of de bewering waar of niet waar is.

- a Door verdamping ontstaat passieve wateropname via de wortels.
- b Bij passieve wateropname is de druk in de wortels lager dan in de hoger gelegen cellen van de plant.

- c Huidmondjes gaan open bij licht.
- d In een kas wordt 's nachts de CO<sub>2</sub>-concentratie hoger. De sluitcellen gaan dicht.
- e Bij een sterke verdamping verliest de plant moeilijk opneembare voedingsionen zoals calcium.

**Schoolopdracht 4.15** **Waar of niet waar?**

Hier volgen enkele uitspraken over de effecten van verdamping. Geef aan of een bewering waar of niet waar is.

- a Als gedurende de nacht een te klein vochtdeficit in de kas aanwezig is, gaat dit ten koste van de productie.
- b Als bij een tomatenteelt de kastemperatuur verandert, zullen de bladeren later de nieuwe temperatuur aannemen dan de vruchten.
- c Koustrepen op een komkommervrucht duiden op een verschil tussen de temperatuur van het blad en de vrucht.

**Schoolopdracht 4.16** **Welke maatregel?**

Welke maatregel om de planttemperatuur te verlagen kan al na korte tijd leiden tot minder opbrengst?

- 1 dakberegening;
- 2 krijten;
- 3 schermen.

**Schoolopdracht 4.17** **Fotosynthese**

Op een winterdag is de lichtintensiteit 15 W/m<sup>2</sup>. Door middel van assimilatiebelichting wordt de lichtintensiteit opgevoerd tot 30 W/m<sup>2</sup>. Met hoeveel procent wordt de fotosynthese dan verhoogd?

- 1 ongeveer 50%;
- 2 ongeveer 75%;
- 3 ongeveer 100%.

**Schoolopdracht 4.18** **Welk effect?**

Op een zonnige dag is de lichtintensiteit 300 W/m<sup>2</sup>. De tuinder trekt het schermdoek uit, waardoor de lichtintensiteit terugvalt tot 200 W/m<sup>2</sup>. Wat is het effect op de fotosynthese bij een gewas met een enkele bladlaag?

- 1 De fotosynthese neemt af met 30%.
- 2 Er is geen effect, er blijft voldoende licht over.
- 3 Omdat de planten minder verdampen, neemt de fotosynthese toe.