

**PROEFSTATION VOOR TUINBOUW ONDER GLAS TE NAALDWIJK  
PROEFSTATION VOOR DE BLOEMISTERIJ TE AALSMEER  
CONSULENTSCHAPPEN VOOR DE TUINBOUW**

**PLANTENFYSIOLOGIE IN DE GLASTUINBOUW**

**D. Klapwijk**

**No. 78  
Informatiereeks  
Januari 1988**

**Prijs f 20,-**

## EEN WOORD VOORAF

Bij de praktijk van het telen van zowel groenten als bloemen wordt de belangstelling voor de plantenfysiologie steeds groter. Dit ligt ook voor de hand. De mogelijkheden om de groeiomstandigheden te beheersen zijn immers nog nooit zo groot geweest.

De techniek opent steeds weer nieuwe wegen tot teeltbeheersing. De technische mogelijkheden zijn in een aantal opzichten zelfs duidelijk groter dan de kennis van de teelten die nodig zou zijn om deze mogelijkheden uit te buiten.

Het is daardoor goed te verklaren dat er veel vraag is naar informatie over de manier waarop de plantengroei kan worden beïnvloed. Daarbij is het eerst noodzakelijk meer te weten over de plant zelf. De tweede stap is meer kennis te vergaren over de mogelijkheden om de plant met behulp van de regelbare omstandigheden zo te sturen dat de uitkomsten worden verbeterd.

In deze brochure wordt getracht tegemoet te komen aan de vraag naar deze informatie. Het is de derde verbeterde versie, waarvan de eerste verschenen in 1968. Het is de neerslag van de kennis en de studie die in die jaren onder leiding van dr. ir. P.J.A.L. de Lint is gebruikt op de Afdeling Plantenfysiologie van het Proefstation voor Tuinbouw onder Glas te Naaldwijk.

## INHOUDSOPGAVE

	Pagina
1. INLEIDING	6
2. ENERGIE EN DE PLANT	8
2.1.    Energie in de plant	8
2.2.    Energie en droge stof in de plant	9
2.2.1. Fotosynthese - ademhaling	9
2.2.2. Groei	10
2.2.3. Waar blijft het water?	10
2.2.4. Waar blijft de energie?	10
2.3.    Droge stof en water in de plant	11
2.4.    Droge stof en water in de cel	12
2.4.1. Celopbouw	12
2.4.2. Droge stof in de cel	13
2.4.3. Water in de cel	14
2.5.    Celdeling + celstrekking = groei	15
2.5.1. Celdeling en celstrekking	15
2.5.2. Invloed van de groeiomstandigheden	17
3. LEVENSPROCESSEN IN DE PLANT	20
3.1.    Fotosynthese en ademhaling	20
3.1.1. Fotosynthese	20
3.1.2. Ademhaling	21
3.1.3. Fotosynthese - ademhaling = groei	22
3.1.4. Transport en opslag	23
3.2.    Groei en ontwikkeling	23
3.2.1. Groei	24
3.2.2. Ontwikkeling	25
3.2.3. Stofverdeling	25
3.2.4. Snelheid van de gewichtsgroei	26
3.2.5. Snelheid van het groeipunt	29
3.2.6. Groeiremning	30
3.3.    Verdamping en wateropname	31
3.3.1. Verdamping	31
3.3.2. Het vatenstelsel	32
3.3.3. Wateropname door verdamping	32
3.3.4. Wateropname door worteldruk	33
3.3.5. Wateropname door osmose	34
3.3.6. Zuigspanning in de grond	35
3.3.7. Verdamping en groei	36
3.4.    Planttemperatuur	37
3.4.1. Temperatuur in de plant	37
3.4.2. Verdamping en temperatuur	38
3.4.3. Regeling van de planttemperatuur	39

3.4.4.	Temperatuurschokken	41
3.5.	De opname van mineralen	42
3.5.1.	Opname en afgifte van mineralen	42
3.5.2.	Actieve opname en transport	43
3.5.3.	Mineralentekorten	44
3.6.	Wortelactiviteit	44
3.6.1.	Groei van het wortelstelsel	45
3.6.2.	Factoren van invloed op de wortel	46
4.	INVLOED VAN HET LICHT	50
4.1.	Wat is licht?	50
4.1.1.	Golflengte van het licht	50
4.1.2.	Het kaseffect	52
4.1.3.	Richting van het licht	52
4.2.	Licht in de kas	53
4.2.1.	Licht binnen de kas	53
4.2.2.	Lichtbenutting	54
4.3.	Functies van het licht	55
4.3.1.	Vormbepalende invloed	56
4.3.2.	Daglente-invloed	57
4.3.3.	Licht als energiebron	58
4.4.	Licht op de plant	59
4.4.1.	Licht op een blad	59
4.4.2.	Licht in een gewas	60
4.4.3.	Licht en groei	62
4.5.	Invloed van natuurlijke lichtverschillen	63
4.5.1.	Dagelijks lichtverloop	63
4.5.2.	Seizoenverloop	63
4.5.3.	Aanpassing in de plant	64
4.6.	Invloed kunstmatige lichtverschillen	65
4.6.1.	Toepassing kunstlicht	65
4.6.2.	Verhouding kunstlicht/daglicht	67
4.6.3.	Lichtonderschepping	67
5.	INVLOED VAN DE TEMPERATUUR	69
5.1.	Functies van de temperatuur in de plant	69
5.1.1.	Temperatuur en snelheid	69
5.1.2.	Temperatuur en lengtegroei	70
5.1.3.	Thermoperiodiciteit	71
5.2.	Temperatuur en levensprocessen	71
5.2.1.	Temperatuur en fotosynthese	71
5.2.2.	Temperatuur en ademhaling	73
5.2.3.	Temperatuur en fotosynthese-ademhaling	73

5.2.4.	Temperatuur en groei	74
5.2.5.	Temperatuur en ontwikkeling	75
5.2.6.	Temperatuur en verdamping	76
5.3.	Samenhang temperatuur - licht	76
5.3.1.	Temperatuur - licht en ademhaling - fotosynthese	76
5.3.2.	Vergelijking effect temperatuur en licht	77
5.3.3.	Lichtafhankelijk stoken?	78
5.4.	Temperatuur en energie	79
5.4.1.	Wat is temperatuur	79
5.4.2.	Meting standaardiseren	80
5.4.3.	Temperatuurregeling	80
5.4.4.	Verwarming	81
5.4.5.	Koelen in de kas	82
5.4.6.	Wortelverwarming	83
5.4.7.	Energiebesparing	84
5.5.	Temperatuurverschillen	84
5.5.1.	Seizoen en temperatuur	84
5.5.2.	Dag-nachttemperatuur	85
5.5.3.	Temperatuurschokken	87
6.	DE LUCHT OM DE PLANT	89
6.1.	Gaswisseling	89
6.1.1.	Samenstelling van de lucht	89
6.1.2.	Luchtbeweging	90
6.1.3.	Diffusie	91
6.1.4.	Huidmondjes	93
6.2.	Koolzuurgas	94
6.2.1.	CO <sub>2</sub> : belangrijkste voedingsstof	94
6.2.2.	CO <sub>2</sub> -gehalte	96
6.2.3.	CO <sub>2</sub> -dosering	97
6.2.4.	Samenhang CO <sub>2</sub> -licht-temperatuur	97
6.2.5.	CO <sub>2</sub> en wortelgroei	98
6.3.	Waterdamp	98
6.3.1.	Verdamping en groei	99
6.3.2.	Natuurkunde over waterdamp	99
6.3.3.	Stroom en peil	101
6.3.4.	Hoe verdampt de plant het water?	101
6.3.5.	Waterdampafvoer door luchtverversing	102
6.3.6.	Waterdampafvoer door condensatie	103
6.3.7.	Potdichte kassen	105
6.3.8.	Plant en luchtvochtigheid	106
6.3.9.	Regeling van de luchtvochtigheid?	106
6.3.10.	Waterdamp en CO <sub>2</sub>	107
6.4.	Zuurstof in de lucht	107
6.4.1.	Uitwisseling lucht - grond	107

6.4.2.	Invloed van de structuur	108
6.4.3.	Kunstmatige wortelmilieus	109
6.4.4.	Zuurstof bovengronds	109
7.	DE WATERHUISHOUDING VAN DE PLANT	110
7.1.	Plantkoeling	110
7.2.	Celspanning	111
7.2.1.	Traject van de celspanning	111
7.2.2.	Grenzen aan de celspanning	112
7.2.3.	Celspanning en produktie kwaliteit	113
7.2.4.	Befvloeding van de celspanning	114
7.3.	Wateropname en verdamping	115
7.3.1.	Wateropname uit de grond	115
7.3.2.	Wateropname door de wortels	115
7.3.3.	Watertransport in de plant	116
7.3.4.	Vochtbuffer in de plant	116
7.3.5.	Stoken en verdamping	117
7.3.6.	Mineralen en waterhuishouding	118
7.4.	Waterhuishouding en teelt	119
7.4.1.	Waterhuishouding en gehalte droge stof	119
7.4.2.	Invloed op de groei	120
7.4.3.	Invloed op de vroegheid	121
7.4.4.	Watertoediening	122
7.4.5.	Fysiogene afwijkingen	123
7.4.6.	Aanpassingen in de plant	124
7.4.7.	Afwijkingen door hoge celspanning	125
7.4.8.	Afwijkingen door lage celspanning	125
8.	TELEN IN KASSEN	127
8.1.	Samenhang tussen de groeifactoren	127
8.1.1.	Wet van het minimum	127
8.1.2.	Wat is de maximale capaciteit?	128
8.2.	Reacties van de plant	129
8.2.1.	Aanpassingen in de groei	129
8.2.2.	Aanpassingen in de produktie	129
8.2.3.	Verschil plant - gewas	130
8.2.4.	Lichtverdunding	130
8.3.	Beheersbaarheid van de groeifactoren	131
8.3.1.	Regelbaarheid - buffer	131
8.3.2.	Substraatteelt	132
8.4.	Telen is kiezen	132
8.4.1.	Samenhang tussen water, warmte en licht	132
8.4.2.	Vergelijking effect van licht, CO <sub>2</sub> , temperatuur en water	133

8.5.	Niet uit een boekje!	134
8.5.1.	Beslissingen	134
8.5.2.	Resultaten	135
8.6.	Succes!	136

## 1. INLEIDING

Het ligt in de bedoeling de plantenfysiologie in verschillende ronden aan de orde te stellen.

De eerste keer wordt de plant beschreven in samenhang met de energie die door de plant wordt benut. De basis van alle tuinbouwproduktie is de plantengroei. De groei kan alleen tot stand komen als de planten lichtenergie kunnen opvangen.

Het tweede deel gaat dan nader in op een aantal levensprocessen dat binnen de plant plaatsvindt. Het resultaat van al deze processen is weer de door ons gewenste groei. Er wordt dan aandacht gegeven aan de fotosynthese die onder inwerking van het licht voor de grondstoffen zorgt. De ademhaling maakt de energie weer vrij voor leven en groei. Min of meer los daarvan neemt de plant als gevolg van verdamping grote hoeveelheden water op die onder andere dienen voor transport van allerlei stoffen. De verdamping van dat water kost ook veel energie en zorgt voor de koeling van de plant.

Het derde hoofdstuk behandelt de plantenfysiologie vanuit de groeifactoren. Dan komt de vraag aan de orde hoe we de groei kunnen beïnvloeden = telen. De eerste vraag is: wat doet het licht? De meeste aandacht wordt dan gegeven aan de fotosynthese maar het licht heeft bijvoorbeeld ook een daglengtefunctie. Daarna volgt behandeling van het effect van de temperatuur en de samenhang met het licht. Het derde onderwerp is de lucht om de plant, waarbij iets wordt gezegd over luchtbeweging en CO<sub>2</sub>-voorziening. Als laatste onderwerp volgt dan de waterhuishouding van de plant.

Van het gehele veld van de plantenfysiologie zou nog wel meer te zeggen zijn. Zo is er bijvoorbeeld niets opgenomen over hormonen. Deze beperkingen zijn aangebracht om deze publikatie niet te ver te laten uitdijen. Daarom is gekozen voor die onderdelen die het meest van belang zijn voor de teler omdat hij er invloed op heeft, bijvoorbeeld via de klimaatregeling. Andere delen van de plantkunde zoals de anatomie (leer van de inwendige bouw) komen slechts aan de orde als het voor het begrip van de fysiologie niet gemist kan worden.

### Gebruiksaanwijzing

In het bestek van deze brochure kan de plantengroei slechts in beknopte vorm worden behandeld. Om de leesbaarheid te vergroten worden veel tekeningen opgenomen om te verduidelijken wat in de tekst wordt gezegd.

Om de stof niet te ingewikkeld te maken zijn veel zaken geschematiseerd. De werkelijkheid is altijd ingewikkelder. Het gaat er echter om dat begrepen wordt wat de belangrijkste effecten zijn van de maatregelen die we treffen bij het telen. Het gaat om inzicht en niet om exacte feiten. Veel cijfers die worden genoemd zijn dan ook slechts vuistregels. Bepaalde getallen worden genoemd om een indruk te geven van de orde van grootte. In werkelijkheid zal er meestal een ruime spreiding rond de genoemde getallen bestaan.

De opzet van deze brochure is uiteraard niet op een bepaald gewas gericht. Als illustratie worden wel veel voorbeelden van allerlei gewassen genoemd. De uitwerking is globaal gehouden, zodat veel be-



weringen een algemene geldigheid hebben. Als er iets over een blad wordt gezegd maakt het in principe niet veel uit aan welke plant het vast zit.

Als gewasgerichte cursussen worden gegeven kan deze brochure uitstekend dienst doen als leidraad, terwijl de stof wordt toegespitst op het behandelde gewas.

Voor hen die zich nader willen oriënteren zijn onderstaande boekjes zeer instructief:

Alberda, Th. e.a., De groene aarde, Aula 250.

Nultsch, W., Algemene Botanica 1 en 2, Aula 573-574.

Quispel, A. en D. Stegwee, Plantenfysiologie, Bohn, Scheltema & Holkema.

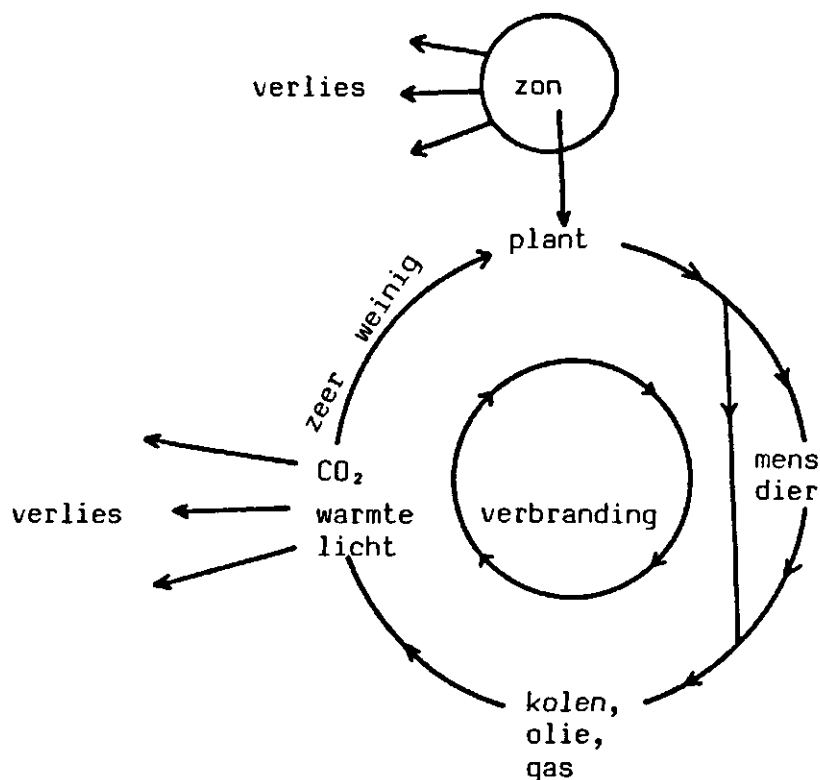
## 2. ENERGIE EN DE PLANT

### 2.1. Energie in de plant

In dit hoofdstuk komt aan de orde hoe belangrijk energie is bij de plantengroei. Alles wat leeft heeft energie nodig. We eten bijvoorbeeld plantaardig materiaal (groenten, aardappelen) om daaruit de energie te putten die we nodig hebben om arbeid te verrichten. De energie die we uit ons voedsel halen is eerst in de planten vastgelegd. Onder invloed van het zonlicht wordt  $\text{CO}_2$  met water omgezet tot plantaardig materiaal waarin de energie is opgeslagen. Als de plant niet het vermogen had om ons voedsel te vormen door directe benutting van de zonne-energie, dan zouden we omkomen van de honger.

Nagenoeg alle niet-groene levende wezens zijn dus uiteindelijk aangewezen op de fotosynthese van de plant.

Van de zon die aan alle zijden licht instraalt (figuur 1), komt



Figuur 1. Energiekringloop: slechts een zeer gering deel van de energie die door de plant werd vastgelegd, komt uiteindelijk weer ter beschikking van de plant.

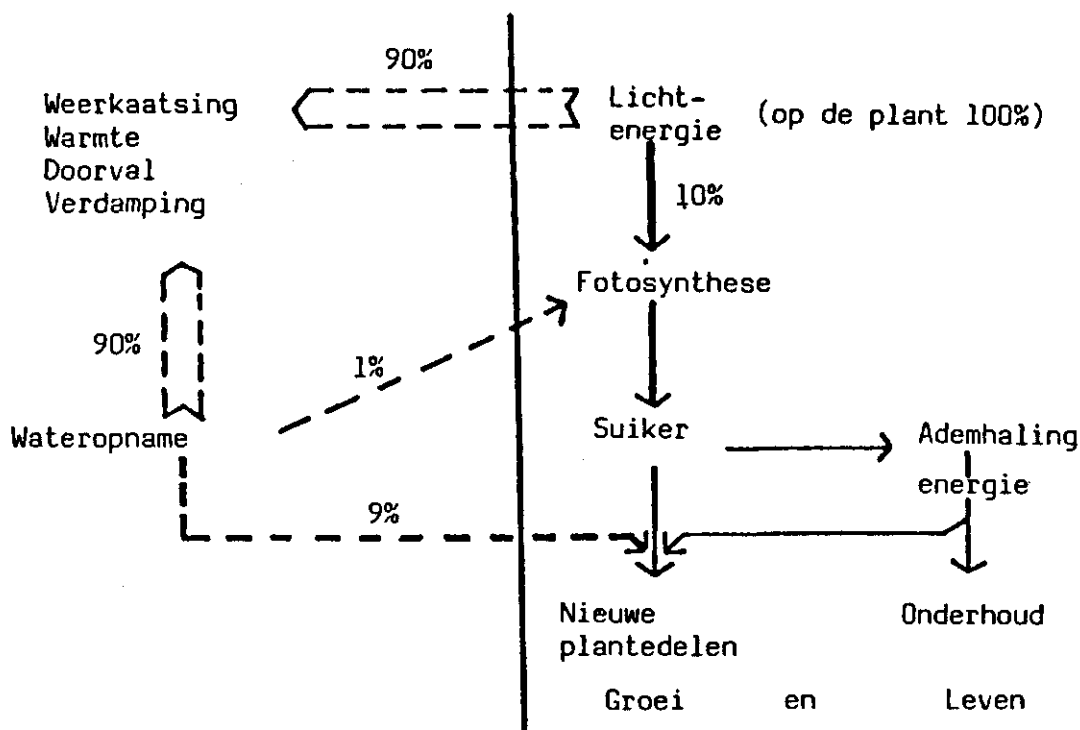
maar zeer weinig energie op de plant terecht. Het gevormde plantaardige materiaal wordt in de kringloop opgenomen, ook als het niet tot voedsel dient maar zonder meer verteert. Dan heeft het trouwens tot voedsel gediend voor micro-organismen. De mens voegt aan de energiekringloop grote hoeveelheden zogenaamde fossiele energie toe.

De energie in kolen, olie of gas is daarin echter op dezelfde manier terecht gekomen als we hierboven beschreven hebben voor de plant. Uit de brandstof wordt de energie, zij het met een laag rendement, weer vrijgemaakt bijvoorbeeld als elektriciteit. Alle verbrandingen en verteringen maken energie vrij en daarbij wordt de  $CO_2$  en het water weer teruggevormd. Van alle fossiele energie komt slechts een fractie weer ter beschikking van de plant in de vorm van warmte, licht of  $CO_2$ . De rest verspreidt zich in de ruimte rond de aarde. Het is dus geen gesloten kringloop want de energie-terugwinning in het laatste deel is verwaarloosbaar klein.

## 2.2. Energie en droge stof in de plant

### 2.2.1. Fotosynthese - ademhaling

De plant gebruikt zonne-energie om bij de fotosynthese droge stof te maken (suikers) uit  $CO_2$  en water. Deze suikers zijn eigenlijk ook voedsel voor de plant.



Figuur 2. Het energieschema: maximaal 10% van de energie wordt door een gewas gebruikt voor de vorming van suikers (leven en groei). De rest wordt voor het grootste deel verbruikt bij de verdamping.

Ze worden namelijk gebruikt bij de ademhaling (figuur 2). Alles wat leeft moet ademen, ook de plant. De energie die door de ademhaling wordt geleverd is nodig voor het leven met al zijn activiteiten. Ook als er geen groei is wordt er door de plant arbeid verricht. Er kunnen dan echter in de plant nog suikers overblijven die niet voor ademhaling nodig zijn. Deze suikers kan de plant gebruiken voor de toename in drooggewicht door nieuwe

plantendelen aan te maken.

Uiteraard zijn er een enorm aantal omzettingen nodig voordat uit een hoeveelheid suiker en een nieuwe cel is gevormd. Dit vraagt veel arbeid. Voor het bouwproces is dan ook veel energie nodig. Deze energie moet eveneens worden geleverd door de ademhaling. Als de groei snel verloopt moet er dus ook snel worden geademd.

### 2.2.2. Groei

Door de groei wordt dus energie in plantendelen opgeslagen. We kunnen de energie zodoende bewaren tot we het er weer uithalen als we plantaardig voedsel gebruiken. Het kan ook zeer lang worden bewaard (fossiele brandstoffen) tot we het verbranden om de energie (warmte, elektriciteit) weer te gebruiken.

Bij de produktie van planten streven we naar optimale groei. We trachten door het aanpassen van bepaalde groeifactoren (bijvoorbeeld warmte) zo veel mogelijk nuttige droge stof te produceren. De nuttigheid is echter economisch bepaald. Weinig groei in de winter kan voordeliger zijn dan wachten op een veel betere groei in het voorjaar.

### 2.2.3. Waar blijft het water?

De plant heeft voor verschillende processen water nodig. In de eerste plaats wordt water verwerkt bij de fotosynthese: uit water en  $\text{CO}_2$  worden suikers gevormd. Dat kost ongeveer 1% van het water dat door de plant wordt opgenomen (figuur 2). Het water is chemisch in de plant gebonden, het is er ook niet meer uit te drogen.

Het behoort tot de droge stof. Deze kan worden verbrand, waarbij water en  $\text{CO}_2$  weer vrij komen.

Verder heeft een kruidachtige plant een zeer hoog watergehalte: gemiddeld bestaat een jonge plant voor circa 90% uit water. Dit water behoort wel tot de plant, want als je het eruit droogt, is de plant dood. Het is echter niet aan de droge stof gebonden want bij droging blijft juist de droge stof over. Voor zijn vochtgehalte gebruikt de plant circa 10% van het opgenomen water.

Waar blijft de overige bijna 90% van het opgenomen water? Dit gaat door de plant heen. Het verlaat de plant door verdamping, zoals het was opgenomen door de wortels. In de verdamping gaat dus circa 90% van het opgenomen water zitten.

### 2.2.4. Waar blijft de energie?

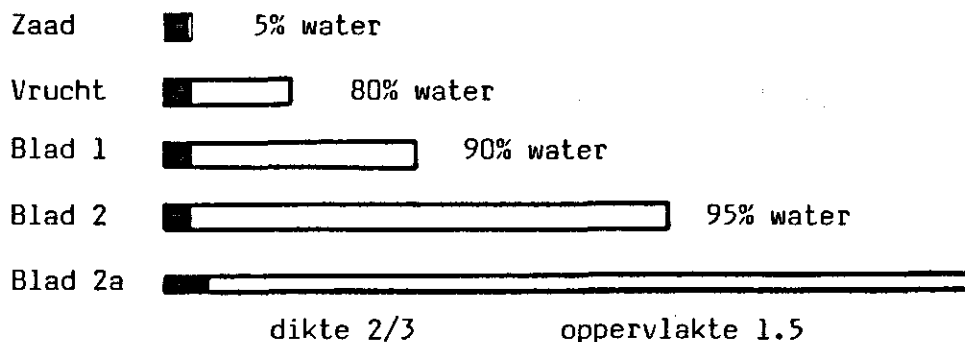
Van alle zonne-energie komt maar een schijntje op de aarde terecht (figuur 1); de aarde is maar een balletje in vergelijking tot de zon. Van de zonne-energie die de aarde opvangt, komt dan nog lang niet alles op groene planten. Als de omstandigheden zeer gunstig zijn kan van het licht dat dan nog op een gewas terecht komt, maximaal 10% worden vastgelegd door middel van het fotosynthese-proces. Het bovenstaande wil zeggen dat 90% of meer van de energie die de plant treft, op één of andere manier weer wordt afgevoerd. Het kan immers niet in het blad worden opgehoopt want dan zou het blad steeds warmer worden en verbranden. Het blad kan echter wel iets warmer worden dan de lucht er omheen. Het blad gaat dan energie

overdragen aan de lucht (figuur 2). Van de energie die op het blad valt wordt verder een deel teruggekaatst. Ook valt er licht door de bladeren heen, omdat ze te dun zijn om alle straling te absorberen. Warmte-overdracht, weerkaatsing en doorval nemen samen circa 30% van de ingestraalde energie voor hun rekening. Daarbij komt dan nog maximaal 10% voor de fotosynthese. Deze optelsom leert dat er dan nog 60 a 70% van de energie moet worden afgevoerd. Dit gebeurt doordat uit de plant water verdampst. Dit verdampen kost zeer veel energie. Dat kunt u zelf nagaan als u 1 liter water op de gasvlam zet en via de fluitketel laat verdampen. U hoort dan wel hoe lang het gas moet blijven branden!

We hebben de 90% energie die niet in de fotosynthese ging zitten, links van de lijn gezet. Daarmee wordt aangegeven dat die energie niet bijdraagt aan de droge-stofproduktie. De verdamping als zodanig draagt dus ook niet bij aan de toename van het plantgewicht. De plant kan hoogstens zwaarder worden van water dat wel wordt opgenomen maar dat niet verdampst wordt. Groei is dus in directe zin onafhankelijk van de verdamping. Indirect zijn er wel invloeden maar daar komen we nog op terug.

### 2.3. Droge stof en water in de plant

We zagen al dat een jonge kruidachtige plant ongeveer 90% water bevat. Je zou ook kunnen zeggen dat de plant de droge stof heeft verdund met water. Nu zijn verschillende graden van verdunning mogelijk. We hebben in figuur 3 een aantal voorbeelden geschetst. Zaad bevat slechts 5% water. Het is dan in rust. Wordt het natter dan gaat het kiemen en zich door wateropname verdunnen. Vruchten die zeer suikerrijk zijn, kunnen toch al 80% vocht bevatten. Bij bladeren gaat de verdunning nog verder namelijk wel tot 95%.



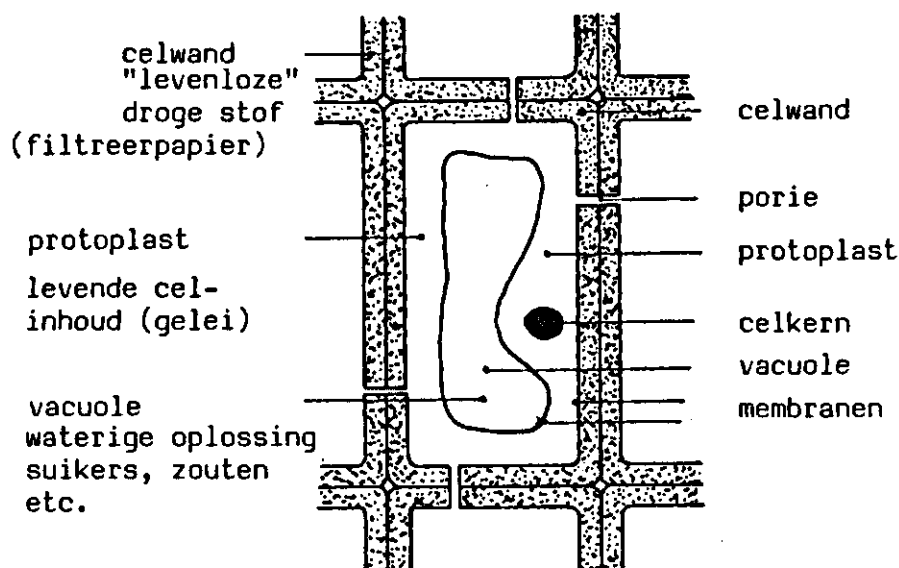
Figuur 3. Droge stof en water: de droge stof wordt verdund met water. Hoe groter de verdunning, hoe groter de oppervlakte, hoe beter de lichtvangst, hoe sneller de groei!

Uit de figuur kunt u afleiden hoe belangrijk de verdunning is voor de plant. We zijn uitgegaan van gelijke hoeveelheden droge stof omdat dat bepaald wordt door de fotosynthese, stel in beide gevallen 1 g. Verdunt de ene plant nu tot 90%, dan is de verhouding droge stof: water = 1 : 9. Is bij een andere plant de verdunning echter 95%, dan is die verhouding 1 : 19. Bij gelijke hoeveelheid droge stof wordt in het laatste geval ruim twee maal zoveel water opgeno-

men. Dat betekent bij bladeren, omdat ze dun zijn, een veel groter oppervlak (blad 2). Omdat in de praktijk de waterige bladeren die bij minder licht groeien, ook nog dunner zijn, wordt de oppervlakte driemaal zo groot (blad 2a). Dat betekent weer driemaal zo veel lichtvangst en dus veel meer groei dan bij blad 1 mogelijk is. De conclusie kan dus zijn: hoe lager het droge-stofgehalte, hoe sneller de groei. Andersom gezegd echter: hoe hoger het droge-stofgehalte hoe meer de groei is geremd.

#### 2.4. Droge stof en water in de cel

Aan de hand van een schematische weergave van een plantencel willen we nu wat meer zeggen over het voorkomen van droge stof en water in de plant (figuur 4).



Figuur 4. Schematische opbouw van de cel: de protoplast vormt het levende, reagerende en regelende deel van de cel. Alle onderdelen binnen de cel zijn door membranen van elkaar gescheiden. De cel ontleent zijn stevigheid aan de wandconstructie.

De plant is opgebouwd uit onvoorstelbaar grote aantallen levende cellen. Ze hebben verschillende functies, maar het grondplan is gelijk.

##### 2.4.1. Celopbouw

###### Celwand

De cel is te beschouwen als een rechthoekige doos, die naar verhouding van zijn afmetingen een behoorlijk stevige constructie heeft. Daardoor blijven veel plantendelen (stengels) overeind staan. De wand van de doos noemen we celwand. Deze is niet hermetisch gesloten maar heeft overal poriën. Via deze poriën staan alle levende cellen in een orgaan met elkaar in verbinding.

## Protoplast

Binnen de celwand vinden we de protoplast. Daarin is het leven van de cel gesitueerd. De protoplast heeft een gelei-achtige structuur, denk aan het eiwit van een vers ei. Via de poriën kunnen de protoplasten allerlei stoffen aan elkaar doorgeven. Er bestaat verband tussen de cellen, het zijn geen los gestapelde doosjes. In de protoplast bevindt zich ook de celkern, daarin is alle informatie opgeslagen die nodig is om alle levensprocessen op de juiste manier te laten verlopen. Dit zou men de "soft-ware" van de plant kunnen noemen. De kern bestaat evenals de protoplast uit eiwitachtige stoffen, maar is veel compacter opgebouwd. Verder komen in de protoplast nog vele kleine lichaampjes voor, zogenaamde organellen. We noemen er maar twee: bladgroenkorrels en mitochondriën. In de bladgroenkorrels vindt de fotosynthese plaats. De mitochondriën zorgen voor de ademhaling. De protoplast is constant in beweging, zodat op die manier allerlei stoffen door de cellen worden vervoerd. De energie die voor de beweging nodig is wordt geleverd door de ademhaling.

## Membranen

De protoplast zelf en alle lichaampjes in de cel zijn omgeven door membranen. Dit zijn heel dunne levende wandjes waarmee de plant min of meer kan regelen, wat er wel en wat er niet doorheen mag gaan. Dit regelen kost energie. Dat geldt trouwens voor alle processen die zich in de cel afspelen. De regeling via de membranen is nodig omdat anders allerlei chemische processen in het honderd zouden lopen. Als deze membranen, bijvoorbeeld door lichtgebrek, slecht van kwaliteit zijn, worden ze enigszins "lek". Water en andere stoffen komen dan soms waar ze niet horen en de cellen drogen ook te gemakkelijk uit. De plant gaat dan fysiogene afwijkingen vertonen.

## Vacuole

Tenslotte bevindt zich midden in de cel de vacuole. Bij jonge cellen is deze klein. Bij volgroeide cellen wordt juist de meeste ruimte ingenomen door de vacuole. Tussen de vacuole en de protoplast bevindt zich weer een membraan. Deze zorgt er voor dat de inhoud van de vacuole niet zomaar door de cel heen stroomt. Deze inhoud is een waterige oplossing van allerlei stoffen: zouten, zuren, suikers, hormonen, vitaminen, enzovoort.

### 2.4.2. Droge stof in de cel

Het materiaal waaruit de cel is opgebouwd is in twee hoofdgroepen te verdelen namelijk de anorganische en organische stoffen.

#### Anorganische stoffen

Minder dan 10% van de cel bestaat uit anorganische stoffen. We spreken dan vooral over de mineralen die in de vacuole zijn opgelost. Via de bemesting worden deze stoffen in de plant opgenomen zoals, kali-, kalk- en magnesiumzouten.

Er komen altijd opgelosten zouten voor in het water dat zich in de plant bevindt. De plant neemt ook steeds nieuwe zouten op, maar de concentratie behoeft daardoor niet hoger te worden. Het overgrote deel van de minerale elementen wordt namelijk gebruikt bij de opbouw van de meer ingewikkelde organische verbindingen. Stikstof (N) en zwavel (S) zijn bijvoorbeeld nodig voor de eiwitten. Magnesium (Mg) en ijzer (Fe) komen onder andere voor in bladgroen. In de celmembranen spelen kalk (Ca) en kali (K) een rol bij de doorlatendheid van de membranen. Voor de stoffen die betrokken zijn bij de energiebinding (fotosynthese) en het weer vrij maken ervan (ademhaling) is vooral fosfor (P) nodig.

### Organische stoffen

Het grootste deel van de cel bestaat uit organische stoffen. Deze stoffen zijn opgebouwd via de suikers die bij de fotosynthese zijn gevormd. Deze suikers vormen de grondstof voor energie-opwekking en nieuwbouw. Suikers zijn oplosbaar dus overal heen vervoerbaar. Dat is nodig want alleen groene cellen maken zelf suiker. De plant kan de suiker tijdelijk onoplosbaar maken en zo opslaan. Dit gebeurt door afzonderlijke suikermoleculen samen te voegen tot grotere zetmeelmoleculen. De suiker wordt verder, onder opname van veel energie, omgevormd tot plantenorganen.

De droge stof van het levende deel van de cel bestaat vooral uit eiwitten. Uit deze familie van stoffen bestaan de protoplast, de kern en alle organellen. Het zijn allemaal ingewikkelder verbindingen dan suiker of zetmeel.

Celwanden tenslotte, bestaan uit cellulose. De celwand kan niet meedoen aan de regeling van de levensprocessen, omdat cellulose een stof is die niet gemakkelijk meer ergens mee reageert. Cellulose heet in het dagelijks leven celstof, het is te vergelijken met filterpapier.

#### 2.4.3. Water in de cel

Kruidachtige planten bestaan voor 90% uit water, dus bestaan ook cellen voor 90% uit water. Dat water komt voor in de drie belangrijkste celonderdelen: wand, protoplast en vacuole (figuur 4).

#### Celwand

De celwand bestaat uit filterpapier. Het water met de daarin opgeloste stoffen kan zich vrij in de wand verplaatsen. Als het goed is zit de plant vol water en zuigt de wand zich vol. Bij watergebrek kan hij echter ook gemakkelijk weer uitdrogen. Dat zou ook beslist gebeuren als de plant niet over een dichte opperhuid zou beschikken. Via de celwand worden verschillen in watergehalte tussen de verschillende cellen snel genivelleerd, vergelijk filterpapier.

#### Protoplast

De protoplast heeft een gelei-achtige structuur. Dit wil zeggen dat het watergehalte zeer hoog is, nog hoger dan dat van de celwand.



Als de protoplast erg veel water verliest schrompelt hij ineen en worden de verbindingen met de buurcellen verbroken. We spreken dan van plasmolyse.

### **Vacuole**

In de vacuole is het watergehalte het hoogst. Het is een oplossing van allerlei stoffen in water. Als de cel uitdroogt, verliest ook de vacuole water. De concentratie loopt dan op en dat heeft tot gevolg dat het wateraanzuigend vermogen van de cel toeneemt. Het watergehalte in de cel kan dus vrij plotseling afnemen als de plant onder invloed van de omstandigheden water verliest. De waterbuffer van de cel tussen helemaal vol en juist nog geen verdrogingsschade is circa 20%. Binnen de plant is er een groot verschil tussen de cellen. Hoe groter de plant hoe meer "dode" droge stof erin voorkomt, doordat allerlei steunweefsels nodig zijn. De plant verhout, denk aan een boomstam. Het watergehalte neemt daardoor af.

## **2.5. Celdeling + celstrekking = groei**

Als er voor ons mensen goed wordt gezorgd, groeien we gezond op, maar de groei stopt als we volwassen zijn. Al onze organen waren al aanwezig toen we geboren werden, ze groeien alleen uit. Bij een plant is dat heel anders. Direct na de kieming hebben we al wel met een complete plant te maken, maar naarmate de plant ouder wordt, komen er steeds organen bij. Een jong kiemplantje is niet meer dan bijvoorbeeld een wortel, twee zaadlobben en een groeipunt met blad in aanleg. Er zijn dan twee groeiplaatsen: de wortel en de scheut. Beide kunnen vertakken zodat er vele nieuwe groeipunten kunnen ontstaan. Soms nemen we die weg zodat de plant met een bovengronds groeipunt door het leven moet.

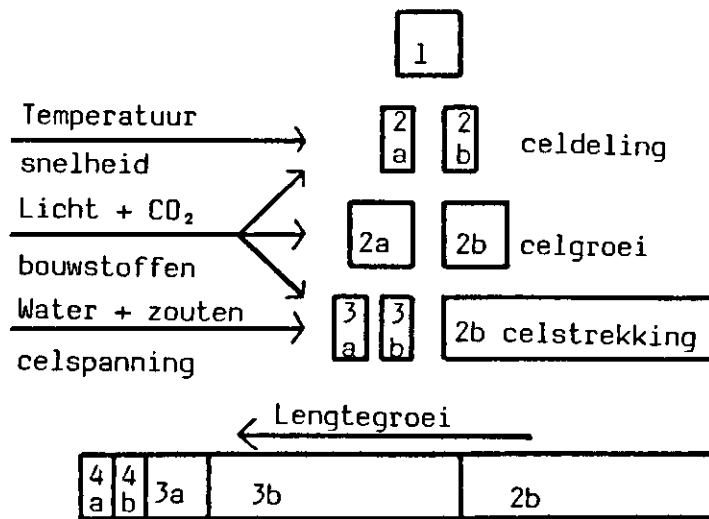
De droge stof die bij de fotosynthese is gevormd, wordt in de groeipunten omgevormd tot nieuwe plantendelen. Er wordt ook veel droge stof gebruikt om de energie uit vrij te maken die voor de opbouw nodig is. We willen nu wat meer aandacht geven aan het proces van suikerverwerking (groei) en de omstandigheden die erop inwerken.

### **2.5.1. Celdeling en celstrekking**

Eerder is een beschrijving van de cel gegeven. De plant bestaat geheel uit cellen en de groei van de plant komt tot stand door vermeerdering van het aantal cellen in de groeipunten. Enkele fasen zijn te onderscheiden.

#### **Celdeling**

Het aantal cellen in de plant neemt toe als de plant groeit. Dit komt tot stand doordat bepaalde cellen zich in tweeën splitsen. Eerst worden in de cel alle onderdelen verdubbeld. Deze onderdelen rangschikken zich in twee helften. Er groeit een wand tussen en er zijn twee cellen ontstaan met dezelfde eigenschappen als de moeder-cel (figuur 5). Ze zijn echter nog erg klein en op deze manier zou de plant niet veel in volume toenemen.



Figuur 5. Groei: celdeling en -strekking. Weergave van het verloop van celdeling en -strekking met de factoren die dit beïnvloeden. De gestrekte cel kan vijfmaal zo groot worden als de moedercel.

### Celgroei

De beide nieuwe cellen zijn compleet, maar moeten nog uitgroeien tot de oorspronkelijke maat. Hiervoor zijn uiteraard veel bouwstoffen nodig, meer nog dan voor de inleiding van het delingsproces. Als de cel voltooid is heeft de plant dus de oorspronkelijke hoeveelheid droge stof verdubbeld. Voor het hele proces is veel energie nodig, er is dus ook veel suiker gebruikt voor de ademhaling. Bij dierlijke cellen is de groei dan ten einde, maar bij de plant volgt nog de vergrotingsfase. De informatie voor de opdrachten die samenhangen met de deling is vastgelegd in de celkern. De sturing van al deze processen moeten we echter buiten beschouwing laten.

### Celstrekking

De tweede groeifase noemen we celstrekking. Van de twee nieuwe cellen gaat er een zich opnieuw delen (figuur 5). De andere begint groter te worden en kan zelfs vijfmaal zo groot worden als de moedercel. Meestal wordt de vorm langwerpig. De strekking komt tot stand onder invloed van inwendige druk in de cel, de zogenaamde celspanning. In deze fase gaat de cel zich ook "verdunnen", dat wil zeggen dat het watergehalte toeneemt. Toch is er ook nog wel bouwstof nodig want de wand van de strekkende cel krijgt een oppervlakte die veel groter wordt dan die van de moedercel.

### Groeipunt

Het delingsproces vindt plaats in het groeipunt, de strekking er

vlak achter. Groeipunten vinden we in wortels, scheuten en bij de bloemaanleg. Bij de wortels en scheuten vindt meestal een duidelijke strekking plaats. Bij bloemaanleg houdt de stengelstrekking soms op en komen de bloemdelen pal op elkaar te zitten, bijvoorbeeld de samengestelde bloem van een chrysant. In weefsels die al uit gestrekte cellen bestaan, kunnen soms toch weer jonge kleine cellen ontstaan, die dan weer gaan delen. Zo kan een plant uit een klein deel volgroeid weefsel gemakkelijk weer nieuwe organen regenereren. Voorbeeld: weefselcultuur, waarbij uit een uiterst kleine weefselstukjes weer een complete plant groeit.

Ook door verwonding kan de celdeling opnieuw worden ingezet. Een voorbeeld is de vorming van scheuten op bladstek bij Begonia's en wortelvorming bij stek en dergelijke. Lang niet altijd is regeneratie van planten uit plantendelen zo gemakkelijk.

Verschillende groeipunten aan eenzelfde plant kunnen soms ver van elkaar verwijderd zijn. Bij een tomatenplant bijvoorbeeld meer dan 2 meter. De omstandigheden bij het wortelgroeipunt en in de top van de stengel zullen dan verschillend zijn. Daardoor kan ook de groei van afzonderlijke groeipunten aan dezelfde plant in een ongelijk tempo verlopen.

## 2.5.2. Invloed van de groeiomstandigheden

Het proces van deling en strekking kan door de uitwendige omstandigheden vrij sterk worden beïnvloed. Bij het telen van planten wordt op de groeiomstandigheden ingegrepen en zodoende worden de deling en de celgroei beïnvloed. In de praktijk van het telen wordt vooral gewerkt met temperatuur, licht,  $CO_2$  en water.

### Invloed van de temperatuur

De temperatuur is vooral van invloed op de snelheid van de processen (figuur 5). Een hoge temperatuur stimuleert namelijk de ademhaling. Door de ademhaling wordt de chemische energie geleverd voor de omzetting van suiker tot meer ingewikkelde organische stoffen die nodig zijn voor de opbouw van nieuwe celonderdelen. Dit is een zeer ingewikkeld en uitgebreid chemisch proces, waarvoor veel chemische energie en dus een snelle ademhaling nodig is. Bij hoge temperatuur kunnen daardoor sneller nieuwe cellen worden afgesplitst. Dit betekent dat bijvoorbeeld sneller nieuwe bladeren worden gevormd. Onderstaande proefresultaten tonen aan dat de temperatuur versnellend werkt. Bij komkommers werd nagegaan hoe snel blad werd gevormd als het groeipunt (luchttemperatuur) bij verschillende temperaturen groeide:

Gemiddelde dagtemperatuur ( $^{\circ}C$ ): 16.4, 18.6, 21.1.

Aantal bladeren gevormd per dag: 0.45, 0.56, 0.63.

Door een temperatuurstijging van  $1^{\circ}C$  nam de snelheid toe met circa 8%.

### Invloed van het licht

De invloed van het licht is van overwegend belang voor de groei. Het licht veroorzaakt de produktie van primaire bouwstoffen. Dit zijn de suikers die veel chemische energie bevatten. Al in de eer-

ste fase vraagt de deling van cellen grondstoffen voor de verdubbeling van de celonderdelen (figuur 5). De vraag naar bouwstoffen bestaat ook nog in de eerste fase van de celgroei, maar wordt minder in de strekkingsfase.

Dat de eerste stadia van de celvermeerdering veel grondstoffen vragen, is duidelijk te maken aan de hand van de hoeveelheid suikers die wordt aangetrokken door tomatenvruchten van verschillende leeftijd. Men bepaalde de suikeraanvoer naar elke vrucht gedurende 48 uur:

---

Omvang van de vrucht	Suikeraanvoer
20% volgroeid	5.9 mg
30% volgroeid	5.3 mg
50% volgroeid	3.4 mg
90% volgroeid	3.1 mg

---

De vrucht die 30% van zijn uiteindelijke volume had, begon aan de strekkingsfase en was 1.5 maal zo zwaar als de kleinste, maar vroeg al minder suiker. De grootste vrucht was 4.5 maal zo groot en vroeg slechts ruim de helft van de suiker. Per gram vruchtgewicht vroeg de kleinste vrucht ruim achtmaal zoveel suiker.

#### Invloed van koolzuurgas

Licht en koolzuurgas werken in dezelfde richting en ze kunnen elkaars werking versterken. Ze zijn allebei nodig voor de suikerproductie in het fotosyntheseprocess.

Als geen CO<sub>2</sub> wordt toegediend als teeltmaatregel is er meestal toch wel een redelijke groei, omdat buitenlucht van nature ruim 0.03% koolzuurgas bevat. Door toediening van CO<sub>2</sub> hoger dan de buitenluchtwaarde zal de groei worden verbeterd. Soms worden opbrengstverhogingen gevonden van 25% of zelfs nog meer, ten opzichte van onbehandeld. De vraag kan echter worden gesteld of in onbehandelde kassen de natuurlijke CO<sub>2</sub>-concentratie wel wordt gehaald. We bouwen namelijk steeds dichtere kassen zodat de uitwisseling met de buitenlucht moeilijker wordt. Als de CO<sub>2</sub>-concentratie tot tweederde wegzakt (tot 0.02%) door opname in de planten en te weinig aanvoer, dan kost dat zeer veel produktie.

De produktieverlaging bij 0.02% CO<sub>2</sub> ten opzichte van 0.03% is ongeveer gelijk aan de opbrengstverhoging door een drievoudige concentratieverhoging (0.03 tot 0.09%).

#### Invloed van het water

Uit figuur 5 blijkt dat de waterhuishouding van de plant vooral van invloed is op de celstrekking. De kleine cel wordt namelijk opgepompt door de druk van opgenomen water. De wanden van de jonge cel zijn rekbaar. Als een cel vrijelijk water kan opnemen, dan rekt de wand uit en wordt de cel groter. Onderwijl wordt de wand mee uitgebouwd en na enkele weken hebben de cellen hun uiteindelijke omvang bereikt. Als de planten doorlopend droog worden gehouden of

als het water te zout is, dan blijft de waterdruk in de cel beperkt en worden de cellen niet groot genoeg.

Vanaf de eerste dag na opkomst van het zaad, treedt al celstrekking op. Het gaat gepaard met "verduunning" van de organische stof: de waterinhoud van de plant neemt sneller toe dan de aanmaak van droge stof. Dit blijkt uit de volgende proefresultaten:

Tomatenplanten werden direct na de opkomst op 5 november gewogen en 24 uur later nog eens:

	Versgewicht	Drooggewicht	% droge stof
Opkomst	4.9 mg	1.12 mg	22.9
24 uur later	14.2 mg	1.28 mg	9.0
Verschil %	+ 190	+ 14	- 61

In 24 uur was het plantje driemaal zo zwaar geworden. Dat komt doordat de zaadlobben zeer snel groter worden door strekking van de cellen. Daardoor vangen de plantjes ook driemaal zoveel licht op voor de suikerproduktie.

Het drooggewicht nam toe met slechts 14% als gevolg van de suikerproduktie door de fotosynthese. Natuurlijk daalde het droge-stofgehalte zeer sterk, wat duidelijk de verduunning aantoont. Dit alles demonstreert ook dat de planten vanaf de eerste dag op de groeiomstandigheden reageren.

### 3. LEVENSPROCESSSEN IN DE PLANT

In het vorige hoofdstuk is de groei van de plant behandeld vanuit het gezichtspunt van de (chemische) energie en de vastlegging daarvan in de droge stof. Daarna werd beschreven hoe de droge stof wordt verdund met water. Tot slot kwam aan de orde hoe de plant groeit door celdeling en hoe de groeiomstandigheden daarop inwerken. Hiermee is eigenlijk de gehele plantenteelt uit de doeken gedaan, al was het zeer globaal.

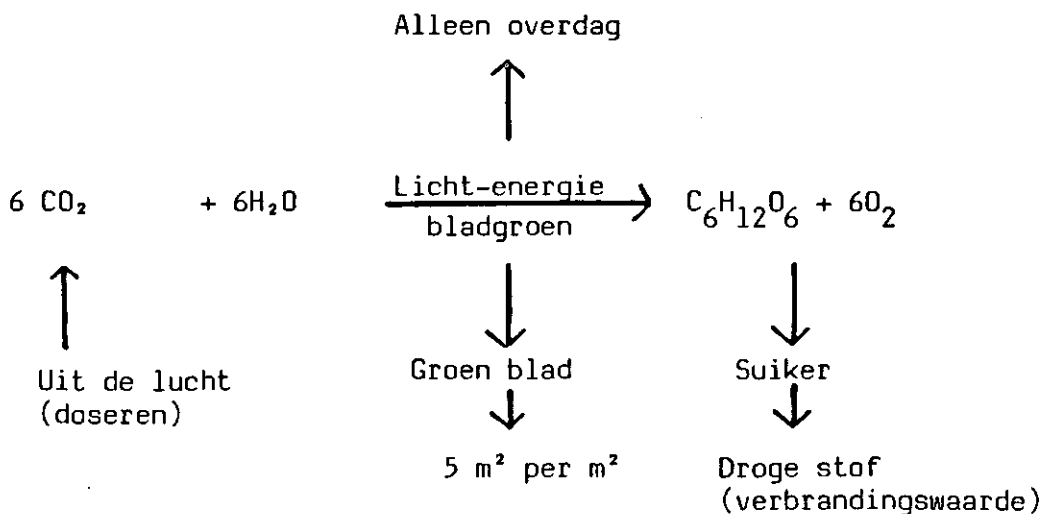
We gaan nu opnieuw de gehele plantengroei bekijken maar nu vanuit de levensprocessen in de plant. Het is de tweede ronde van de drie waaruit dit verhaal bestaat. Achtereenvolgens wordt behandeld over: fotosynthese en ademhaling, groei en ontwikkeling, verdamping en wateropname, planttemperatuur, worteldruk, zoutopname en wortelactiviteit.

#### 3.1. Fotosynthese en ademhaling

Fotosynthese en ademhaling worden bijeen genomen omdat ze beide bij de energiehuishouding zijn betrokken en daarbij min of meer elkaars spiegelbeeld zijn. De fotosynthese legt de lichtenergie vast als chemische energie in de suikers en door de ademhaling kan deze energie later overal in de plant worden vrijgemaakt en gebruikt. Daarom moet ook worden gesproken over opslag en vervoer. Het overschot aan suikers kan worden bestemd voor de groei.

##### 3.1.1. Fotosynthese

Een korte definitie van fotosynthese kan zijn: vastlegging van lichtenergie in droge stof. Het is echter een zeer ingewikkeld chemisch proces waarvan we alleen de basisvergelijking geven in figuur 6 waarin de belangrijkste punten inzake de fotosynthese zijn aangegeven.



Figuur 6. Enkele punten die bij fotosynthese van belang zijn. Weinig fotosynthese in dikke of gele plantendelen. Geen fotosynthese in de wortels of niet-groene plantendelen (bloemen).

Koolzuurgas is de belangrijkste voedingsstof voor de plant. De  $\text{CO}_2$ -moleculen worden in de bladgroenkorrels in de cel samen met water vastgelegd tot suiker. In de lucht is maar 0.03%  $\text{CO}_2$  aanwezig. Er zijn dan ook in het bladoppervlak ontelbare poriën aanwezig om de  $\text{CO}_2$  bij alle cellen te krijgen; we noemen ze huidmondjes. Voor maximale groei is de natuurlijke concentratie van 0.03% niet voldoende. Als het economisch verantwoord is kan koolzuurgas worden toegediend.

In de formule staat ook water, maar onder normale groeiomstandigheden is er in de cellen altijd water genoeg voor maximale fotosynthese.

De lichtenergie wordt door de plant in het bladgroen opgevangen en gebruikt voor de vorming van suikers. Hoe meer energie er wordt opgevangen, hoe meer suiker, zij het dat het rendement van het licht afneemt naarmate de intensiteit hoger wordt. 's Nachts vindt er uiteraard geen fotosynthese plaats en er is dan ook geen  $\text{CO}_2$  nodig. Het bladgroen komt voor in alle groene delen (blad, vruchten). Als er te weinig bladgroen aanwezig is, beperkt dat de vorming van droge stof, doordat het licht niet wordt onderschept. Wanneer een gewas  $5 \text{ m}^2$  blad heeft per  $1 \text{ m}^2$  grondoppervlak dan kan het licht optimaal worden opgevangen. Het blad moet dan wel groen zijn. Gebreksverschijnselen die geel blad veroorzaken, remmen de fotosynthese doordat geen bladgroen beschikbaar is. Geelbonte bladplanten fotosynthetiseren alleen in het groene deel. Dikke plantendelen dragen ook naar verhouding weinig bij tot de fotosynthese; denk aan stengels. Een komkommervrucht van 500 g heeft evenveel bladgroen als een blad van 50 g. In rode planten (rode kool, croton) overheerst een rode kleurstof maar er zit wel voldoende bladgroen in. Wortels fotosynthetiseren niet, maar zij kunnen wel bladgroen vormen als zij in het licht komen.

In de suikers is de lichtenergie opgeslagen, om te worden gebruikt voor de ademhaling, dan komt de energie weer vrij. De rest van de suikers wordt verwerkt tot organische droge stof. Dat daarin nog steeds energie aanwezig is (hout en stro bijvoorbeeld) blijkt als we het in brand steken, de energie komt dan weer vrij.

### 3.1.2. Ademhaling

Bij de ademhaling verloopt de reactie uit figuur 6 in tegengestelde richting. Onder opname van zuurstof wordt suiker geoxydeerd tot  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$  waarbij de energie weer vrijkomt. Deze energie is nodig voor alle levensverrichtingen in de plant. De plant leeft de gehele dag en in al zijn delen. Dus de ademhaling vindt ook plaats in alle cellen en de hele dag lang. Dat is dus duidelijk verschillend ten opzichte van de fotosynthese. De fotosynthese moet per tijdseenheid sneller verlopen dan de ademhaling want de plant produceert alleen suikers als het licht is. Maar ook per gram blad moet de fotosynthese veel hoger zijn dan de ademhaling in dit blad, want het blad moet zorgen voor de suikers voor de gehele plant. Dus:

- fotosynthese: alleen overdag, alleen in het blad
- ademhaling : dag en nacht, in alle weefsels.

Voor de ademhaling is zuurstof nodig. Dit houdt in dat in elke cel zuurstof ter beschikking moet staan. In ons lichaam wordt in de

longen de zuurstof op het bloed overgedragen. Het bloed vervoert dan de zuurstof naar alle cellen. De plant heeft geen bloedsomloop en dus moet de zuurstof uit de lucht in alle weefsels kunnen doordringen. Plantenweefsels zijn dan ook niet zo erg compact opgebouwd zodat er ruimte blijft voor zuurstofuitwisseling. Zuurstofgebrek zal dan ook zelden optreden, mede doordat de lucht zoveel zuurstof (20%) bevat. In de grond kan zuurstoftekort ontstaan als door verslumping van de bovenlaag de luchtaanvoer stagneert. Het zuurstofgehalte gaat dan dalen, de ademhaling wordt geremd en de wortels kunnen niet normaal functioneren.

### 3.1.3. Fotosynthese - ademhaling = groei

Onder normale omstandigheden zal men er bij de teelt van planten voor zorgen, dat doorgaande groei mogelijk is. Dat wil zeggen dat de plant meer suiker produceert dan voor de ademhaling nodig is. Er zal alleen overdag een overschot zijn. Dit wil echter niet zeggen dat dit direct moet worden verwerkt. De plant moet de suikers nog vervoeren naar de groeipunten en er vindt ook tijdelijke opslag plaats. Wel is het meestal zo dat de plant overdag droge stof maakt (suikers) en 's nachts veel water inbouwt, zoals uit bijgaande proefgegevens van jonge tomaten blijkt:

	% gewichtstoename in 24 uur	
	Vers	Droog
Dag	8	32
Nacht	29	3

Dat er nog enige droge-stofproductie is in de nacht werd veroorzaakt doordat niet precies bij het donker worden werd gemeten. Hoe meer licht er is (zomer) hoe groter het overschot aan suikers. In het gunstigste geval kan 85% van de suikers aan groei worden besteed. Bij minder licht is het overschot kleiner, wel neemt ook de ademhaling af. Op een zeer donkere winterdag met mist kan het zelfs zo zijn dat de plant meer verademt dan door de fotosynthese wordt geleverd.

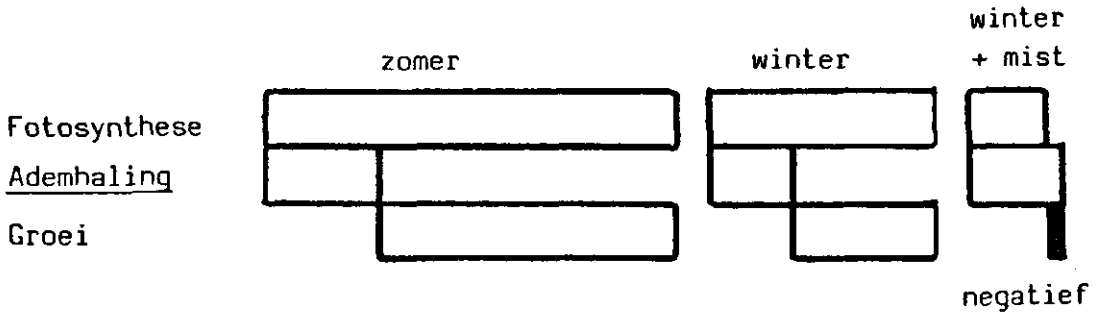
De overschotten zijn uitgedrukt op basis van de totale fotosynthese - ademhaling voor de gehele dag. Gedurende de nacht is er geen produktie maar wel verbruik van suiker voor de ademhaling en dus afname van de hoeveelheid droge stof. Als 's morgens het licht komt, is het eerste deel van de fotosynthese nodig om de ademhaling te compenseren. Pas bij toenemend licht wordt het compensatiepunt naar verdere groei overschreden en wordt de produktie hoger dan het verbruik. Gedurende de dag is de ademhaling ook beduidend hoger dan wanneer het donker is.

In figuur 7 wordt schematisch weergegeven hoe de verhoudingen op dagbasis kunnen liggen. Uit deze opstelling is te zien dat de groeimogelijkheden in de zomer veel groter zijn dan in de winter. Dit komt door de combinatie van hogere lichtintensiteiten en langere dagen.

Samen heeft dit tot resultaat dat er 's zomers ongeveer tienmaal zoveel licht is als 's winters. Door dat het lichtrendement afneemt



met toenemende intensiteit, is de groeitoename echter veel kleiner.



Figuur 7. Fotosynthese - ademhaling = groei. 's Zomers driemaal zoveel groei als 's winters. Als het erg donker is, kan de uitkomst negatief zijn.

Dat komt ook doordat de planten in de winter extra goed groeien doordat ze meer bladoppervlak maken uit dezelfde hoeveelheid droge stof (dunner blad). Uiteindelijk verloopt de groei in de zomer maar driemaal zo snel als in de winter.

#### 3.1.4. Transport en opslag

Fotosynthese vindt alleen in het groene blad plaats, maar alle delen hebben suiker nodig voor de ademhaling. Transport van suikers is daarom noodzaak. Tot in de uiterste punten van de plant moet suiker worden vervoerd.

Van cel tot cel kunnen suikers worden doorgegeven via de poriën in de celwand (figuur 4) waardoor alle protoplasten met elkaar in verbinding staan. Voor de grotere afstanden uit het blad tot naar de wortel is een vatenstelsel aanwezig (zeefvaten). Het zijn in de lengterichting op elkaar volgende cellen waarvan de dwarse tussenschotten zijn doorboord om het vervoer te vergemakkelijken. Dit vatenstelsel is zeer uitgebreid en loopt door de hele plant heen.

Fotosynthese vindt alleen overdag plaats maar voor de ademhaling is 24 uur lang suiker nodig. Opslag van suiker is daarom nodig. Het kan op korte termijn gebeuren door de suiker tijdelijk onoplosbaar te maken als zetmeel. Dit kan door de werking van enzymen in de plant weer snel ter beschikking komen.

Soms slaat de plant reserves op voor veel langere perioden, bijvoorbeeld in zaad, knollen, bollen enzovoort. Het kruidachtige plantendeel kan dan helemaal afsterven. Bij het forceren van bijvoorbeeld bollen wordt door middel van een hoge temperatuur de plant geprikkeld tot uitlopen. Onder zeer weinig licht kan dan vrij veel vers plantmateriaal worden gevormd, doordat de reserve uit de bol wordt aangesproken. Houtachtige gewassen kunnen vrij grote reserves opslaan in het hout (trekheesters).

#### 3.2. Groei en ontwikkeling

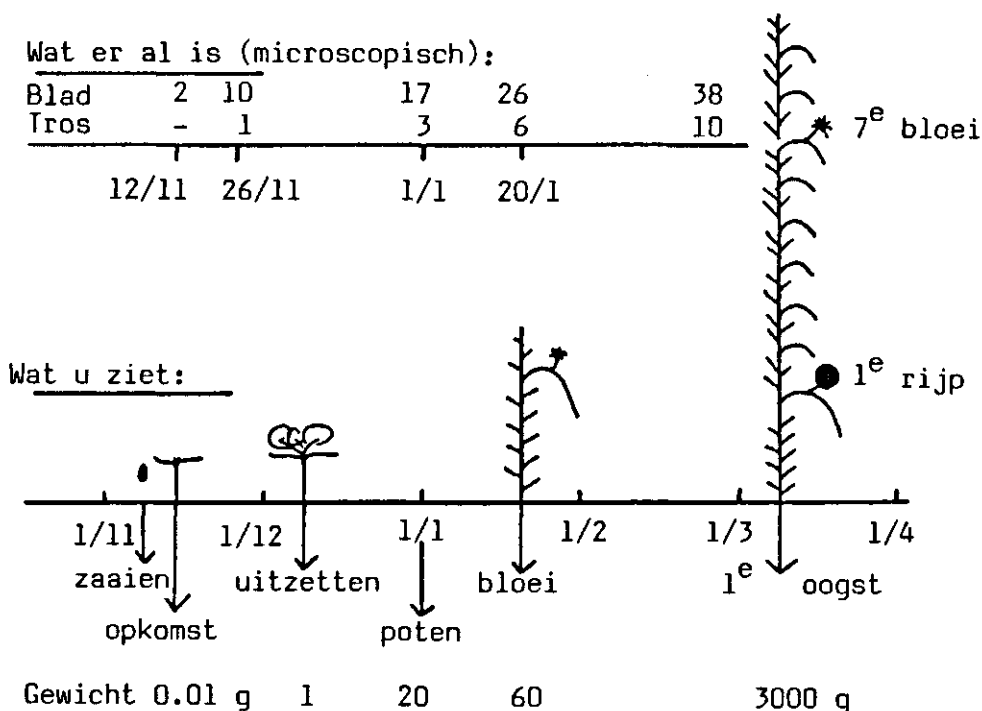
Bij de bespreking van fotosynthese en ademhaling kwam al ter sprake dat er groei zal zijn als de hoeveelheid geproduceerde suikers gro-

ter is dan voor de ademhaling nodig is. We gaan nu verder in op het proces van de groei. Daarbij komt aan de orde waar de droge stof in de plant terecht komt en met welke snelheden dat kan gebeuren. Buiten beschouwing moet blijven hoe al deze processen in de plant worden gestuurd. Dit verhaal zou veel te omvangrijk worden als ook werd beschreven hoe vanuit de erfelijke informatie in de cel via enzymen en hormonen de plantengroei tot stand komt. De uitwendige omstandigheden hebben veel invloed op de groei, maar hieraan zal vooral in de derde ronde aandacht worden gegeven.

### 3.2.1. Groei

We verstaan onder "groei" dat de plant groter wordt. Hij wordt natuurlijk ook ouder, maar daarop valt hier niet de nadruk. De plant kan groter worden doordat een nieuw orgaan (bijvoorbeeld blad) wordt aangelegd. Dit begint met een paar cellen. Door deling eerst en strekking daarna komt het hele blad tot ontplooiing. Het zijn dus twee facetten: meer bladeren en groeiende bladeren. Daardoor gaat de plant zwaarder wegen.

Als de plant de bladscheden opvult met reservevoedsel (bol) dan is dat ook groei. Het duidelijkst aantoonbare aspect van groei is de gewichtstoename.



Figuur 8. Groei en ontwikkeling bij tomaat van zaad tot zaad. Er is veel meer aangelegd dan met het blote oog zichtbaar is.

In figuur 8 is aangegeven hoe het gewicht van een tomatenplant toeneemt. De toename in gewicht is in de eerste helft van deze groeiperiode veel kleiner (nog geen 60 g) dan in de tweede helft waarin de plant groeit van 60 tot 3.000 g. Dit wordt vooral veroorzaakt door de vruchten (2.000 g).

### 3.2.2. Ontwikkeling

Bij de vorming van steeds nieuwe organen, doet zich meestal een ander aspect voor namelijk de overgang van de vegetatieve naar de generatieve groeifase. Zo zal een tomatenplant na circa 10 bladeren een tros aanleggen (figuur 8). Het doorlopen van opeenvolgende fasen noemen we ontwikkeling. In de natuur maken bijna alle planten een groeicyclus door die uit meerdere fasen bestaat: zaad - kieming - jeugdfase - bloemaanleg - bloei - vruchtzetting - zaad - enzovoort.

De cyclus wordt door de plant afgewerkt, doordat de erfelijke informatie door de heersende omstandigheden zodanig wordt geactiveerd dat de groeipunten steeds andere organen gaan vormen.

Alle cellen beginnen als delende cellen maar krijgen vervolgens een eigen functie en een eigen vorm tijdens het uitgroeien. De celgroepen vormen op de juiste tijd en plaats wortels en bladeren. Men noemt dat differentiatie. Er kunnen zeer uiteenlopende elementen uit de groeipunten worden gevormd. Een plant is een zeer ingewikkeld bouwwerk.

In figuur 8 is behalve de groei ook de ontwikkeling af te lezen. Van 7 november tot 20 maart doorloopt de tomatenplant de hele cyclus van zaad tot zaad. Vanaf 26 november kan door regeling van de groeiomstandigheden invloed worden uitgeoefend op de groei van de eerste vrucht. Er kan dan ook wel iets aan worden bijgestuurd. Het is goed erop te letten dat altijd veel meer in de plant aanwezig is dan we kunnen zien. Op 20 januari bloeit de eerste tros, maar de vijfde is al aangelegd. Op 20 maart is de plant al vijf trossen verder dan de bloei.

### 3.2.3. Stofverdeling

De droge stof kan in allerlei plantendelen terecht komen. Telen betekent dat de droge stof zo veel mogelijk daarheen wordt gedirigeerd waar het economisch het voordeligst is. Dat kan zijn in de wortel (peen), stengel (asperge), blad (sla), bloem (snijbloemen) of vrucht (tomaat enzovoort).

#### Invloed van de groeiomstandigheden

We komen op de invloed van de groeiomstandigheden nog uitgebreid terug in de laatste ronde van deze publikatie. In verband met de stofverdeling willen we toch al enkele dingen noemen. De ontwikkeling van de plant is van grote invloed op de stofverdeling. Als we bijvoorbeeld door daglengteverkortung de chrysaat tot bloemaanleg dwingen, krijgt de droge stof die door het hoofdgroeipunt wordt aangetrokken ineens een heel andere bestemming. In plaats van een strekkende stengel met bladeren wordt een bloemhoofdje gevormd met zeer veel nieuwe organen in een zeer korte tijd en zeer dicht op elkaar; dat kost veel energie.

Het kan ook gebeuren dat een plant in moeilijkheden komt bij de verdeling van de droge stof, gewoon omdat er niet genoeg te verdelen valt, bijvoorbeeld als er te weinig licht is. Bij tomaat zien we dan dat de bloemuitgroei stopt. De trossen worden wel aangelegd

maar groeien niet uit. Als een bloeiende tomatenplant tot vruchtzetting wordt gedwongen als er weinig licht is, krijgt de tros juist wel voorrang, maar dat gaat ten koste van de groei, vooral in de wortels. Dergelijke dingen kunnen een grote invloed hebben op het teeltverloop. Een ander belangrijk punt bij de stofverdeling is kunstmatige groeiremming. Als we bijvoorbeeld een paprikaplant in een kleine pot zetten zal hij veel gemakkelijker droge stof naar bloem en vrucht sturen dan wanneer de wortels onbelemmerd kunnen groeien. Als we te weinig stikstof geven wordt eerst de bovengrondse vegetatieve groei geremd. De plant krijgt relatief veel wortels. Als we te weinig licht hebben gebeurt juist het omgekeerde, dan wordt eerst de wortelgroei geremd.

In het bovenstaande bespraken we een aantal effecten aan intacte planten. Er zouden er nog wel meer te noemen zijn.

### Invloed van het aantal groeipunten

We kunnen door ingrepen in het plantenlichaam het aantal groeipunten en de plaats daarvan veranderen. We beïnvloeden bijvoorbeeld de stofverdeling door toppen, zijscheuten wegnemen en dergelijke. Als we toppen beginnen de zijscheuten uit te lopen. Zolang de top aanwezig is remt die door hormonen in zekere mate het uitlopen van de zijknoppen. Door toppen krijgen we dus meer actieve groeipunten en op een andere plaats. We doen het ook wel eens juist andersom, dan worden de zijscheuten zodra ze uitlopen weggenomen en blijft alleen de hoofdstengel groeien (tomaat). We moeten dan wel zorgen voor voldoende planten per m<sup>2</sup> anders zouden er te weinig groeipunten kunnen zijn om de gevormde suiker te verwerken. In een proef werden tomatenplanten wel of niet "gedieft". Toen bij de plant met alleen de hoofdstengel 54 bloemknoppen waren aangelegd, had de plant met zijscheuten al 367 bloemknoppen. Bij veel planten is onder bepaalde omstandigheden de bladgroei vrij sterk, maar de vruchtgroei valt tegen. Het valt dan niet gemakkelijk de stofverdeling in de richting van de vruchten te verschuiven. Het is wel mogelijk de bladgroei te beperken zonder dat dit ten koste gaat van de opbrengst. In een tomatenproef kon tweederde van het blad worden verwijderd, waarbij de vruchtopbrengst maar 10% werd verlaagd. In dergelijke gevallen dient aanpassing van de plantdichtheid te worden overwogen.

### 3.2.4. Snelheid van de gewichtsgroei

Door allerlei oorzaken kunnen er zeer grote verschillen in groeisnelheid optreden. Als de grond volledig bedekt is met blad, kan er in een kas onder gunstige omstandigheden 30 g droge stof of wel circa 300 g vers plantmateriaal per m<sup>2</sup> per dag groeien. Dit kan gedurende meer dan 100 dagen van het jaar. 's Zomers kan er zo 2 kg per m<sup>2</sup> per week worden geproduceerd. De snelheid is vooral afhankelijk van de lichtonderschepping, het gewas moet de hele oppervlakte bedekken. Meestal is het gewas niet volledig dicht. Als we afzonderlijke planten willen produceren, bijvoorbeeld potplanten of groentenplanten, dan is er veel te weinig blad voor maximale groei per m<sup>2</sup>. We rekenen de groei dan uit per plant. Onder gunstige omstandigheden kunnen sommige planten maximaal 50% per dag groeien.

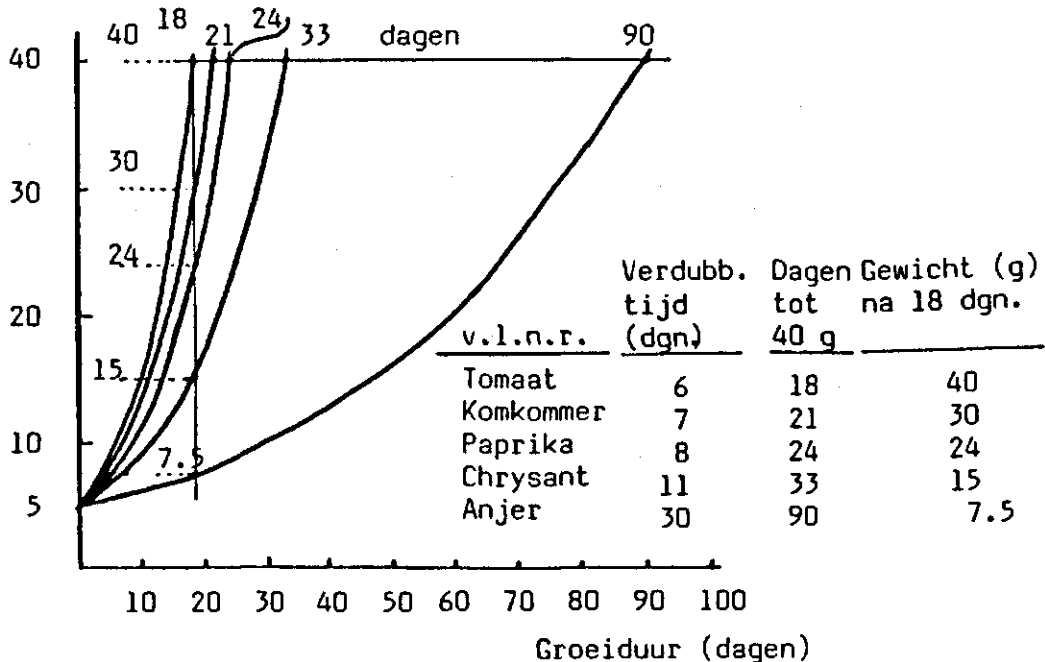
### Verdubbelingstijd

Een plant die 50% per dag groeit is na 1.7 dagen in gewicht verdubbeld. 's Winters gaat dat veel langzamer namelijk circa 10% per dag. Het plantgewicht is dan verdubbeld na 1 week. We noemen dat de verdubbelingstijd: aantal dagen nodig voor gewichtsverdubbeling. Het is dus een heel andere maat dan hierboven (g per m<sup>2</sup>). We kunnen ook niet werken met gram per plant, want dat is elke week anders. We geven een voorbeeld met een constante verdubbelingstijd van 1 week, uitgaande van 1 g plantgewicht:

Toestand na	1	2	3	4	5	6	weken
Gewicht per plant	2	4	8	16	32	64	gram
Groei per plant per week	1	2	4	8	16	32	gram

Het gewicht dat een plant op een datum in de nabije toekomst (bijvoorbeeld uitplanten), zal hebben is met de verdubbelingstijd goed te voorspellen. De verdubbelingstijd kan constant blijven tot circa 100 g per plant is bereikt.

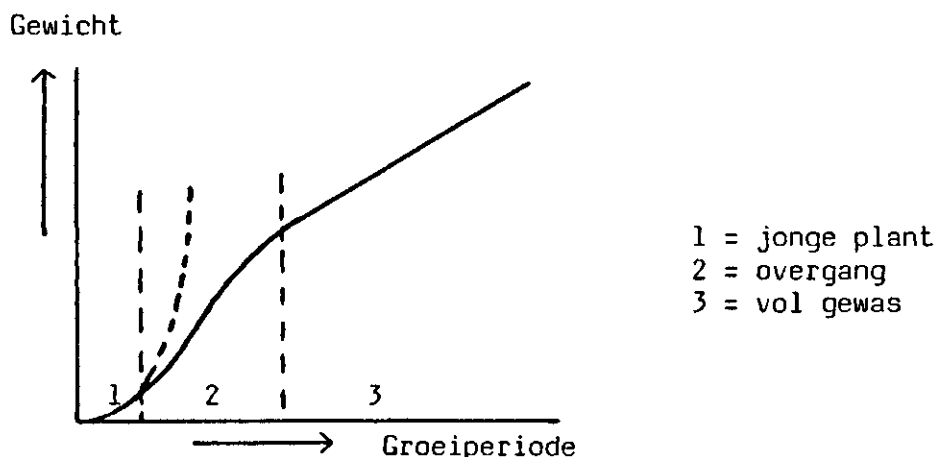
g per plant



Figuur 9. Groeisnelheid (verdubbelingstijd) in de winter van jonge planten van enkele kasgewassen.

In figuur 9 geven we een overzicht van de groeisnelheid van jonge planten van enkele kasgewassen in de winter. Voor drie verdubbe-

lingen (5 → 10 → 20 → 40 g) heeft de tomaat nodig 18 dagen en de anjer circa 120 dagen, bij verdubbelingstijden van respectievelijk 6 en 40 dagen. Een anjer is dus ontzettend traag. Als we na 18 dagen de planten wegen is de tomaat 40 g en de anjer pas 6.8 g. In figuur 10 wordt aangegeven hoe de groei van jonge plant tot een vol gewas verloopt.



Figuur 10. Het gewichtsverloop per plant. In de eerste fase (tot circa 1 m<sup>2</sup> blad per m<sup>2</sup>) is de groei nog "rente op rente", doordat de planten elkaar niet beschaduen. In de tweede fase wordt de groei vertraagd en in de derde fase is er zoveel blad aanwezig (meer dan 3 m<sup>2</sup> per m<sup>2</sup>) dat de groei per m<sup>2</sup> constant wordt.

Een jong plantje groeit door het licht wat op het blad wordt opgevangen. Daardoor wordt het blad groter en vangt weer meer licht. De groei is dan rente op rente, zoals in het voorbeeld van 50% per dag in de tabel. Dat betekent een verdubbelingstijd van minder dan 2 dagen (figuur 10, fase 1). Een plantje kan dat niet volhouden. Bij grotere planten gaat de groeisnelheid afnemen (fase 2). Dat komt door het afnemende bladpercentage. We geven een voorbeeld van tomaat in de zomer:

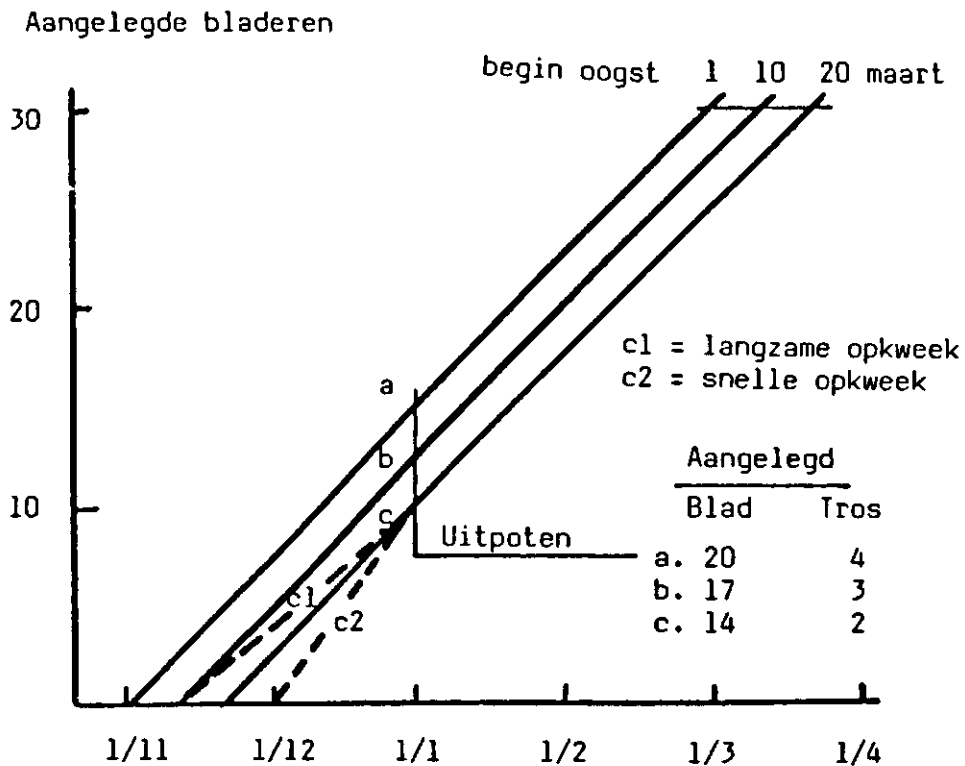
	Gew. per plant	Verdubb. tijd	g/plant per dag	% blad
Opkomst	0.02 g			90
18 <sup>e</sup> dag	20 g	ca. 2.4 d	ca. 1 g	50
36 <sup>e</sup> dag	300 g	ca. 4.6 d	ca. 16 g	39

De verdubbelingstijd werd onder overigens gelijke omstandigheden in de tweede periode van 18 dagen dubbel zo lang. De groei verliep dus half zo snel. Dat hangt duidelijk samen met het bladpercentage dat daalt van 90 naar 40. De overige 60% van het plantenlichaam produ-

ceert niets, maar consumeert wel voor de ademhaling, dus blijft er steeds minder over voor groei. Daar komt nog bij dat bladeren aan grote planten elkaar gaan beschaduen. Uiteindelijk gaan ook de planten onderling elkaar beschaduen, zoals bijvoorbeeld in een gewas tomaten. De groei is dan niet meer afhankelijk van het bladoppervlak. Er is namelijk zoveel blad per m<sup>2</sup> grond aanwezig dat alle zonlicht al wordt opgevangen (fase 3). De groei is dan constant er groeit evenveel bij als er aan vruchten en blad wordt geplukt. Dat komt voor tomaten neer op 6 kg per m<sup>2</sup> per maand.

### 3.2.5. Snelheid van het groeipunt

In figuur 8 blijkt dat de bladaanlegssnelheid vrij regelmatig verloopt. Het versgewicht neemt steeds sneller toe als we in g per week rekenen en steeds langzamer als we de verdubbelingstijd als maat nemen. De bladafplitsing is bij tomaat constant ongeveer drie bladeren per week en omdat na elk derde blad een tros volgt, ontstaat er 1 tros per week. Hier kunnen we dus de normale manier van snelheid meten toepassen. Omdat de aanlegssnelheid vrij constant is kunnen we de vroegheid van een tomatengewas bepalen door het bloeistadium waarin wordt uitgeplant. Een grote plant heeft een tros meer, bloeit eerder en geeft eerder de eerste rijpe vrucht. De voorsprong van 1 tros is ongeveer 1 week. Figuur 11 brengt dat in beeld.



Figuur 11. Plantmateriaal en opbrengst. De ontwikkelingssnelheid is vrij constant: vroegheid in januari bestaat nog in april. Voor tomaat: plantgrootte bij uitplanten bepaalt de vroegheid. Hoe wordt opgekweekt, maakt weinig uit.

In een proef werden gelijke planten (tomaat) verkregen met een leeftijdsverschil van 1 maand bij het uitplanten (52 tot 83 dagen). Na het uitplanten werden geen verschillen meer gevonden. Een tijdelijke groeiremming behoeft dus later niets te betekenen. Remming veroorzaakt verschuiving in de tijd, maar heeft meestal geen uitwerking op de latere snelheden.

Een groeipunt wordt ook niet trager aan een oude plant. In een proef werd de snelheid bij tomaat gemeten van tros 23 - 27 en gelijktijdig in een jonge plant tros 3 - 7. De snelheid was nagenoeg gelijk. Het leeftijdsverschil was een half jaar, het lengteverschil 520 cm.

### 3.2.6. Groeiremming

Het zal in een teelt maar zelden voorkomen dat de groei onbelemmerd kan verlopen. Groeiremming is nooit te voorkomen, want het is altijd wel eens te koud of te warm, te nat of te droog. We weten niet eens wat de maximale produktiemogelijkheden zijn. We brengen dikwijls opzettelijk groeibeperkingen aan.

#### Plantkwaliteit

Als een plant snel groeit zal hij dikwijls welig zijn, zeker als er ook nog niet al te veel licht is. De snelst mogelijke groei zal meestal een te gevoelig gewas opleveren. Bij de teelt van postelein zal remming niet nodig zijn, maar bij de teelt van potplanten zou de huiskamerkwaliteit waarschijnlijk slecht zijn als voordien onbeperkte groei werd toegelaten. We nemen dus dikwijls gas terug om een veiliger gewas te krijgen. Bij groeiremming lopen gewichtsgroei en groeipuntsnelheid meestal in gelijke mate terug. We passen remming ook toe bij "afharden". De plant zal minder welig worden = droger. Dat levert kleiner blad op en minder lichtonderschepping, dus tragere groei. Zo komen er bij het telen heel wat opzettelijke groeibeperkingen voor.

#### Teeltbeperkingen

In de teelten passen we een groot aantal soms zeer ingrijpende groeiremmingen toe, bijvoorbeeld: stekken en verspenen. De groei wordt dan bijna stil gezet. Bij het uitplanten treedt ook haast altijd remming op. De groei wordt geremd als de top wordt weggenomen of de zijscheuten. Te kleine potten remmen de groei en de planten belemmeren elkaar als ze zo dicht staan dat ze elkaar het licht betwisten.

Er treden ook veel remmingen op die we niet kunnen achterhalen. Zo blijkt bijvoorbeeld een bestand jonge planten, dat zeer nauwkeurig op uniformiteit is gesorteerd, na verloop van tijd toch weer ongelijk te zijn. Een plantgrootteverschil bij aflevering van jonge planten van 1 : 2.5 is heel normaal. De planten verschillen dus ruim een verdubbelingsperiode van de grootste tot de kleinste. Een plant die langzamer is gegroeid, is echter niet slechter of een snellere niet beter van kwaliteit. Het maakt dan ook niet uit of sneller of langzamer wordt opgekweekt (figuur 11). Als planten even



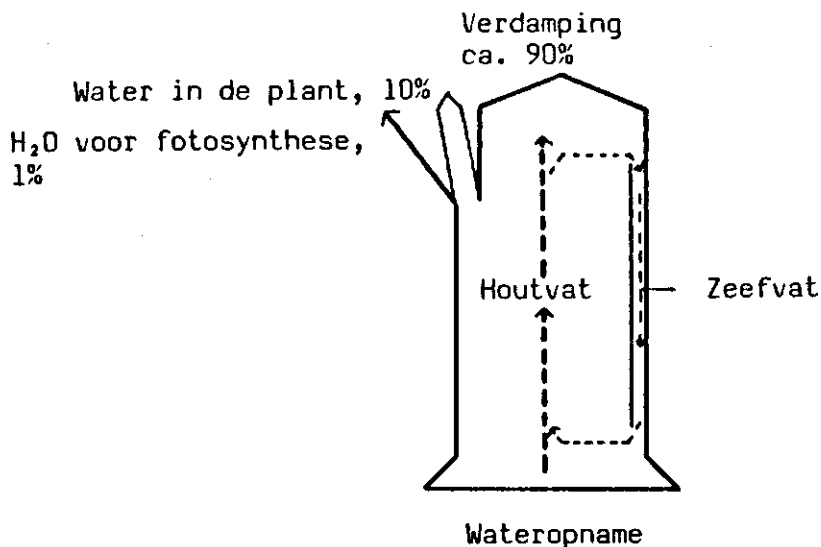
groot zijn en gelijk worden behandeld groeien ze gelijk op.

### 3.3. Verdamping en wateropname

In de twee voorgaande delen van dit hoofdstuk werd gesproken over produktie en verwerking van droge stof. De droge stof wordt geproduceerd door de fotosynthese en met behulp van ademhalingsenergie worden de suikers verwerkt voor de groei. Dit alles gebeurt in cellen die voor 90% uit water bestaan. De plant neemt echter nog veel meer water op dan in de verse massa aanwezig is. Dit water verdwijnt door verdamping direct weer uit de plant.

#### 3.3.1. Verdamping

Reeds in het tweede hoofdstuk (zie 2.2.3.) is aangegeven dat een plant veel water opneemt maar hiervan circa 90% weer verdampt (figuur 12). Er worden dus grote hoeveelheden water door de wortels opgenomen. Hoe komt het dat de wortels water opnemen? De plant neemt water op omdat er water verdwijnt in de lucht. De gangmaker voor de opname is de verdamping. Als de verdamping stopt,



Figuur 12. De waterstroom door de plant. Bijna al het opgenomen water verdampst in het blad, circa 10% blijft achter in de plant. Ongeveer 1% wordt chemisch gebonden bij de fotosynthese. Een deel van het water wordt gebruikt om via de zeefvaten suikers in benedenwaartse richting te vervoeren.

stopt ook de opname. De lucht is bijna altijd droger dan de plant. De plant is niet waterdicht en verliest dan ook water. De waterdamp treedt uit de plant via de openingen in het blad, die we huidmondjes noemen. Deze kunnen meer of minder ver open staan. Als de wateropname geremd wordt, zal de plant de huidmondjes sluiten. Daardoor neemt de verdamping af. De plant kan dus de waterafgifte door middel van de huidmondjes enigszins regelen. De blad huid is namelijk ongeveer waterdicht, daardoor is het waterverlies van een

blad met gesloten huidmondjes vrij klein. Gesloten huidmondjes kunnen echter de cellen niet behoeden voor uitdrogen als de wateraanvoer helemaal wegvalt.

Verdamping is het overgaan van vrij water in waterdamp. De verdamping vindt plaats binnen de huidmondjes dus in de plant, in de ruimte tussen de cellen vanuit de celwanden. De cellen zouden gemakkelijk kunnen uitdrogen want de wanden bestaan uit "filtreerpapier" (zie 2.4.3.).

Dat dit niet gebeurt komt doordat de cellen die water verliezen ook weer water opnemen, namelijk uit de achterliggende cellen die vochtiger zijn. Dat gaat niet zo door van cel tot cel tot in de wortel. De plant beschikt namelijk over een buizensysteem dat loopt van het blad tot in het uiterste puntje van de wortel. Aan het einde van de wortel gaat het watertransport weer van cel tot cel.

### 3.3.2. Het vatenstelsel

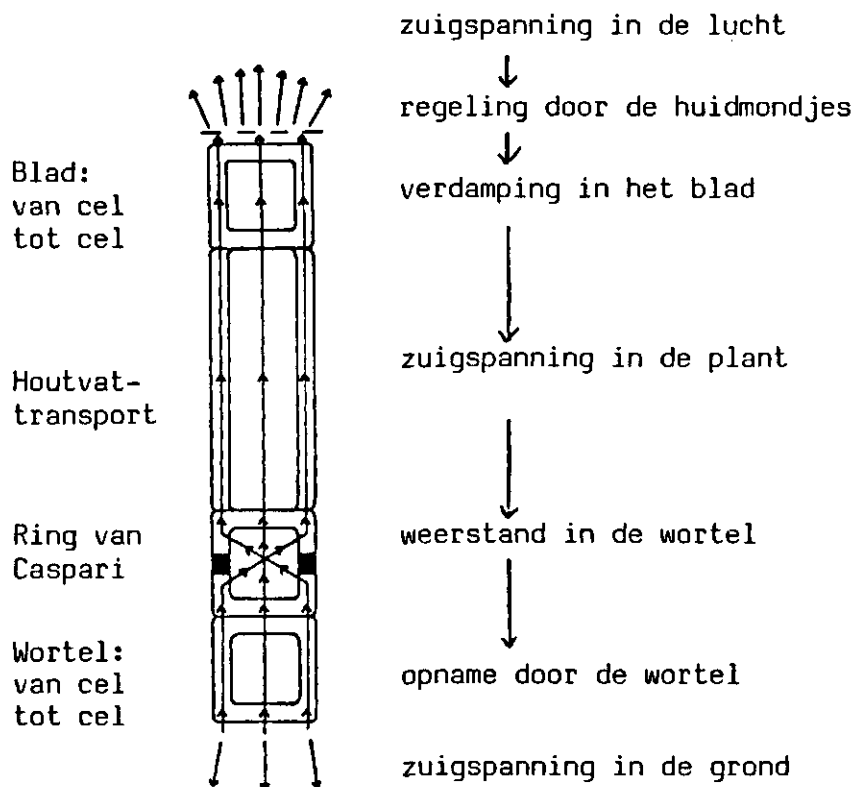
De buizen voor het watertransport worden vaten genoemd. Het vatenstelsel loopt door alle plantendelen. Er zijn twee hoofdvervoerstromen. De eerste vanuit de wortel voor transport van water en onder andere zouten naar alle bovengrondse delen: houtvaten. Het tweede voor transport van suikers en andere stoffen uit de bladeren naar alle andere plantendelen: zeefvaten (figuur 12). De houtvaten dienen voor het watertransport van de wortels naar de rest van de plant. Alle cellen moeten namelijk over water en zouten kunnen beschikken. De houtvaten zijn open buizen, ontstaan uit kokervormige cellen, waarvan de tussenschotten aan de uiteinden niet meer aanwezig zijn. Door de houtvaten worden niet alleen de zouten vervoerd die door de wortel zijn opgenomen, maar ook allerlei stoffen die in de wortel worden gevormd. De wortel maakt bijvoorbeeld hormonen die voor de bladgroei nodig zijn. Ook sommige bouwstoffen komen uit de wortels. De wortel beschikt dus ook over suikers die uit het blad afkomstig zijn.

Door de zeefvaten worden de suikers uit het blad naar de overige plantendelen vervoerd. De wortel kan daaruit bouwstoffen vormen. De zeefvaten bestaan niet uit open buizen, maar het zijn kokervormige cellen met een levende inhoud en doorboorde tussenschotten. De plant kan dit transport dus regelen. De waterstroom via de zeefvaten is uiteraard ook veel kleiner dan die door de houtvaten naar boven (figuur 12). Alle cellen hebben suikers nodig voor de ademhaling, vooral de groeipunten in stengel en wortel. Het zeefvatenstelsel is dus door de gehele plant vertakt.

### 3.3.3. Wateropname door verdamping

Hoe komt nu de opname van water tot stand? De cellen achter de huidmondjes verliezen water. Dat zet zich voort in de naburige cellen. Al gauw is er echter een cel die tegen een houtvat aanligt. Deze neemt water op uit dit vat. Het zijn zeer dunne capillaire buisjes. Het water dat er in het blad uit verdwijnt, wordt aange-trokken uit de stengel en dat gaat door tot in de punt van de wortel. Aan het uiteinde van het houtvat in de wortel wordt dan weer water opgenomen uit de aanliggende cellen. De buitenste wortelcellen (wortelharen) nemen dan water op uit de grond. Hoe meer water

uit het blad verdwijnt, hoe meer uit de grond wordt opgenomen. De grond moet dan wel vochtig zijn en de omstandigheden gunstig. Als de grond droog wordt, loopt de opname terug. Zolang de trekkracht van de droge lucht groter is blijft de stroom uit de grond, door de plant, naar de lucht, voortgaan. Voor de trekkracht aan water gebruikt men de term zuigspanning (figuur 13). De plant verkeert dan ook onder onderdruk.



Figuur 13. Wateropname door verdamping. Als uit het blad water verdampst, ontstaat zuigspanning in de plant. Het waterverlies wordt daardoor aangevuld door opname in de wortels.

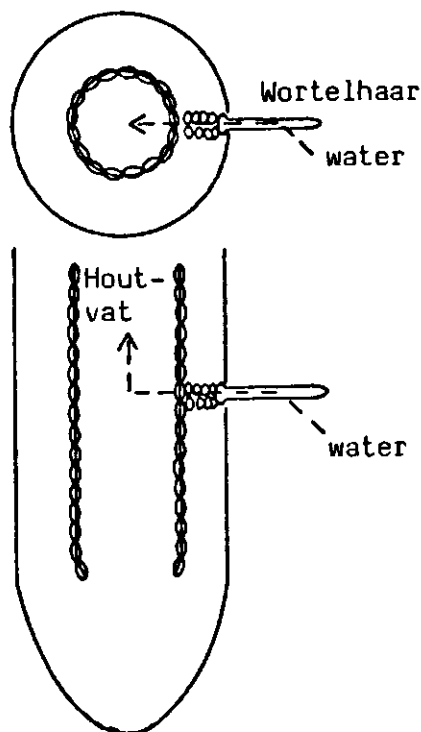
De plant is vrij passief bij deze wateropname: als de zuigspanning van de lucht wegvalt, houdt de opname op. Dit is het geval als de lucht met waterdamp is verzadigd (RV 100%). Het is dan binnen en buiten de plant even vochtig. Ook als de zuigspanning in de grond groter wordt dan in de plant, stopt de wateropname, bijvoorbeeld als de grond droog en zout is. Dat zal echter zelden het geval zijn.

### 3.3.4. Wateropname door worteldruk

Hierboven werd gesteld dat wateropname het gevolg is van verdamping. Voor het overgrote deel van het waterverbruik door de plant is dat ook zo. Maar toch ziet de plant kans om ook wat water op te nemen als er geen zuigspanning in de lucht heerst. Dit is meestal 's nachts het geval. De plant neemt dan actief zouten op uit de grond, met behulp van ademhalingsenergie. Door osmose ( zie 3.3.5.)

wordt dan passief water opgenomen. De plant wordt dus voller, er ontstaat een overdruk in de plant. De plant heeft hiervoor energie nodig. Deze wordt geleverd door de ademhaling in de wortels. De druk kan zo hoog worden opgevoerd dat de hele plant onder spanning komt te staan. Hierdoor kunnen bijvoorbeeld vruchten barsten (tomaat, meloen). Deze druk kan alleen ontstaan doordat de uiteinden van de houtvaten in het blad gesloten zijn. Als ze open zijn gaat de plant "kralen", we noemen dat ook wel gutteren. Het water wordt uit het blad geperst. De druk kan alleen ontstaan als de plant ook in de wortels waterdicht is. De wortel heeft geen opperhuid, want dan zou er geen water in kunnen. De celwanden zijn van "filtreerpapier" dus zou het water zo weer terug vloeien in de grond. Dit gebeurt niet doordat in de wortel een gesloten cylinder aanwezig is (Casparicellen, figuur 14), die fungeert als een voetklep. Het water kan niet meer terug.

Dwarsdoorsnede



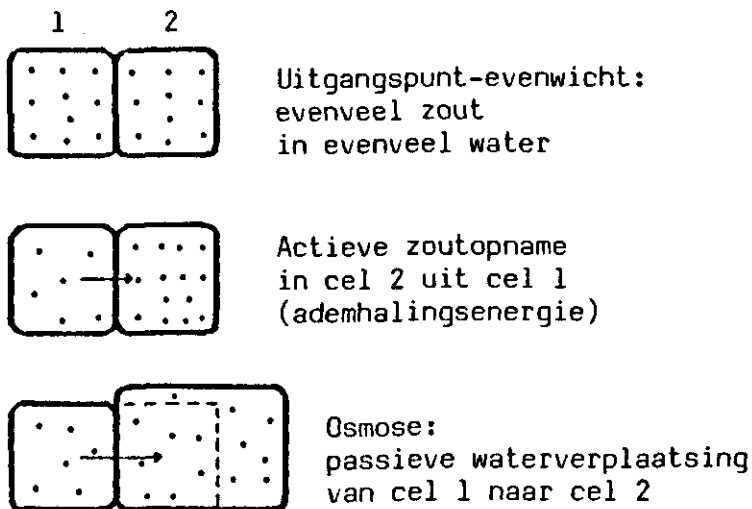
Lengte  
doorsnede  
wortelpunt

Figuur 14. De ring van Caspari. De celwanden zijn waterdicht door vetbandjes. Het water dat binnen de ring is kan niet gemakkelijk terug.

### 3.3.5. Wateropname door osmose

De cellen van Caspari (figuur 14) komen binnen in de wortel voor. De wortelhaarcellen verkeren dus eigenlijk zonder bescherming in de grond. Dit betekent dat zij doodgaan als de grond opdroogt. Het water loopt dan uit de cellen naar de grond terug. De cellen hebben

echter een mogelijkheid om het water enigszins vast te houden, namelijk door een hoge zoutconcentratie. Dit geldt voor alle cellen. Als in het celvocht meer zout is opgelost dan in het vocht in een buurcel, dan wordt er water verplaatst naar de cel met de hoogste concentratie. De celmembranen (pagina 12, figuur 4) regelen de zoutopname. Ze zijn halfdoorlatend, dat wil zeggen dat de zouten die actief zijn opgenomen er niet zomaar weer uit kunnen. Zo wordt de concentratie binnen de ring van Caspari bijvoorbeeld hoger. Een hogere concentratie trekt water aan, dit gebeurt passief. Dit proces van wateraanrekening heet osmose (figuur 15).



Figuur 15. Osmose: door actieve zoutopname kan de cel met behulp van ademhalingsenergie zijn concentratie verhogen. Als gevolg daarvan volgt passieve wateropname door osmose. De cel gaat daardoor strekken.

Hoe hoger de concentratie hoe meer zuigkracht erop water wordt uitgeoefend. Er wordt zoveel water in de plant opgenomen als de celconstructie toelaat. Als de cellen vol zijn, loopt de tegendruk van de wand op. We noemen dit wanddruk. De druk die dan in de cel heerst heet turgor of celspanning. De wateropname moet dan stoppen. Hierdoor ontstaat, zoals we reeds zagen, worteldruk. Het osmoseproces vindt plaats in alle levende cellen van de plant. Als er bijvoorbeeld veel zout in het blad aanwezig is doordat het met de verdampingsstroom is aangevoerd, dan zal dat zout water gaan aantrekken. Als de mineralen worden ingebouwd neemt de concentratie weer af en dus ook de zuigkracht voor water.

### 3.3.6. Zuigspanning in de grond

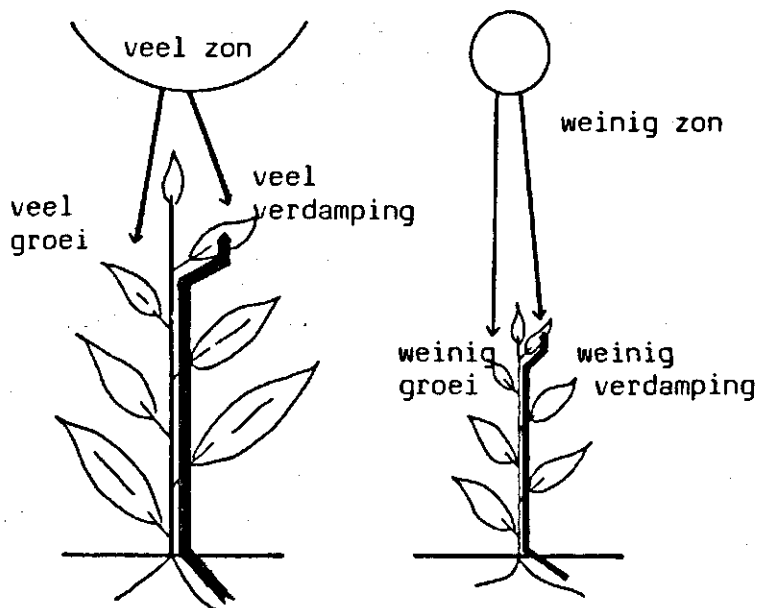
Hoe hoger de concentratie in de cel is, hoe groter de zuigkracht is voor water. Maar omgekeerd geldt ook: hoe hoger de concentratie in de grond of het substraat is, hoe groter de trekkracht (zuigspanning) is. Men kan bijvoorbeeld de zoutconcentratie bij de wortels plotseling sterk opvoeren door bemesting met een te hoge concentratie. Er kan dan water uit de wortelcellen worden gezogen, als het

water buiten de wortel een hogere concentratie heeft dan in de wortelhaarcellen. Deze cellen kunnen daardoor afsterven. Is het minder erg dan gaan de cellen zouten opnemen tot de concentratie weer in evenwicht is met de grond. Voortgaande zoutopname in de cel maakt dan weer wateropname mogelijk. De zuigspanning van de grond is echter toegenomen, de grond is "droger" geworden. Daarbij komt nog de adhesiekracht van de gronddeeltjes, waardoor het water wordt aange-trokken. Hoe droger de grond hoe sterker het laatste water aan de gronddeeltjes of het substraat is gebonden. De zuigspanning van de grond bestaat dus uit twee componenten: de zoutconcentratie + de adhesiekracht.

Bij de adhesiekracht speelt de deeltjesgrootte en de poriën-wijdte een rol. Een grond met fijne deeltjes (klei) heeft fijne poriën (capillairen) en houdt het water veel sterker vast dan een grove zandgrond. Als we een steenwolblok met grove poriën in een fijne zavelgrond zetten, dan loopt het water de verkeerde kant op, name-lijk naar de nauwe poriën. De potkluit moet dan zeer regelmatig worden begoten tot de wortels in de kasgrond zijn doorgedrongen, want anders verdroogt de plant.

### 3.3.7. Verdamping en groei

Hoe zouter en droger het wortelmilieu is, hoe moeilijker de plant water kan opnemen. De concentratie in de plant kan hoger blijven dan in de grond, maar de wateropname loopt wel terug en daardoor zal de groei worden geremd. De cellen in de groeipunten kunnen moeilijker water opnemen door osmose, de cellen strekken minder ver. De groei wordt dus duidelijk beïnvloed door de waterhuishou-ding van de plant. Het is echter in hoofdzaak een indirect effect, dat tot stand komt doordat de jonge cellen niet strekken. De blade-ren blijven namelijk te klein, waardoor minder licht wordt opge-vangen en de fotosynthese-opbrengst achterblijft.



Figuur 16. Verdamping en groei. De plant groeit niet door verdamping, maar door licht. Veel licht = veel groei, maar ook veel verdamping.

Als de opname goed is, maar de verdamping is klein, ontstaan groei-aanpassingen in omgekeerde zin. De bladeren worden extra groot en dun en vangen dus veel licht op. De plant wordt wel gevoeliger. Als de opname (worteldruk) goed is en de verdamping niet al te groot, dan groeit de plant optimaal. De grenzen hiervoor zijn tamelijk ruim. Naar schatting kan 25% meer of minder dan de gemiddelde verdamping plaatsvinden zonder belangrijke groeiverschillen. Dit geldt zeker als de positieve en negatieve verschillen elkaar afwischen. Zolang er niet gestookt wordt hangen groei en verdamping echter nauw samen doordat beide door de instraling worden bepaald. Veel zon betekent veel groei en veel verdamping. 's Winters is er weinig zon, weinig verdamping en ook weinig groei (figuur 16). Dan kan de verdamping echter worden gestimuleerd door stoken.

### 3.4. Planttemperatuur

Boven dit hoofdstuk staat: "Levensprocessen in de plant". Onder deze titel spraken we over fotosynthese en ademhaling, over groei en ontwikkeling en tenslotte over verdamping en wateropname. Nu beginnen we aan de planttemperatuur. Eigenlijke hebben we hier niet met een levensproces te maken, maar met een toestand waarin de plant verkeert. De temperatuur is echter van groot belang voor alles waarover we tot nu toe geschreven hebben. Daarom behandelen we dit onderdeel apart. We beperken ons nu tot de beschrijving van temperatuur in de plant. In een van de volgende hoofdstukken wordt dan weergegeven hoe de plantengroei is te beïnvloeden door middel van de temperatuur.

#### 3.4.1. Temperatuur in de plant

Een mens kan alleen goed functioneren als hij een lichaamstemperatuur heeft van  $37^{\circ}\text{C}$ . Een afwijking van  $5^{\circ}\text{C}$  is dodelijk. Bij koudbloedige dieren en planten is dat heel anders. De plant neemt de temperatuur aan van de omgeving. Een mens kan leven bij  $-40^{\circ}\text{C}$  of  $+40^{\circ}\text{C}$ , maar moet zelf op  $37^{\circ}\text{C}$  blijven. Onze planten kunnen zulke grote verschillen niet overbruggen maar zonder bijzondere maatregelen kan een actieve plant in leven blijven bij inwendige temperaturen van vlak boven  $0^{\circ}\text{C}$  tot  $40^{\circ}\text{C}$  toe.

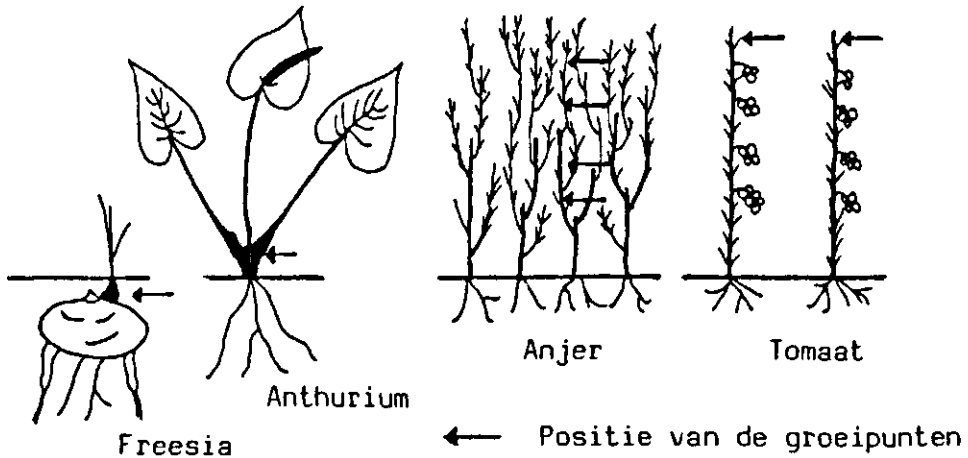
De activiteit van de plant is natuurlijk niet bij alle temperaturen gelijk. Hoe lager de temperatuur, hoe langzamer alle levensprocessen verlopen. Soms maken we daar gebruik van en zetten planten (vruchten, stekken) in een gekoelde ruimte bij temperaturen vlak boven  $0^{\circ}\text{C}$ . Er zijn echter planten die daar niet tegen kunnen en boven  $10^{\circ}\text{C}$  moeten worden gehouden bijvoorbeeld de komkommer. De bovengrens van de temperatuur is voor vele gewassen gelijk.

Kruidachtige planten kunnen temperaturen hoger dan  $40^{\circ}\text{C}$  slecht verdragen. De eiwitten in de cel waarvan het leven afhangt worden dan afgebroken. Planten in rust kunnen veel hogere en lagere temperaturen verdragen. Zaden kunnen ver onder het vriespunt blijven leven, maar ook temperaturen van  $75^{\circ}\text{C}$  gedurende enige tijd doorstaan. Dit gebeurt namelijk soms bij zaadontsmetting tegen virusziekten.

Binnen de plant kan de temperatuur vrij sterk variëren doordat de plant de temperatuur van de omgeving aanneemt. De bovenbladeren

kunnen in de zon staan en andere in de schaduw. Vooral de temperatuur van de groeipunten is erg belangrijk want daar vindt de groei plaats.

Er is veel verschil in plantvorm en plaats van de groeipunten (figuur 17). We moeten dan ook de temperatuur meten waar de plant groeit.



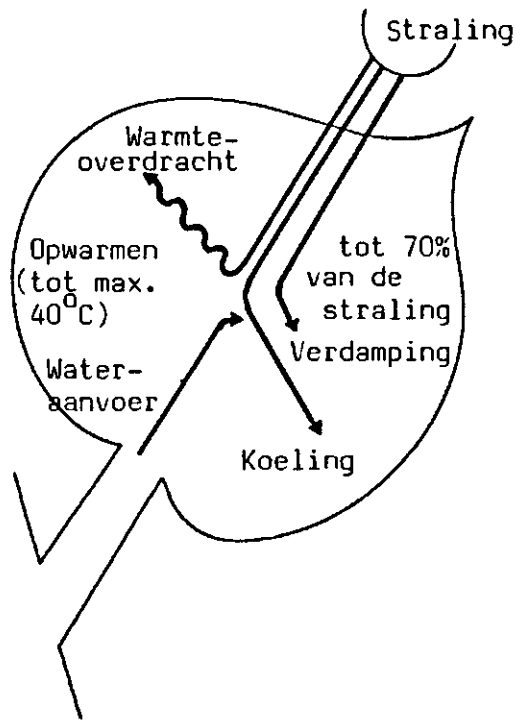
Figuur 17. De temperatuur van de groeipunten is belangrijk. De plaats van de groeipunten varieert sterk. Van juist onder de grond tot meer dan 2 meter boven de grond.

Er is meestal ook een vrij groot verschil tussen onder- en bovengrondse temperaturen. Dit komt doordat de temperatuur van de grond wordt gebufferd. De grond heeft namelijk een veel grotere warmtecapaciteit dan de lucht. In steenwol is het verschil tussen wortel- en scheuttemperatuur al veel kleiner. De grond- of substraattemperatuur is wel een goede maat voor de worteltemperatuur, er kan namelijk moeilijk verschil zijn tussen die twee. Bij het blad is er dikwijls wel een groot verschil met de luchttemperatuur.

#### 3.4.2. Verdamping en temperatuur

De temperatuur van het blad wordt sterk bepaald door de luchttemperatuur. De warmte-inhoud van een blad is echter tamelijk klein en de oppervlakte groot. Een blad zal dus naar verhouding van zijn gewicht zeer veel zonne-energie opvangen. Een zwarte metalen plaat zou in dat geval zeer warm worden; veel warmer dan een plantencel kan verdragen. Bij een blad gebeurt dat niet en dat is maar goed ook. Waardoor blijft het blad in de buurt van de luchttemperatuur? Dat komt door de verdamping. Zodra er zon of andere energie (stoken) op het blad komt, leidt dat tot temperatuurverhoging. Dat doet water verdampen. De plant is als het ware een stuk filtreerpapier dat water uit de grond aanzuigt. Door het grote bladoppervlak heeft de plant ook een grote verdampingscapaciteit. Daardoor kan zeer veel energie worden opgenomen. De temperatuur van het blad kan dan ook sterk stijgen als de verdamping achterwege blijft (figuur 18).





Figuur 18. Koeling door verdamping. Tot 70% van de opgevangen energie kan worden opgenomen voor de verdamping. Daardoor wordt het blad niet te warm, als de wateraanvoer voldoende is.

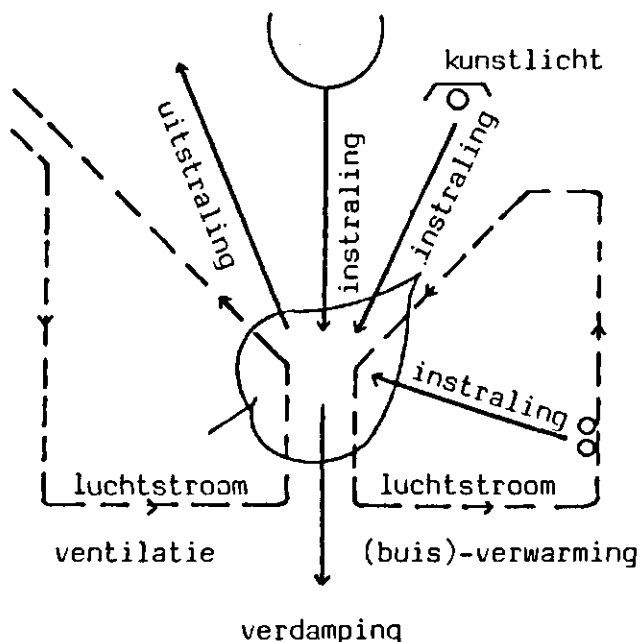
Een gesloten gewas kan meer dan de helft van alle toegestraalde energie opnemen voor verdamping. Dat komt neer op de verdamping van meer dan 4 liter water per  $m^2$  per dag. Hoeveel warmte daarvoor nodig is kunt u nagaan als u deze 4 liter op het gasstel via een fluitketel laat verdampen. De plant verwerkt zoveel energie alleen als het gewas voldoende water kan opnemen. Is dit niet het geval, bijvoorbeeld doordat de wortels te koud zijn, dan kan de energie niet worden weggewerkt via de verdamping van water. De straling geeft dan verhoging van de bladtemperatuur. Dat kan echter niet lang doorgaan want als het blad veel warmer wordt dan de omringende lucht, dan gaat het warmte afgeven aan de lucht.

Een goede waterhuishouding in de plant is dus van groot belang voor een goed temperatuurniveau in de plant. Als er niet genoeg water is kan de plant zich min of meer beschermen tegen uitdroging door sluiting van de huidmondjes. Dat betekent dan wel temperatuurverhoging in het blad die bij felle zon wel kan oplopen tot  $10^{\circ}C$  boven de luchttemperatuur.

### 3.4.3. Regeling van de planttemperatuur

De plant neemt in principe de temperatuur van de omgeving aan. Als we de planttemperatuur willen beïnvloeden kunnen we proberen alleen de plant te verwarmen, dit is echter meestal praktisch onuitvoerbaar. In de praktijk komt het er voor de bovengrondse plantendelen op neer dat we de planttemperatuur regelen via de luchttemperatuur

(figuur 19). Dit houdt in dat we er altijd rekening mee moeten houden dat de planttemperatuur kan afwijken van de luchttemperatuur.



**Figuur 19.** Regeling van de planttemperatuur. De belangrijkste warmtebronnen zijn de zon en de verwarmingssystemen. Voor de verdamping kan zeer veel energie worden opgenomen. Bij afvoer spelen uitstraling en ventilatie ook een grote rol. De overige warmtestromen zijn minder ingrijpend.

Met de warmte van het water in de verwarmingsbuizen wordt de lucht verwarmd, die de warmte weer overdraagt aan de plant doordat de lucht beweegt. Als het te warm is gaan we ventileren om de lucht te koelen, waardoor de plant in temperatuur wordt verlaagd. Vooral als er weinig straling is, dus 's winters en bij donker weer, lukt de regeling van de bladtemperatuur door middel van de luchttemperatuur vrij goed. De overdracht vindt echter nooit uitsluitend via de lucht plaats, maar ook door straling. Alles wat warmer is dan de plant straalt warmte over op de plant. In de eerste plaats is dat natuurlijk de zon, maar dat geldt ook voor minder hete stralingsbronnen zoals de verwarmingsbuizen (figuur 19) of infrarood-stralingswarmte. Ook een belichtingsinstallatie fungeert als infraroodverwarming. Lampen geven namelijk in het gunstigste geval 25% van de toegevoegde energie af in de vorm van licht. De rest is warmte en kan dus de planttemperatuur verhogen. Ook het licht dat niet voor fotosynthese wordt gebruikt kan worden omgezet in warmte.

Anderzijds straalt de plant ook uit naar alles wat kouder is (figuur 19). Dat kan betekenen dat 's nachts het koude glas direct warmte opneemt van de plant. Daardoor zal de plant kouder worden dan de lucht. Hoe kouder het glas wordt, bijvoorbeeld door een heldere nacht, hoe hoger de luchttemperatuur moet worden gehouden voor

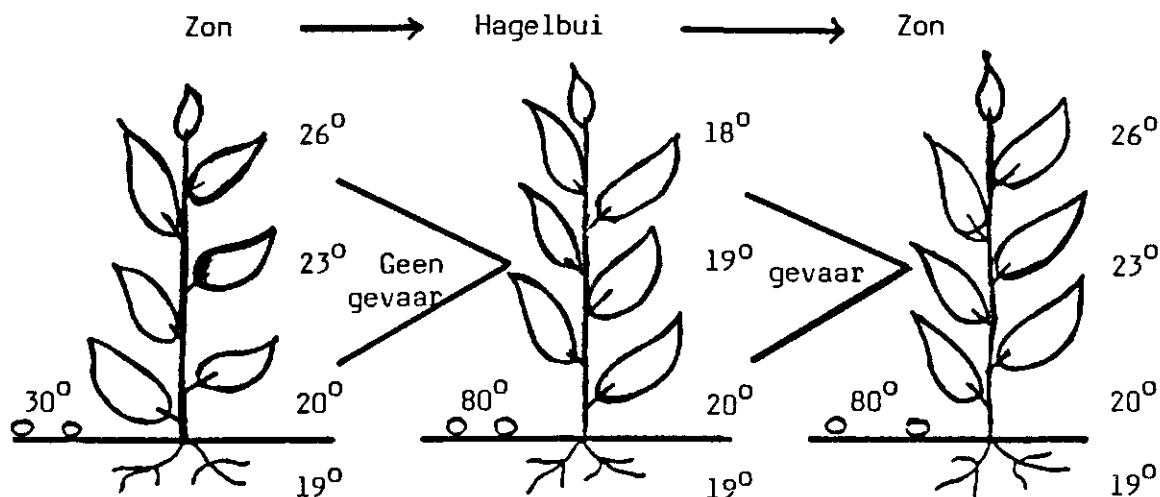
dezelfde planttemperatuur.

In de grond wijkt de worteltemperatuur niet af van de grondtemperatuur. Regeling is echter moeilijk doordat een groot grondvolume door zijn grote warmtecapaciteit zeer traag reageert in vergelijking tot de bovengrondse omstandigheden. Regeling van de worteltemperatuur is alleen praktisch mogelijk in een zeer klein volume bijvoorbeeld substraatteelt.

### 3.4.4. Temperatuurschokken

Aangezien de planttemperatuur voor een groot deel wordt bepaald door de omgeving, zal de plant ook met de omgeving mee van temperatuur veranderen. Soms kan dat zeer snel gaan bijvoorbeeld bij buifogweer. Binnen een half uur kan dan een sterke instraling op het blad plaatsvinden, gevolgd door een dikke wolk waaruit hagel valt. Het regelsysteem van de verwarming kan dat niet snel genoeg opvangen, dus wordt de plant snel kouder. Voordat weer een half uur om is kan echter de zon al weer schijnen. Meestal is dan het verwarmingssysteem goed op gang gekomen zodat de planttemperatuur doorschiet naar boven. Zolang het alleen over de temperatuur in de plant gaat, geeft dit allemaal weinig problemen, mits we maar tussen 10 en 35° C kunnen blijven (zie 3.4.1.).

In de praktijk doet zich wel een probleem voor doordat de wortels in de grond bijna niet mee kunnen reageren. Een sterke daling van de planttemperatuur is nog geen probleem, want dan wordt er minder van de plant gevergdd. Juist een plotselinge stijging (na de hagelbui) is gevaarlijk. De wortels zullen dan als de grond niet erg warm is geen water genoeg kunnen opnemen. De verdamping stagneert en de bladtemperatuur loopt op (figuur 20).



Figuur 20. Temperatuurschokken. Schokken van een hoge naar een lage temperatuur geven geen probleem. Snel oplopende temperatuur is op zichzelf niet zo gevaarlijk, maar er kunnen vochtschokken ontstaan mede door de achterblijvende worteltemperatuur.

Luchten is dan een gevaarlijke oplossing. Weliswaar wordt de temperatuur verlaagd, maar er wordt ook waterdamp afgevoerd waardoor de plant het nog moeilijker kan krijgen. Als u kiezen moet, kunt u be-

ter een te hoge temperatuur gedurende een korte tijd riskeren dan verdrogingschade. De plantgevoeligheid speelt bij dit alles een grote rol.

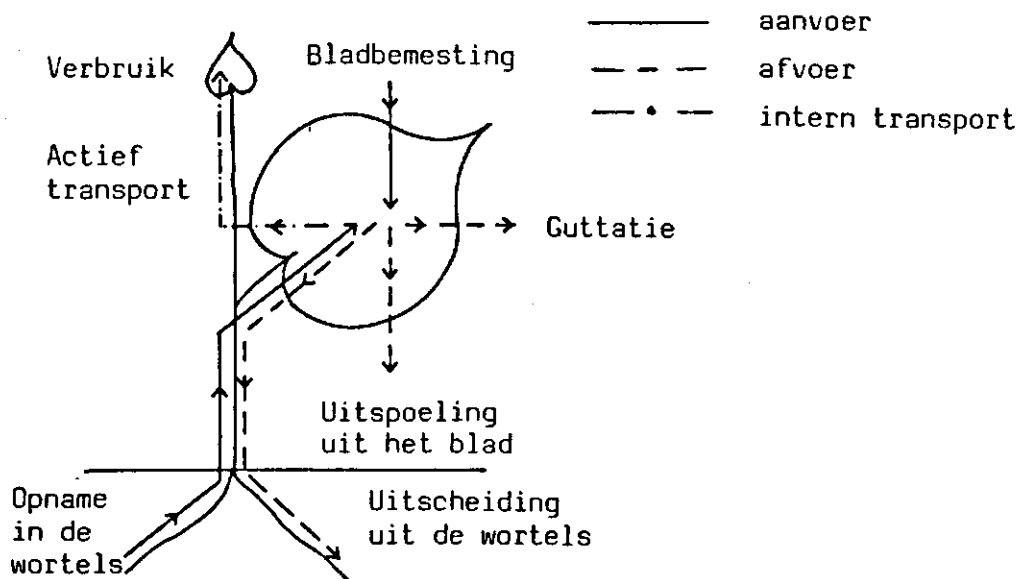
Een goede mogelijkheid om onder dergelijke omstandigheden een plant te beschermen is gewasbevochtiging. Het water dat de wortels niet zo gauw kunnen opbrengen binnen het blad, wordt daardoor op het blad gebracht. Door verdamping buiten het blad wordt dan de energie opgenomen. Zo worden zowel de temperatuurstijging als ook de uitdroging voorkomen. Een bezwaar kan zijn dat de rest van de plant te nat wordt.

### 3.5. De opname van mineralen

Bij de bespreking van verdamping en wateropname is de opname van zouten verschillende keren ter sprake geweest. Het ging dan zoals bij de osmose, om de concentratie van het totaal aan zouten. Niet de voedingswaarde stond voorop, maar het effect van de zoutconcentratie op de waterhuishouding. We gebruiken in de praktijk de bemesting tweeledig. We willen bijvoorbeeld de groei regelen met de concentratie. De samenstelling van de oplossing is dan niet zo belangrijk. Het eerste doel van de mineralenvoorziening is echter plantenvoeding, maar dan is juist de samenstelling van belang.

#### 3.5.1. Opname en afgifte van mineralen

Als de plant bij de wateropname zonder beperking ook de zouten zou mee opnemen, dan zou bij een sterke verdamping de plant al heel gauw volledig verzilten. Al het zout zou in het blad achterblijven. Hoe voorkomt de plant dit? In de eerste plaats neemt de plant met het water niet klakkeloos het opgeloste zout op. Verder voert de plant zouten af bij het gebruik van mineralen voor de groei (zie 3.3.5.). Bovendien geeft de plant ook zouten weer af (figuur 21). Een deel van de mineralen komt inderdaad passief de plant binnen met het water dat voor de verdamping moet worden opgenomen. Er komen daardoor van bepaalde stoffen ook te grote hoeveelheden de plant binnen. Dit kan in het blad soms tot zeer hoge concentraties leiden. Dit trekt dan 's nachts weer veel water aan. Als de membranen dan niet al te best zijn kan zelfs celvocht door de celwand in de ruimte tussen de cellen worden geperst (glazigheid). Als de verdamping wegvalt neemt de plant toch mineralen op. Dat is maar goed ook want anders zou bij donker weer binnen de plant al heel gauw gebrek aan allerlei mineralen optreden. Zolang de plant groeit heeft hij mineralen nodig. Zodra de voedingszouten zijn gebruikt voor de vorming van nieuwe plantendelen zijn ze vastgelegd en tellen voor de mineralenhuishouding niet meer mee. Sommige mineralen die een plant niet nodig heeft kunnen soms in onopgeloste vorm als kristallen in het blad of in de vrucht voorkomen. De plant geeft echter ook een deel van de overtollige mineralen weer af aan de grond. Er kunnen ook zouten worden uitgescheiden als guttatie optreedt. Er wordt dan water met zouten uit het blad geperst (figuur 21).



Figuur 21. Mineralen in de plant. De plant kan op verschillende manieren mineralen opnemen en afgeven. Dit gebeurt ook op verschillende plaatsen in de plant.

Als er veel water over het blad stroomt, worden daarmee zouten uit het blad gespoeld. Anderzijds is het ook mogelijk een zoutoplossing op het blad te spuiten om zo mineralen door de plant te laten opnemen. Tomatenplanten kunnen bijvoorbeeld op die manier van magnesium worden voorzien om gebreksverschijnselen in het blad te voorkomen.

### 3.5.2. Actieve opname en transport

Dat de opname van mineralen actief kan plaatsvinden, betekent dat de plant daarvoor energie verbruikt. De energie wordt door middel van de ademhaling verkregen. De wortel heeft dan ook zuurstof nodig en een geschikte temperatuur, want anders loopt de opname terug. Dat de plant actief mineralen opneemt betekent ook dat de plant van bepaalde zouten in zijn celvocht een veel hogere concentratie kan hebben dan in het bodemvocht om de cel heen. In een proef werd bijvoorbeeld kali aangeboden in de verhouding 1 : 6 : 14 maar binnen de plant was de concentratie 850 : 610 : 690. De binnenconcentratie is dus min of meer onafhankelijk van de buitenconcentratie. De plant kan dus zouten verplaatsen tegen de concentratieverschillen in, maar gaat ook selectief te werk. De plant kiest wat hij zal opnemen daardoor is de verhouding buiten/binnen niet gelijk. Dat is bij de teelt zeer gemakkelijk, want anders zouden bij de bemesting iedere dag precies die mineralen moeten worden gegeven, die de plant nodig heeft voor de groei. Nu kan in de grond worden bemest voor langere tijd en behoeft het in substraat ook niet zo verschrikkelijk nauwkeurig te gebeuren. Het wortelmilieu bevat namelijk ook nog een buffervoorraad zouten. Als deze buffer klein is, bijvoorbeeld steenwolteelt, moet de bemesting al veel nauwkeuriger worden uitgevoerd. Als de mineralen eenmaal in/de plant zijn opgenomen, moeten ze nog

worden vervoerd naar alle plaatsen waar cellen groeien. Dat gaat natuurlijk het gemakkelijkst in de richting van de verdampingsstroom met het water mee. Zodoende zouden er echter te veel mineralen in het blad blijven zitten. Dit blijkt duidelijk uit de volgende proef. Men bepaalde hoeveel K, Ca, Mg en P er in de wortel voorkwam. Men vond de verhouding 3, 3, 4 en 5, maar in het blad vond men 18, 70, 53 en 17. De verdeling van de mineralen door de plant gebeurt grotendeels actief vanuit de bladeren via de zeefvaten. Dit gebeurt veelal van een hoge concentratie in de richting van een lagere concentratie met behulp van ademhalingsenergie (figuur 21). De verdeling door de plant gaat niet voor alle mineralen even gemakkelijk. De eenwaardige ionen (K, Na) zijn mobieler dan de tweewaardige (Ca, Mg). Zie ook bovenstaande proef. In het algemeen blijkt dat N, P en K zeer mobiel zijn.

### 3.5.3. Mineralentekorten

Doordat de omstandigheden niet altijd optimaal zijn, komen nogal eens tekorten aan mineralen in de plant voor. Soms probeert de plant zich daarbij aan te passen. Als er weinig stikstof is gaat de plant bijvoorbeeld meer wortels maken.

Tekorten gaan al gauw ten koste van de groei. Dit geldt vooral voor stikstof dat voor alle eiwitachtige verbindingen nodig is. Het is daardoor zeer nauw verbonden aan alle levensprocessen in de plant. Met tekorten gaan ook dikwijls verkleuringen gepaard. Bij N-gebrek wordt de plant geel. Nog duidelijker is dat bij Mg- en Fe-gebrek. Deze geelverkleuring wijst op de afwezigheid van bladgroen. Dit remt uiteraard de fotosynthese en dus de groei. Soms treden ook rood-blauw-verkleuringen op zoals bij N-gebrek, maar meer nog bij P-gebrek. Bepaalde suikers kunnen niet normaal worden gebruikt en worden dan omgevormd tot kleurstoffen.

Door tekort aan mineralen (vooral Ca), kan de kwaliteit van de membranen achteruitgaan (zie 2.4.1.). Dit betekent dat de plant de controle op de water- en zoutverplaatsing binnen de plant minder goed beheerst.

Er treden dan gemakkelijk zogenaamde fysiogene afwijkingen op; rand in sla en andere planten, glazigheid, neusrot en dergelijke. Vooral jonge blaadjes en vruchten komen gemakkelijk calcium tekort, doordat ze weinig water verdampen. De kalkopname in de jonge blaadjes in het groeipunt kan worden gestimuleerd, door de verdamping te blokkeren. Als men bijvoorbeeld de plant 's nachts afdekt met plastic doek wordt door de worteldruk meer calcium naar de jonge blaadjes vervoerd.

### 3.6. Wortelactiviteit

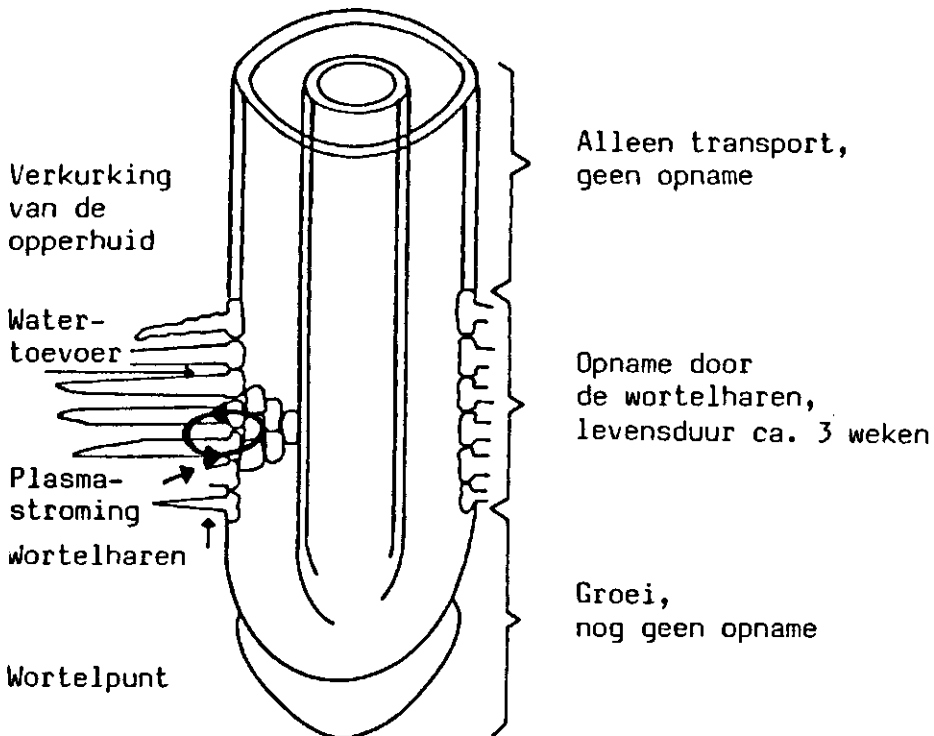
We gaan nu wat verder in op het functioneren van de wortel. In de hierna volgende hoofdstukken over de invloed van de groeiomstandigheden wordt namelijk niet zoveel aandacht besteed aan de wortel afzonderlijk.

In het algemeen kan worden gezegd dat bij het telen weinig aandacht aan de wortels wordt gegeven. Dit is goed te begrijpen want de groei van de wortels is nu eenmaal niet goed waar te nemen. De wortel is echter even belangrijk voor een goede teelt als elk ander

plantendeel. De vraag is dikwijls of er wortels genoeg zijn, en zo ja, of zij voldoende functioneren. Het is ook waarschijnlijk dat er tussen de verschillende wortelgebieden aan dezelfde plant functieverschillen bestaan. Waarschijnlijk kan de ene wortel meer water en de andere meer mineralen opnemen. Dit houdt ook in dat de omstandigheden ondergronds niet overal gelijk behoeven te zijn. Dit is immers in het blad ook niet zo.

### 3.6.1. Groei van het wortelstelsel

De werking van het wortelstelsel is al ter sprake gekomen op zie 3.3.4. en 3.3.5. Daarbij is vooral de ring van Caspari genoemd (figuur 14). Ook bij wateropname door osmose kwam de wortel aan de orde. Daarbij werd beschreven dat de wortelharen zeer belangrijk zijn (figuur 22).



Figuur 22. Alleen wateropname in de wortelharen. Doorlopende groei is noodzakelijk.

Deze cellen kunnen namelijk niet erg lang in leven blijven. Vooral als de temperatuur hoog is zijn ze in circa twee weken versleten. Aangezien de plant alleen via de wortelharen water kan opnemen, moeten er doorlopend nieuwe bijkomen als er oude afvallen. De wortelgroei past zich vrij sterk aan aan de omstandigheden. In zuurstofrijke grond worden zeer veel wortelharen gevormd. In watercultuur ontstaan echter veel dunnere wortels, bijna zonder wortelharen.

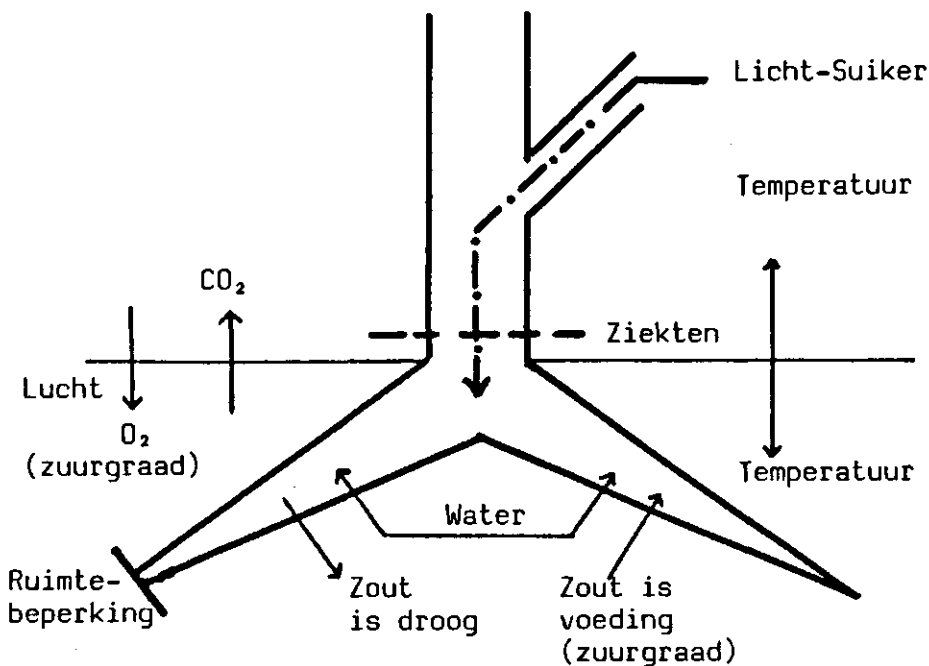
Voor een goede wortelfunctie is een doorlopende wortelgroei noodzakelijk. Als een plant vol met vruchten hangt of bezig is een grote bloem aan te leggen, kan de wortelgroei stagneren en kunnen zich na

enkele weken problemen voordoen door gebrek aan wortelharen. Het wortelstelsel moet ook een bepaalde omvang bereiken, want anders kan de plant, zodra de grond wat droger wordt, geen water genoeg meer opnemen. Doordat voor de groei van de wortel bouwstoffen nodig zijn, hangt de wortelgroei sterk af van de lichtomstandigheden. Het is dan ook nodig ondergrondse en bovengrondse omstandigheden op elkaar af te stemmen. Bij teelten in de grond is dat erg moeilijk door de sterke buffering van de grond. Snelle temperatuurveranderingen zijn onmogelijk. Daarbij steekt een substraat teelt gunstig af door het geringere volume.

Behalve de omvang is ook de activiteit van de wortels van groot belang. Allerlei factoren werken daarop in. Bij de actieve opname van mineralen en water speelt bijvoorbeeld de plasmastroming in de cel een grote rol. Hoe sneller de levende inhoud van de cel rondstroomt, hoe meer stoffen aan de ene zijde van de cel kunnen worden opgenomen en aan de andere zijde worden afgegeven. Dit geldt vooral bij de Caspari-cellen in de wortel, waar doorheen alle opgenomen water en andere stoffen moeten passeren.

### 3.6.2. Factoren van invloed op de wortel.

Er zijn vele factoren van invloed op de groei en de activiteit van de wortel (figuur 23). Voor de optimale groei moeten onder- en bovengrondse omstandigheden op elkaar worden afgestemd. In de praktijk is dat alleen mogelijk bij zeer kleine volumes, bijvoorbeeld potplanten. Meestal is het niet goed mogelijk doordat de omstandigheden in de grond alleen met grote vertraging zijn aan te passen.



Figuur 23. Vele factoren hebben invloed op het functioneren van de wortel.

Omdat de groeiomstandigheden in de grond daardoor een min of meer onafhankelijke invloed hebben, willen we een aantal afzonderlijk noemen.



### Watervoorziening

Een van de belangrijkste zaken is natuurlijk de watervoorziening in de grond. Al het water dat wordt verdampt, moet immers uit de grond worden opgenomen. Een doorlopend te droge grond remt de gehele groei. Maximale groei is dan ook alleen mogelijk bij volledig ongestoorde wateropname. Dit is in grond slechts te bereiken, wanneer de grond met water is verzadigd en dat is niet eenvoudig. Het lukt alleen met een zeer poreuze grond met een ondiepe waterspiegel, bijvoorbeeld een pot van 15 cm hoogte in een laagje water van enkele centimeters. De groei is praktisch niet te regelen door middel van de watervoorziening, omdat de waterhuishouding in de grond niet nauwkeurig te regelen is. De waterhuishouding rond de wortel kan vrij snel wisselen. De verdamping kan namelijk midden op de dag oplopen tot circa 1 liter per m<sup>2</sup> per uur. Dit betekent dat in een wat zwaardere grond vlak om de wortels heen droge kokertjes ontstaan. Dit komt doordat de zijdelingse waterverplaatsing in de grond te langzaam verloopt. De plant kan dan tijdelijk water te kort komen, ook als de rest van de grond goed vochtig is.

### Zout in de grond

Zout in het bodemvocht heeft ongeveer dezelfde werking als droogte. Door de hoge concentratie neemt de zuigspanning rond de wortels toe. De plant kan dan minder water opnemen en dat kost groei. De zoutconcentratie kan vrij hoog worden doordat de plant meer water opneemt dan zouten. In het geval van de droge kokertjes hierboven beschreven, wordt de toestand nog verergerd door de oplopende concentratie. Eigenlijk zou de plant overdag bij veel instraling bijna schoon water moeten krijgen en 's nachts een hogere zoutconcentratie voor de actieve mineralenopname. Met behulp van de zoutconcentratie is de groei wel enigszins te regelen. Hierbij doet zich dikwijls het probleem voor dat het zout later schadelijk werkt.

### Lucht in de grond

De wortelcellen moeten alle ademen en dat geldt ook voor alle andere bodemleven. Daarvoor is zuurstof nodig en daarbij komt CO<sub>2</sub> vrij. Dit moet worden uitgewisseld met het bovengrondse milieu. Als dat in orde is zullen zich ook geen problemen voordoen met andere gasen zoals ethyleen. Deze stof veroorzaakt veel problemen als de wortels onder water komen te staan. De interne ethyleenconcentratie blijft dan te hoog en de bladeren buigen daardoor naar beneden. Maar erger is dat door zuurstofgebrek veel te weinig water kan worden opgenomen. De wortels gaan uiteindelijk vrijwel dood. Watercultuur lukt dan ook alleen als het water intensief wordt belucht. Telen in een of ander substraat boven een laagje stilstaand water gaat wel doordat de wortels de zuurstof uit het substraat opnemen. Alleen als de wortels weinig actief zijn, dus 's winters bij lage temperaturen, kunnen zij langere tijd onder water in leven blijven.

### Temperatuur in de grond

De temperatuur in de grond is van groot belang vanwege de ademhaling door de wortels. Is de grond te koud dan loopt de ademhaling terug. De plasmastroming vermindert en de opname van water en zouten wordt geremd. Verhoging van de grondtemperatuur versnelt de ademhaling, heeft een hogere worteldruk tot gevolg en dikwijls groeit het gewas daardoor weliger.

Vooraf de opname van stikstof en fosfaat komt bij lage temperatuur in de verdrukking. Met de wateropname dreigen alleen moeilijkheden als de plant bovengronds wel warm genoeg is en daardoor veel water verdampt. Door de lage temperatuur wordt de groei van de wortels geremd. Via een verlaagde temperatuur kan men de bovengrondse groei beïnvloeden. Regelen van de groei via de grondtemperatuur lukt niet wegens de grote traagheid.

### Licht en de wortels

De wortels hebben natuurlijk niet direct licht nodig want ze ontvangen de suikers voor groei en ademhaling van het blad. Duidelijk is echter dat weinig licht betekent dat er weinig suiker is en dat beperkt wel de groei. Door lichttekort neemt de wortelgroei naar verhouding meer af dan de bovengrondse groei. Als er later meer licht komt zal dan toch dikwijls de produktie tegenvallen doordat een te geringe omvang van het wortelstelsel de groei beperkt.

### Ruimte voor de wortels

Wanneer bovengrondse delen van de plant elkaar beschaduwen heeft dat tot gevolg dat de groei afneemt. Wanneer de wortels niet onbelemmerd kunnen groeien, remt ook dat de bovengrondse groei. Dit is een goede mogelijkheid om de groei in de hand te houden, bijvoorbeeld door de wortels in een pot te houden. Hoe kleiner de pot in verhouding tot de plant, hoe groter de remming is. Dit wordt bij tomaat in de winter veel toegepast. Als u dit te lang volhoudt, raakt het wortelstelsel in omvang achterop ten koste van de verdere ontwikkeling. Bij substraatteelten kan men zich wat meer veroorloven, omdat de verzorging later ook beter is.

### Voeding voor de wortels

In de behoefte aan mineralen voor de hele plant wordt voorzien door de opname in de wortels. Mineralentekort remt de groei, ook van de wortels. Als er bijvoorbeeld te weinig stikstof wordt gegeven gaat eerst de bovengrondse groei achteruit en pas daarna de wortelgroei. Zo zijn er nog veel meer voorbeelden te noemen. De zorg voor een goede voedingstoestand in grond en substraat (bemesting) is een wetenschap op zich en blijft in deze publikatie buiten beschouwing.

### Zuurgraad van de grond

Ook de zuurgraad van de grond is van belang voor een goede werking van de wortels. Als de grond te basisch of te zuur wordt, gaan onregelmatigheden optreden in de oplosbaarheid (beschikbaarheid) van

de verschillende voedingselementen. Dit punt is dus zeer nauw verwant aan de bemesting. Een lage pH wijst er dikwijls op dat de beluchting in de grond niet al te best is.

#### 4. INVLOED VAN HET LICHT

Dit hoofdstuk vormt een nieuwe ronde in de bespreking van het belang van de plantenfysiologie voor de glastuinbouw. In het eerste deel werd beschreven hoe planten energie vastleggen in droge stof. Daarbij bleek de verdunning van de droge stof zeer belangrijk is. Hoe meer water de plant in een gegeven hoeveelheid droge stof verwerkt, hoe groter de bladoppervlakte wordt. Dit betekent meer lichtvangst en meer groei.

In de tweede ronde werden dezelfde zaken weer aan de orde gesteld, maar nu vanuit de levensprocessen in de plant. Aangegeven werd hoe energie wordt vastgelegd door middel van de fotosynthese en hoe de ademhaling ervoor zorgt dat voor alle levensprocessen energie vrijkomt. Zeer belangrijk zijn groei en ontwikkeling van de plant die het resultaat zijn van de verwerking van de droge stof. Bij dit alles speelt de waterhuishouding een grote rol omdat de celgroei nauw daarmee samenhangt.

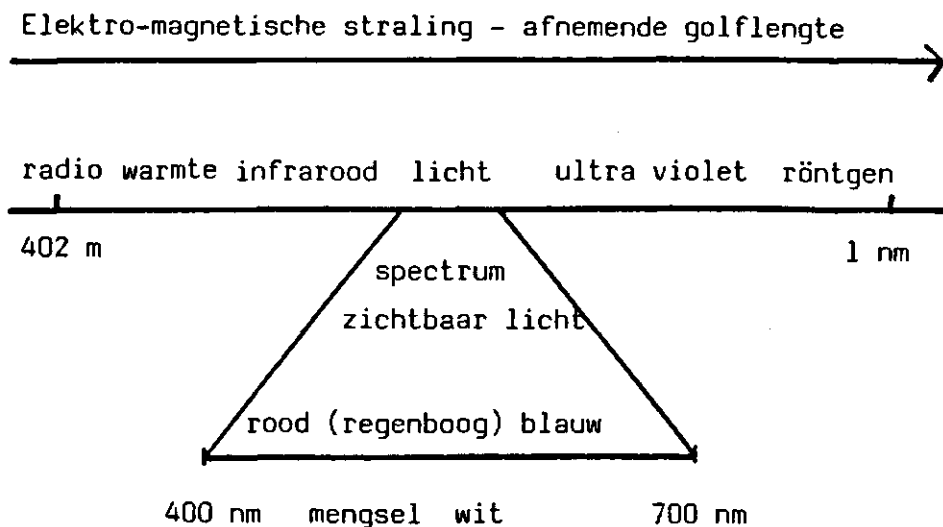
In de volgende hoofdstukken volgt de derde ronde in de behandeling van de plantenfysiologie in de glastuinbouw. In wezen gaat het weer om dezelfde zaken, maar nu wordt vooral aandacht gegeven aan de invloed van de omgeving op de plant. De belangrijkste aspecten daarvan zijn de invloed van het licht, van de temperatuur, van de lucht om de planten heen en van de waterhuishouding, in en om de plant. Het worden dus vier hoofdstukken, kort samen te vatten als: de invloed van licht, temperatuur, lucht en water op plantengroei. Het hoofdstuk over "Licht" wordt weer onderverdeeld in een aantal aspecten. Eerst zeggen we iets over het licht zelf, daarna over de verschillende functies van het licht ten aanzien van de plantengroei. Dit wordt dan verder uitgewerkt met betrekking tot de werking van het licht op het blad en in een gewas. We sluiten af met een overzicht van de invloed van de natuurlijke lichtverschillen (dagelijks, seizoen) en kunstmatige lichtverschillen (belichten, schermen).

##### 4.1. Wat is licht?

Licht is straling die door de planten wordt opgevangen. Deze straling levert energie die door de plant kan worden gebruikt voor de omzetting van  $\text{CO}_2$  en water in suikers voor de groei. Ook andere processen worden door het licht beïnvloed.

##### 4.1.1. Golflengte van het licht

Straling plant zich voort als golven op het water. Licht is een elektromagnetische straling met een bepaalde golflengte. Dit begrip is bekend uit de radiowereld. In Nederland zendt Hilversum bijvoorbeeld uit op 298 en 402 m. Dat wil zeggen dat deze radiogolven een lengte hebben van 300 à 400 meter (figuur 24).



Figuur 24. Straling en golflengte. Van het totale elektro-magnetische stralingsgebied kunnen onze ogen maar een gedeelte waarnemen. We noemen dat licht. De plant is in hetzelfde gebied gevoelig als het menselijk oog.

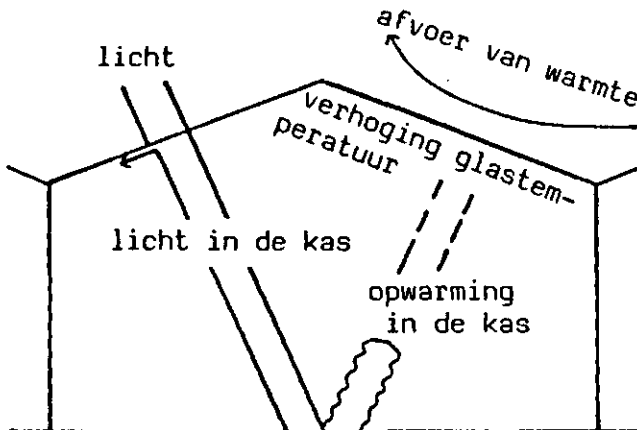
De golflengte wordt kleiner in de richting van warmtestraling tot aan het punt waar warmte zichtbaar wordt (roodgloeiend ijzer). Dit is de overgang naar wat we "licht" noemen. Op de overgang van warmte naar licht vinden we infrarood, wat niet zichtbaar is. Dan volgt zichtbaar (zon)licht, wat een golflengte heeft van 400-700 nm (1 nm = 0.000001 mm). De plant is ook gevoelig voor dit golflengtegebied wat onze ogen waarnemen. Zonlicht is een kleurloos lichtmengsel, maar door een prisma zijn de kleuren zichtbaar te maken. We zien dan de kleuren van de regenboog van rood (700 nm) tot violet (400 nm). Voorbij het violet ligt het ultraviolet, dat onzichtbaar is. Röntgenstralen hebben een nog kleinere golflengte. De verschillende golflengten van het licht hebben soms ook heel verschillende invloeden op de plant doordat de plant verschillende pigmenten heeft die gevoelig zijn voor straling van verschillende golflengten. Kunstlicht heeft soms een bepaalde kleur doordat de straling voor het merendeel in een begrensd golflengtegebied ligt. Behalve licht geven lampen altijd infrarood en warmte af.

Het zichtbare zonlicht is een stralingsmengsel met een golflengte van 400-700 nm, maar dit is slechts ongeveer de helft van de zonnestraling. De andere helft heeft een grotere golflengte (infrarood, IR) en voor een klein deel ook een kleinere golflengte (ultraviolet, UV). Het hangt dus af van de gevoeligheid van onze meters wat we meten, namelijk alleen zichtbaar licht of zichtbaar licht inclusief IR en UV. Dit laatste noemen we de globale straling. Het KNMI geeft de waarde van de globale straling.

's Morgens vroeg zien we de zon als een rode bal. De oorzaak is de veel langere weg die de lichtstralen door de atmosfeer moeten afleggen. Er treedt dan een filtering op aan de blauwe zijde van het spectrum.

#### 4.1.2. Het kaseffect

Kassen worden gebruikt om er planten in te kweken als het buiten niet goed lukken wil. Binnen de kas is er minder licht dan buiten. Als daar niets tegenover stond zou de groei dus minder zijn. Het voordeel van een kas, ook als deze niet wordt gestookt, is een wat hogere temperatuur. Hoe komt dat? Als lichtstralen een voorwerp treffen, worden ze omgezet in warmte of teruggekaatst. Glas is ook een voorwerp, maar laat bijna alle licht door. Binnen de kas wordt de energie omgezet in straling met een langere golflengte. Glas laat echter de warmtestralen niet door (figuur 25).



Figuur 25. Omzetting van licht in warmte. Het licht gaat door het glas en wordt omgezet in warmte.

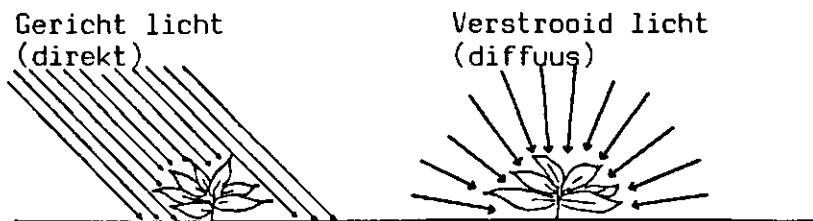
Warmtestraling kan niet door het glas. De kas wordt inwendig verwarmd en vertraagd afgekoeld doordat het glas warmer wordt dan de buitenlucht.

Nu is het niet zo dat de kas dan steeds maar warmer wordt. De temperatuurverhoging veroorzaakt luchtstroming. De lucht strijkt langs het koude glas waar de warmte weer wordt overgedragen op de buitenlucht. Dat een kas warmer is als de zon schijnt komt dus doordat de warmte vertraagd wordt afgegeven.

's Nachts kan het in een kas warmer zijn dan buiten als er veel uitstraling is naar een heldere lucht. Eerst koelt dan het glas af, daarna gaat de lucht in de kas afkoelen door het koude glas. De grond heeft een grote warmtecapaciteit en kan dan soms meer warmte leveren dan door uitstraling verloren gaat. Sommige kunststoffen laten wel de warmtestraling door en hebben daardoor minder effect op de binnentemperatuur. Worden kunststofdoeken nat (condens) dan werken zij weer als glas, wel loopt de lichtdoorlatendheid terug door de condensdruppels.

#### 4.1.3. Richting van het licht

Als zich geen voorwerp bevindt tussen de zon en de plant, dan zal het licht zich rechtlijnig voortplanten; gericht licht (figuur 26).



Figuur 26. Gericht en verstrooid licht. Bij zware bewolking wordt al het licht verstrooid. De schaduwwerking is van alle kanten even groot. In de winter wordt ongeveer tweederde van alle licht verstrooid.

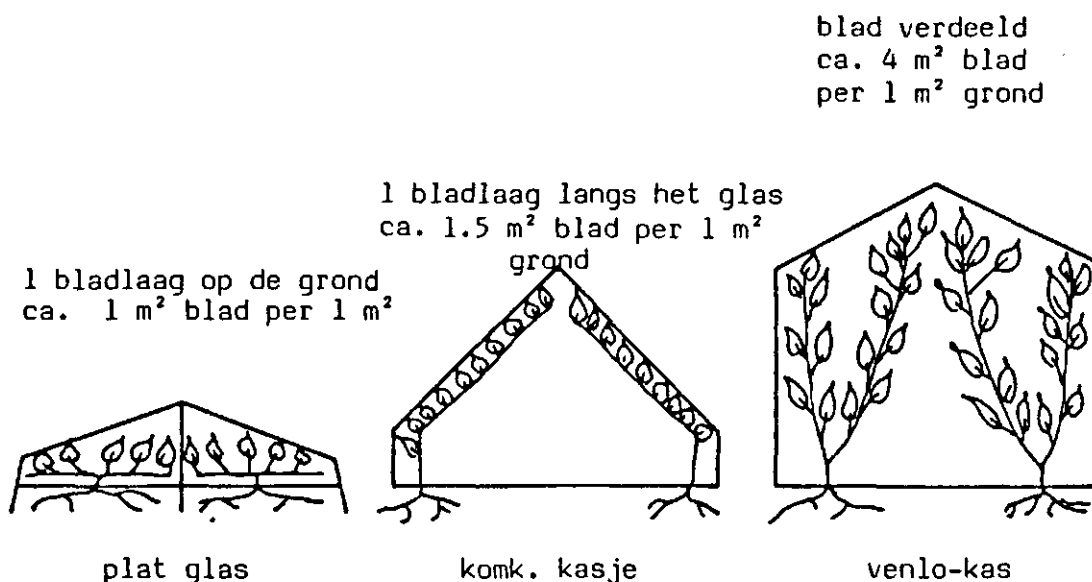
Er komt in ons werelddeel dan ook veel meer licht vanuit het zuiden dan vanuit het noorden. Er zijn echter altijd allerlei obstakels tussen de zon en de aarde, bijvoorbeeld stofdeeltjes, waterdamp en wolken. Deze verstrooien het licht in allerlei richtingen: diffuus licht. Als een dik wolkendek aanwezig is, kunnen we niet meer zien waar de zon staat. Dat wil zeggen dat er van alle kanten evenveel licht komt, uit het noorden evenveel als uit het zuiden. Een schuur op het noorden geeft op zo'n dag evenveel schaduw als een schuur aan de zuidkant. Zelfs op een zonnige dag is nog een groot deel van de straling diffuus. Midden in de winter is minstens tweederde van alle straling diffuus. Alleen op zonnige dagen is het minder. De problemen van lichttekort zijn het grootst op donkere dagen. Daarom moeten we in de eerste plaats rekening houden met diffuus licht. Dit houdt in dat het niet zo belangrijk is hoe de kassen georiënteerd zijn ten opzichte van het zuiden, want dat is alleen van belang bij gericht licht (zonnig weer). Er zijn dan geen lichtproblemen. Als het licht diffuus is, zou een kas in de vorm van een halve bol het beste zijn, maar dat is erg onpraktisch. Zolang we met diffuus licht te maken hebben is de dakhelling dan ook onbelangrijk. Een te steil dak, maakt de kas donkerder, want in een steil dek zit meer dakmateriaal (lichtonderschepping). Een goede kas laat circa 70% van het diffuse licht door. 's Winters wordt van de directe straling echter meer dan de helft teruggekaatst. Binnen de kas is een zonnige dag dus aanmerkelijk minder licht dan men op grond van de zoninstraling zou verwachten.

#### 4.2. Licht in de kas

In het voorgaande werd over het licht gesproken dat vanuit de ruimte op de kas wordt gestraald. Het is dan verder van groot belang hoeveel licht er de kas binnenkomt en hoeveel daarvan dan door het blad wordt opgevangen voor de groei.

##### 4.2.1. Licht binnen de kas

Een van de oudste vormen van glasegebruik is het zogenaamde platte glas, maar al heel gauw bouwde men kassen. Dit is uitgegroeid tot een grote variatie aan modellen. Er is een groot verschil in ruimtebenutting tussen vroeger en nu. We nemen de komkommerteelt onder glas als voorbeeld (figuur 27).



**Figuur 27.** Lichtbenutting en bladverdeling. Door een betere rangschikking van het blad kan meer licht worden benut en een hogere produktie worden verkregen.

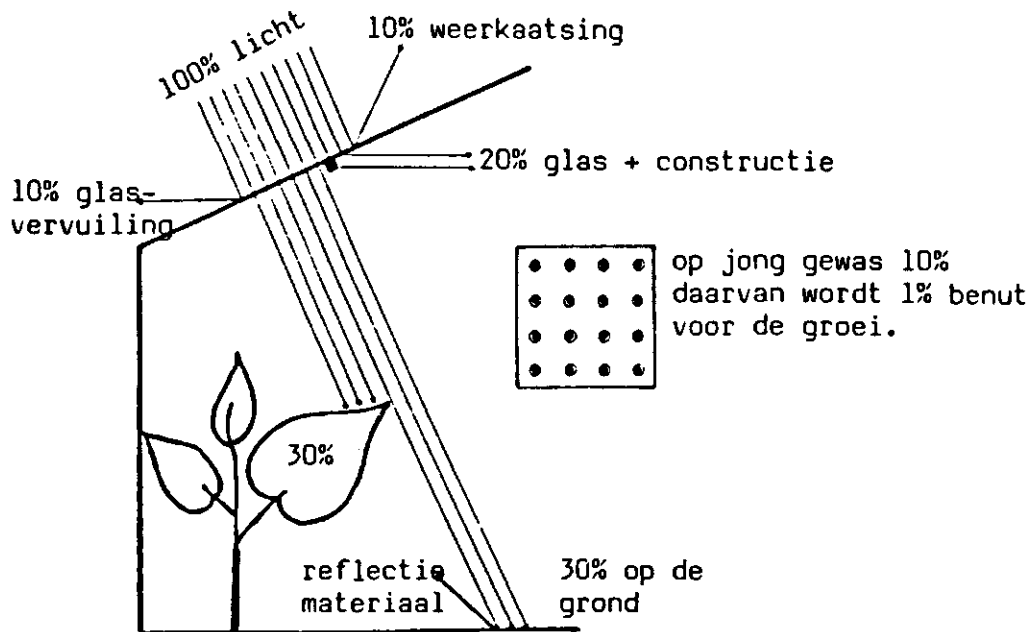
Onder platglas werd één laag blad geteeld, want de planten groeiden op de grond. In de komkommerkasjes werd het blad ook in één laag geteeld, maar nu langs het glas. De oppervlakte van het kasdek was veel groter dan de bodemoppervlakte. Er werd dus meer licht opgevangen, waardoor de produkties hoger waren. Daarna is men komkommers gaan telen in Venlo-kassen. Nu niet meer langs het glas, maar door de gehele ruimte met blad te vullen. Daardoor werd nog meer licht opgevangen want het licht dat door een bladlaag heen valt wordt door de volgende opgevangen, enzovoort. Opnieuw werden de produkties hoger. Als de gewasopbouw het toelaat moet het blad dan ook zo regelmatig mogelijk door de ruimte worden verdeeld. Bij sla en potplanten lukt dat niet maar bij opgroeiende gewassen is dat goed te bereiken, bijvoorbeeld tomaat, roos en dergelijke.

#### 4.2.2. Lichtbenutting

Voor de lichtbenutting is het niet alleen bepalend hoe het blad door de ruimte is verdeeld, maar er is om te beginnen al veel verschil in de lichtdoorlatendheid van verschillende kassen. In figuur 28 is een schematische voorstelling gegeven van de lichtboekhouding.

Een kas moet al voordelig zijn geconstrueerd om 70% van het licht door te laten. We moeten er dan ook in de eerste plaats op bedacht zijn dat het glas zo schoon mogelijk is. Van het licht dat dan de kas binnenkomt gaat meestal weer een groot deel verloren, doordat het op de grond valt. Het doet dan niet anders dan de grond verwarmen. Door reflecterend materiaal kan weer een gedeelte van het licht dat op de grond valt, ten goede komen aan de plantengroei.





Figuur 28. Licht en de kas. In een gunstig geval kan er 70% binnen de kas komen. Er komt dan soms maar 30% op de plant

Het licht dat op de plant valt, komt echter voor maximaal 10% ten goede van de groei (zie pagina 9, figuur 2). Als dus 30% van het licht in het gewas wordt opgevangen, zal ten opzichte van het licht dat op de kas valt, slechts 3% ten nutte komen van de groei. Als een jong gewas freesia's juist boven de grond staat, of jonge anjers zijn geplant, wordt veel minder dan 10% van het licht opgevangen door de plant. Er komt dan minder dan 1% tot zijn recht voor de groei. Moeten we dat nog proberen te verbeteren? Het lijkt immers hopeloos. We moeten zeker alles in het werk stellen om licht op te vangen. Als u door een snellere Bladgroei 15% licht kunt opvangen in plaats van 10%, dan is dat 50% beter! Een betere benutting van het licht is dan ook meestal eerder te bereiken door vergroting van het bladoppervlak dan door het bouwen van een lichtere kas.

#### 4.3. Functies van het licht

Tot nu toe is alleen gesproken over het effect van licht op de groei (fotosynthese) en in het tweede hoofdstuk over het verbruik van lichtenergie voor de verdamping van water. Het licht heeft echter veel meer effecten op het plantenleven. Allereerst de vormbepalende werking van het licht (formatief effect). Een andere invloed die velen kennen is de daglengte-werking (fotoperiodisch effect). Tenslotte wordt de fotosynthese beïnvloed door het licht. Het gaat dan om de energie in het licht. Er is een groot verschil tussen de lichtinvloed op plantvorm/daglengte en het effect van het licht op de fotosynthese. Al bij heel lage lichtintensiteiten treden vormbepalende en daglengte-invloeden op. Bij veel licht wordt die invloed niet sterker. Dit is juist wel het geval bij de fotosynthese, die

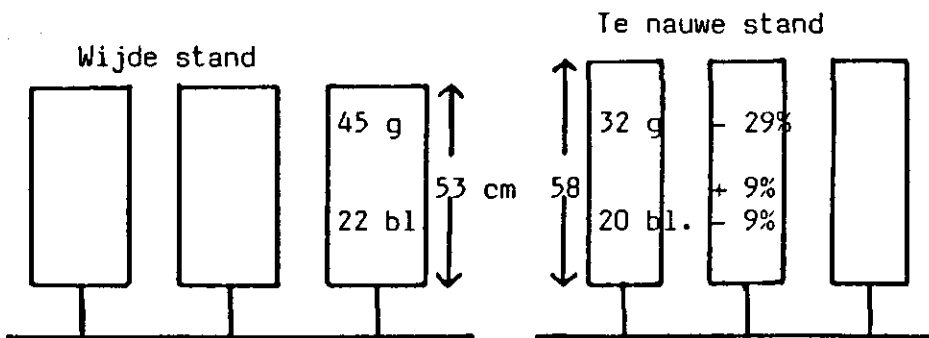
sneller gaat verlopen naarmate er meer licht is.  
We willen de drie hier genoemde invloeden afzonderlijk toelichten.

#### 4.3.1. Vormbepalende invloed

Dat het licht een zeer sterke invloed heeft op de vorm van de plant blijkt duidelijk uit het simpele voorbeeld van de kieming van aardappelen. Zolang de stengel onder de grond zit, strekt hij zich zeer snel tot de oppervlakte bereikt is. Dan blijft de strekking plotseling achterwege en de stengels worden, vooral als het nog koud is, zeer gedrongen. De oorzaak is de afbraak van een bepaalde groeistof (hormoon) in de plant onder invloed van het licht. Dit hormoon stuurt de celstrekking. Een soortgelijk verschijnsel is de buiging van planten naar het licht toe als ze bijna in het donker staan. De groeistof wordt minder werkzaam aan de zijde waar het licht vandaan komt. Het gevolg is dat de bladeren zich op het licht richten. De groei wordt daardoor bevorderd want het gevolg is dat meer licht wordt opgevangen.

Een belangrijk aspect van de vorm van een plant is de lengte. In veel gevallen, vooral bij sierplanten, wordt een grote lengte als negatieve eigenschap ervaren. De lengtegroei wordt al beperkt door zeer lage lichtintensiteiten, maar toch wordt de plant dan dikwijls langer dan ons lief is. Hogere intensiteiten werken verkorting in de hand, maar dan is blauw licht gunstiger dan rood licht. Als de zon laag staat is er meer rood licht (winter) en zijn de planten langer. Tomatenplanten van 10 g versgewicht waren in december 28 cm lang en in april 16 cm.

Een methode om de lengtegroei van planten te belemmeren is het uitzetten voor een betere belichting. Wat dit in cijfers betekent is weergegeven in figuur 29.



Figuur 29. Vormverandering van tomatenplanten. Door een nauwere stand worden de planten iets langer, veel lichter en leggen iets minder bladeren aan.

Opvallend is dat het gewicht veel meer afneemt dan de lengte toeneemt. Het aantal bladeren neemt minder af dan het gewicht, wat inhoudt dat de bladeren kleiner worden.

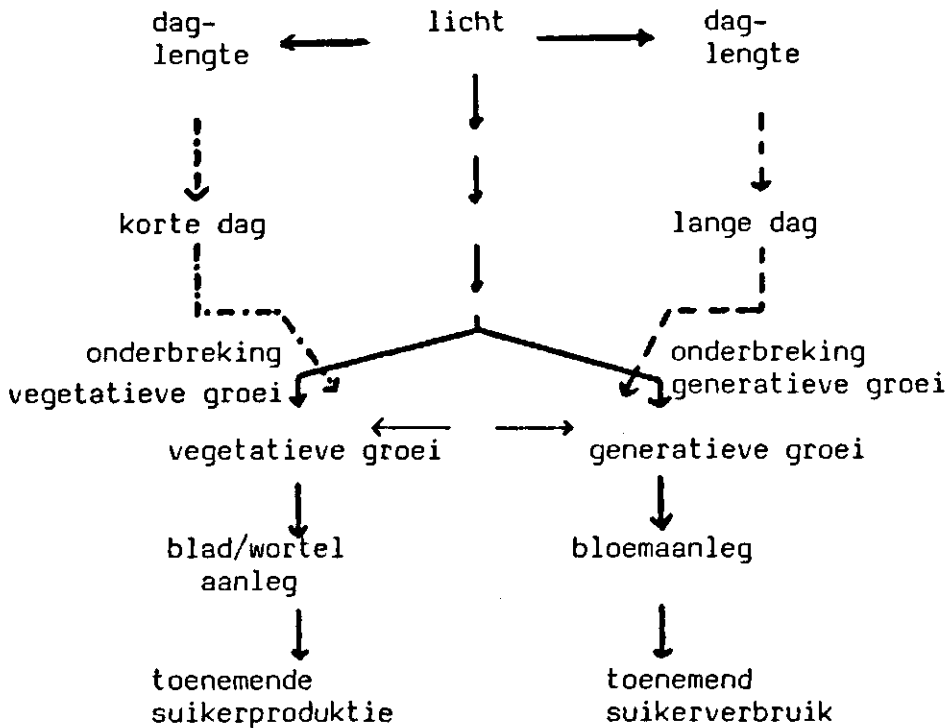
Dat de groei van de bladeren duidelijk wordt beïnvloed blijkt onder meer bij sla. Bij veel licht zijn de bladeren naar verhouding breed. Bij minder licht wordt het blad niet in de eerste plaats korter, maar vooral smaller. Doordat de bladstelen zichtbaar worden

krijgt de onderkant van een slakrop een "graterige" aanblik.

#### 4.3.2. Daglengte-invloed

Sommige gewassen zijn bij hun ontwikkeling gevoelig voor het aantal donkere en lichte uren per dag. Men noemt dit verschijnsel fotoperiodiciteit. We zullen er slechts zeer beknopt iets over zeggen. Planten hebben eerst een zogenaamde jeugdfase, waarin bloemaanleg helemaal niet mogelijk is. Zaailingen van sommige houtige gewassen zijn soms ettelijke jaren oud voordat bloemaanleg plaatsvindt. Als ze dan tot bloemaanleg in staat zijn, zijn lang niet alle planten daglengtegevoelig. Ongevoelige planten noemt men daglengte neutraal. De gevoelige planten zijn globaal in te delen: planten die bloeien bij een lange dag (LD), en planten die bloeien bij een korte dag (KD). Er zijn echter talloze overgangen. Zelfs binnen een soort (bijvoorbeeld chrysant) zijn lang niet alle variëteiten op dezelfde manier gevoelig. Sommige chrysanten bloeien midden in de zomer. Er zijn ook mengvormen bekend. Zo is de aardbei een KD-plant wat de bloemaanleg betreft, dit gebeurt namelijk in de herfst. Er zijn echter lange dagen nodig om de aangelegde knoppen te doen uitlopen. Vandaar dat men in de praktijk bij het forceren van aardbeien in kassen kunstlicht gebruikt voor daglengtevergroting. Niet alleen KD of LD zijn van invloed op de bloemaanleg, dikwijls is dat weer gecombineerd met andere groeifactoren zoals bijvoorbeeld de temperatuur. De planten hebben dan bijvoorbeeld winterkoude nodig (vernalisisatie). Dit is ook bij aardbei tussen bloemaanleg en bloemuitgroei het geval.

In de praktijk van het telen is de chrysant een goed voorbeeld van daglengte beheersing het hele jaar rond. Als ze vanwege de natuurlijke LD-periode niet willen bloeien, worden ze verduisterd en als ze in de natuurlijke KD-periode eerst een stengel moeten vormen, worden ze belicht. De omschakeling naar bloemaanleg heeft een grote invloed op het gebruik van suikers. De bloemaanleg kost namelijk zeer veel droge stof doordat in een zeer korte tijd enorme aantallen bloemdelen moeten worden gevormd (zie 3.2.3. en figuur 30). Dit gaat bij weinig licht ten koste van de wortelgroei. De bloem zelf is dan ook meestal slecht van kwaliteit. Dit tracht men weer te verbeteren door onderbreking met LD. Dit stopt tijdelijk de bloemaanleg zodat de plant weer wat op verhaal kan komen. Een ander zeer algemeen effect van daglengte in de natuur is de winterrust. Als de dagen korter worden gaan de overjarige planten in rust, de knoppen worden afgesloten, het blad valt af. Let eens op een populier bij een straatlantaarn. De takken vlak onder de lamp houden langer blad. Zo gaat normaal ook de roos in rust, maar door stoken dwingen we de plant tot doorgroeien. Soms lukt dat niet helemaal en valt toch nog veel blad af. Zo is het ook tegennatuurlijk dat we een anjergewas de gehele winter door willen laten produceren.



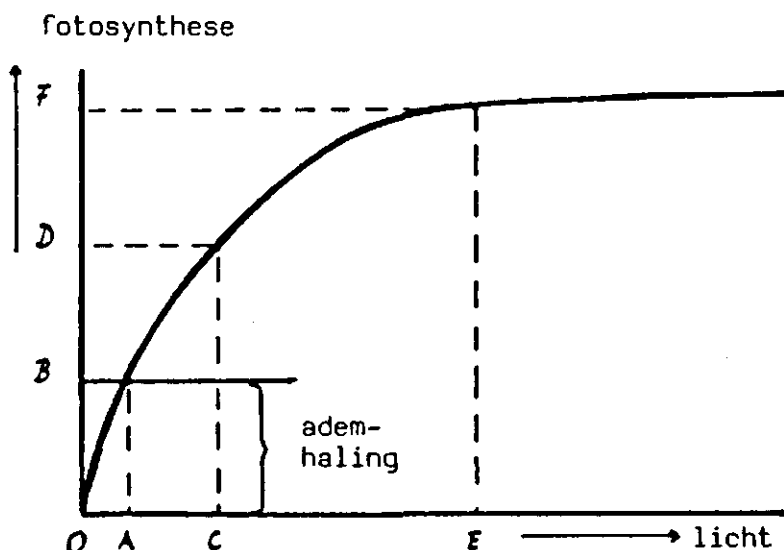
**Figuur 30.** Daglengte-bloemaanleg-fotosynthese. In de korte-dag-plant wordt de bladaanleg geblokkeerd, door korte dagen, de bloemaanleg begint. Als er weinig suikers zijn ('s winters) kan door onderbreking met lange dagen, de plant wat op verhaal komen.

#### 4.3.3. Licht als energiebron

Tenslotte wat algemene opmerkingen over het licht als energiebron voor de produktie van droge stof. Hoe meer licht een blad opvangt hoe meer droge stof wordt gevormd. Dit gaat echter wel gepaard met een afnemend rendement (figuur 31).

Het is net als met een auto: hoe harder je rijdt, hoe meer benzine per km nodig is. Als het licht toeneemt van 0 tot A gaat de fotosynthese in dit voorbeeld snel omhoog (tot B). Geven we driemaal zoveel licht (tot C), dan verloopt de fotosynthese maar tweemaal zo snel, namelijk tot D. Wordt weer driemaal zoveel licht gegeven (tot E), dan komt er maar weer evenveel fotosynthese bij (tot F). Er moeten dus steeds grotere lichthoeveelheden worden gegeven voor dezelfde hoeveelheid fotosynthese. Nog meer licht helpt dan bijna niet meer.

De plant gebruikt direct een hoeveelheid suiker voor de ademhaling. Daarvoor is de hoeveelheid licht nodig tot A. Pas wanneer er meer licht is dan bij A is er een netto-overschot aan fotosynthese. Men noemt A het lichtcompensatiepunt. Bij lage lichtintensiteiten is de netto fotosynthese dus laag (zie 3.1.3.). De groeimogelijkheden zijn dan ook gering. Dat blijkt duidelijk bij tomaat, er is in de winter zelfs geen energie genoeg voor een goede bloei.



Figuur 31. Licht en fotosynthese. Hoe meer licht, hoe lager het rendement wordt. Er is pas een mogelijkheid voor groei als de fotosynthese groter is dan de ademhaling: lichtcompensatiepunt (A).

Als de dagen lengen, komt er veel meer licht. De zon gaat langer schijnen en geeft per uur meer energie door een hogere zonnestand. De lichthoeveelheid neemt daardoor toe van winter tot zomer van 1 : 10. Het rendement van het toenemende licht neemt sterk af. Een ander energie-effect van het licht is de omzetting van straling in warmte (het kaseffect, zie 4.1.2.). In principe is de energie dan voor de groei verloren. We komen hierop weer terug als we het effect van de temperatuur bespreken. Er is uiteraard een samenhang tussen licht en temperatuur. Dit is één van de oorzaken dat een grotere lichthoeveelheid ook een grotere snelheid oplevert. Er worden veel suikers geproduceerd en daarmee worden veel meer bladeren gevormd om de suikers te verwerken.

Hierna willen we de energiewerking van het licht nader uitwerken, ook met betrekking tot de dagelijkse gang en het seizoen en de invloed van lichtonderschepping en belichting.

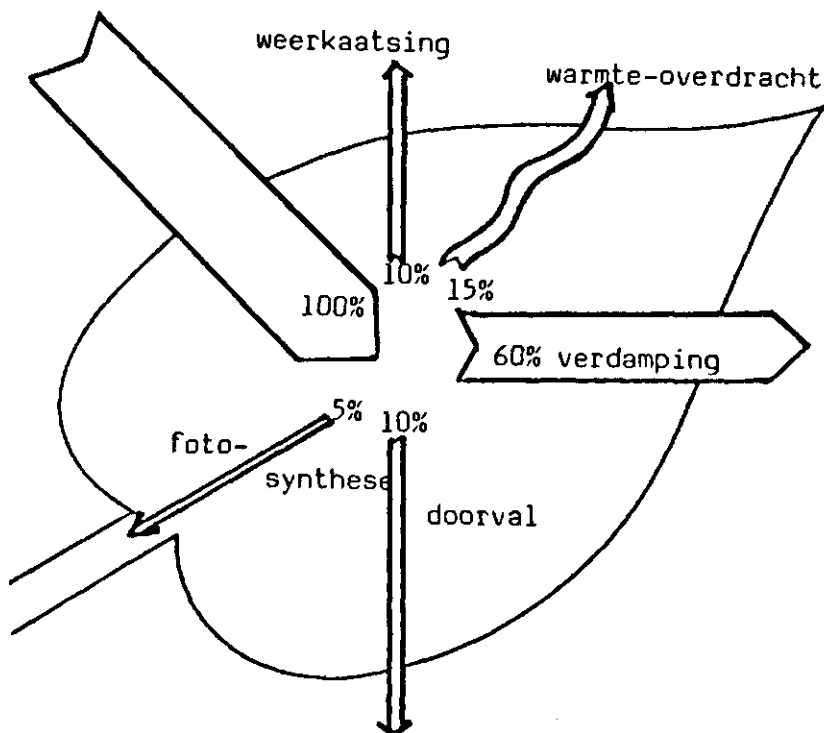
#### 4.4. Licht op de plant

De lichtenergie moet op het blad worden opgevangen. Het maakt dan wel veel verschil uit of we een individueel blad bekijken of een heel gewas.

##### 4.4.1. Licht op een blad

In figuur 32 is schematisch weergegeven wat er met de energie gebeurt die op het blad valt.

Als we uitgaan van 100%, dan blijkt direct dat de meeste energie in de verdamping gaat zitten. Het kan zelfs oplopen tot 70% (zie 3.4.2.). De verdamping ontstaat vooral door verhoging van de blad-



Figuur 32. Energie-huishouding van een blad. Slechts een zeer gering deel van de straling wordt benut voor de fotosynthese.

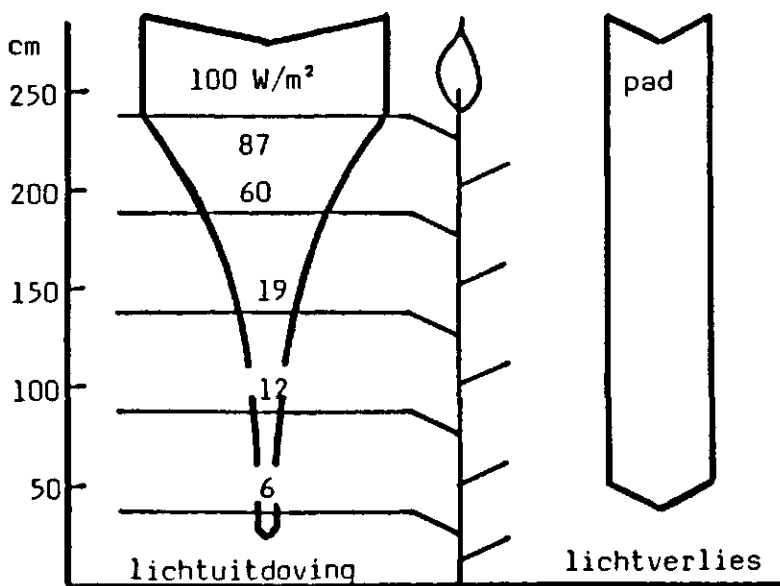
temperatuur. De verdamping voorkomt wel dat de bladtemperatuur nog hoger zal oplopen: verdampingskoeling. Een hogere temperatuur heeft ook directe overdracht van warmte tot gevolg. Alleen een volkomen dof zwart oppervlak kan alle straling absorberen. Een blad werkt dus altijd enigszins als een spiegel. Een deel van het licht kan dus worden teruggekaatst, maar kan door een ander blad weer worden opgevangen. Datzelfde geldt voor het licht dat door het blad heen valt. De percentages geven slechts een indruk van de onderlinge verhoudingen. De getallen kunnen best wat verschuiven. Dan blijft echter overeind dat voor de fotosynthese het kleinste deel van het licht wordt benut: niet meer dan 5%!

In de praktijk zal het op een enkel blad dikwijls nog minder zijn dan 5%. In paragraaf 2.2.1. (figuur 2) hebben we gesteld dat tot 10% van het licht voor de fotosynthese kan worden gebruikt. Dat geldt zeker niet voor een enkel blad, maar alleen in het allergunstigste geval voor een heel gewas waarin het ene blad opneemt wat een ander blad terugkaatst of doorlaat.

#### 4.4.2. Licht in een gewas

In figuur 33 is schematisch in beeld gebracht hoe de uitdoving van het licht in het gewas tot stand komt.

Als het onderste blad alle licht zou onderscheppen, dan zou het daaronder donker zijn. Bij te veel blad gaat dan ook het onderste blad dood. Dat geeft geen nadeel aan de plant doordat afstervende bladeren eerder reserves aan de plant afgeven dan dat ze zouden "parasiteren". Als de suikerproductie juist iets groter is dan voor



Figuur 33. Lichtonderschepping in een gewas. Per  $1 \text{ m}^2$  grondoppervlak is circa  $5 \text{ m}^2$  bladoppervlak nodig voor een optimale lichtonderschepping door het gewas.

de ademhaling nodig is (lichtcompensatiepunt), blijft het blad in functie. Voor een maximale lichtbenutting is circa  $5 \text{ m}^2$  blad nodig per  $\text{m}^2$  grondoppervlak. Liefst moet het blad zo regelmatig mogelijk over de ruimte zijn verdeeld. Dit is bijvoorbeeld het geval bij een gewas komkommers dat aan de draad is getopt. Tomaat en roos zullen bij een normale plantdichtheid circa 1.5 meter hoog moeten zijn. Chrysant en anjer hebben bij een volgroeid bed meestal te veel blad. Het blad gaat dan ook onderin gemakkelijk dood. Sla heeft misschien in volgroeide toestand ook wel genoeg blad, maar de verdeling is zeer slecht.

Paden zijn in principe fout. Vooral bij lage gewassen (sla) valt dan het licht direct op de grond. Is een gewas enkele meters hoog dan wordt tussen de rijen nog veel licht opgevangen. Een hoge draad-teelt van tomaten is om die reden voordelig. Voor een maximale fotosynthese per  $\text{m}^2$  kas zijn paden al gauw te ruim. Daarin is het voordeel van roltafels gelegen. De investering wordt mede betaald door vergroting van de teeltoppervlakte.

Tussenplanten bij tomaat bijvoorbeeld is dan ook voordeliger dan het gewas helemaal verwijderen, doordat het geruime tijd duurt voordat de kas weer met blad is gevuld. In die tussentijd gaat veel licht verloren.

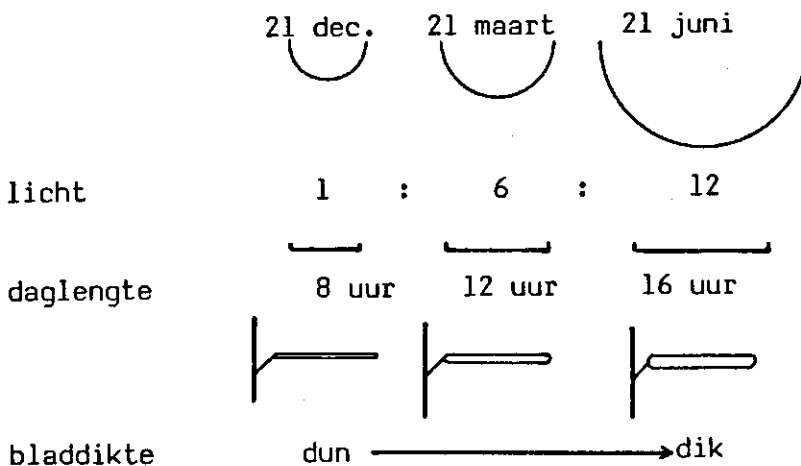
In het algemeen hangt de belichting van een gewas dus zeer nauw samen met de gewasdichtheid. Onder de verschuivende omstandigheden van winter naar zomer zou de gewasdichtheid kunnen toenemen. Bij verschillende teelten gebeurt dit min of meer vanzelfsprekend, doordat in de winter met een klein plantje wordt gestart, wat met het seizoen "meegroeit" tot de kas vol is, bijvoorbeeld bij vroege stooktomaten. Dit gewas heeft echter begin maart de kas al volgroeid. Daarna zouden misschien nog meer planten per  $\text{m}^2$  kunnen worden toegestaan, bijvoorbeeld door een aantal zijscheuten aan te houden.

#### 4.4.3. Licht en groei

De lichtonderschepping door blad en gewas moet leiden tot groei. Het seizoen heeft dan ook een overwegende invloed op de groei. Hoe minder licht er is, hoe langer een plant er over doet om een bepaald stadium te bereiken. Tussen 21 november en 21 januari wordt slechts 3% van het jaarlijks licht ingestraald. Er kan dus bijna niets groeien, zelfs al is het rendement van het licht 's winters het beste. De plant heeft dan de grootste moeite om normaal te groeien. Er is al gauw licht te weinig voor een goede bloei. De winter moet dus worden benut om blad te laten groeien. In het voorjaar kan dat blad dan de toenemende lichthoeveelheid opvangen en de bloemen of vruchten grootbrengen.

Steeds vroeger met de teelt beginnen helpt alleen zolang de lichtbeperking niet te groot is. Als de tomaat te vroeg wordt geteeld komt de vruchtontwikkeling niet op gang. Als we in februari steeds grotere planten poten, levert dat een steeds vroegere opbrengst op, want grotere planten betekent teeltvervroeging door een vroeger startpunt (zie pagina 29, figuur 11). Doen we hetzelfde in december dan helpt het niet, de planten zijn dan aan vruchtzetting toe voordat er licht genoeg is. Vroeger beginnen betekent dan alleen maar meer blad.

De lichthoeveelheid neemt toe van 1 : 12 van de winter naar de zomer, de groei echter van 1 : 3. Dit heeft twee oorzaken. In de eerste plaats neemt het rendement steeds verder af naarmate er meer licht komt (figuur 31). De daglengte neemt nog toe, dus zou er meer groei moeten komen. Dit wordt echter weer versluierd doordat de planten hun blad steeds dikker gaan maken (figuur 34).



Figuur 34. Afnemend lichtrendement. Het lichtrendement neemt af bij toenemende lichthoeveelheden wat nog verergerd wordt door de afnemende bladoppervlakte per gram plantgewicht.

De bladoppervlakte wordt steeds kleiner waardoor minder licht wordt opgevangen. In de winter is niet alleen het rendement van het licht beter, maar de plant maakt ook nog meer blad per gram droge stof (dunner blad). De stofverdunning (zie pagina 11, figuur 3) wordt dus steeds groter.



#### 4.5. Invloed van natuurlijke lichtverschillen

De groei is zeer sterk afhankelijk van de lichthoeveelheid. Daardoor wordt de groei ook zeer sterk beïnvloed door het seizoen. Het seizoen wordt bij de teelt in kassen in hoofdzaak bepaald door lichtverschillen, maar ook elke dag verloopt het licht van donker naar licht en terug. Aan de invloed van de dagelijkse en jaarlijkse lichtgang willen we hierna aandacht geven waarbij ook de aanpassingen van de plant aan de orde komen.

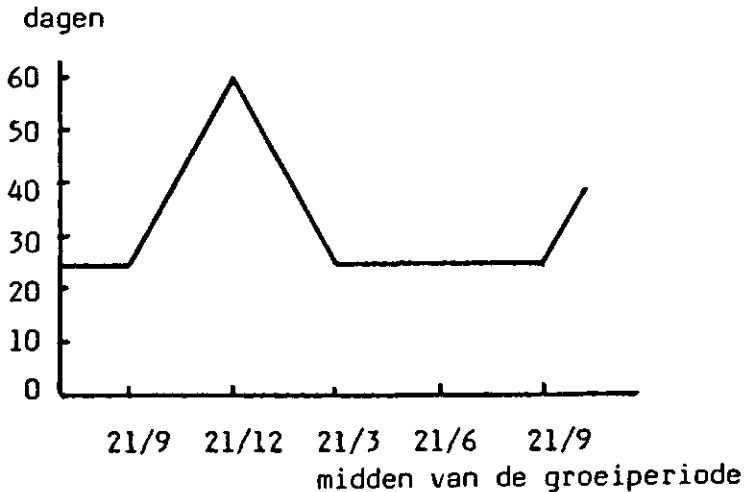
##### 4.5.1. Dagelijks lichtverloop

Het belangrijkste gevolg van de dagelijkse loop van de zon voor de plant is het grote energieverval, vooral op een zomerdag. In een tijdsverloop van enkele uren vindt een overgang plaats van donker tot zeer hoge lichtintensiteiten, gepaard met grote temperatuurverschillen. De plant kan dat opvangen, maar er treden wel grote snelheidsverschillen op in allerlei processen in de plant. Dit geldt in het bijzonder voor de fotosynthese, maar ook voor alle vervolprocessen. Als goed voor de plant wordt gezorgd, leveren deze sprongen geen moeilijkheden op. Het maakt wel verschil uit hoe de plant het licht gedoseerd krijgt. In een proef werd sla geteeld bij een constante hoeveelheid licht gedurende de gehele dag en bij een steeds stijgende en daarna afnemende lichthoeveelheid. De totale energie-hoeveelheid was in beide gevallen gelijk. Sla groeide beter bij constant licht. Het lagere groeirendement van de lichttoppen is hiervoor de verklaring. Er zijn ook planten die lichtpieken helemaal niet verdragen, bijvoorbeeld Anthurium. Gaat men deze planten nu schermen met een vast krijtscherm dat 50% licht onderschept, dan worden de pieken wel lager, maar er komt ook minder licht op de plant als er niet te veel licht is. Dat kost groei. Er zou alleen automatisch boven een bepaalde lichtintensiteit moeten worden geschermd.

Erger is het als chrysanten een kortedagbehandeling krijgen (daglengte-invloed); dan krijgt de plant wel de piekbelasting te verwerken midden op de dag. 's Morgens en 's middags wordt abrupt een einde aan de dag gemaakt. 's Zomers blijft er dan nog wel genoeg licht over voor één goede produktie, maar in de winter is elke lichtvermindering nadelig. Door de kortedagbehandeling heeft de plant juist meer licht nodig voor de knopaanleg (zie 3.2.3.).

##### 4.5.2. Seizoenverloop

Onder "Licht en groei" (zie 4.4.3.) hebben we al iets over de invloed van het seizoen op de groei gezegd. De lichthoeveelheid verloopt zeer sterk, namelijk van de winter naar de zomer ongeveer van 1 op 10. Van slechts enkele gewassen is onder Nederlandse omstandigheden de groei het jaar rond gemeten. We nemen tomaat als voorbeeld omdat daarvan het meest bekend is. Veelal zullen andere planten op een soortgelijke manier reageren.



Figuur 35. Invloed van het seizoen. Groeiduur bij tomaat het jaar rond, vanaf zaaien tot een versgewicht van 20 g.

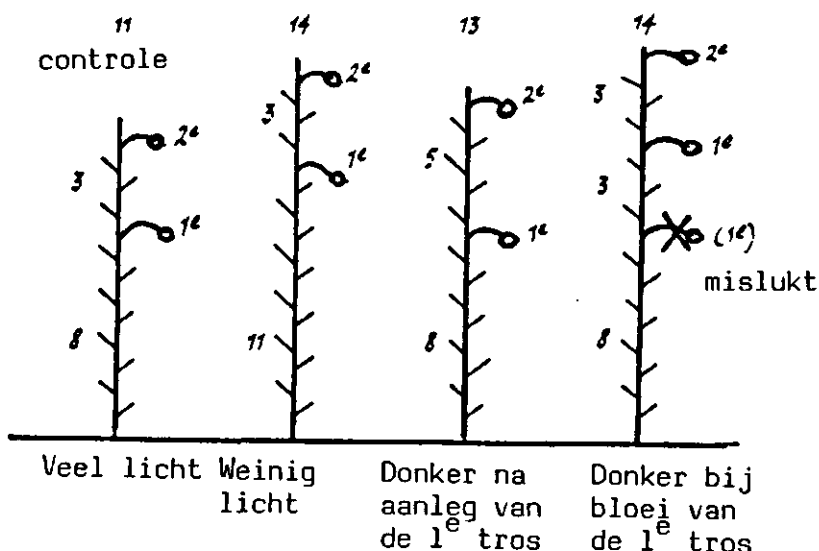
In figuur 35 is weergegeven hoeveel dagen een tomatenplant groeide vanaf zaaien tot 20 g versgewicht. Midden in de winter deed een tomatenplant er circa 60 dagen over om een versgewicht van 20 g (pootbaar) te halen. Deze plant groeide dan tussen 21 november en 21 januari. U moet dus aan het midden van de groeiperiode denken. De groeiduur loopt dan af tot circa 24 dagen bij groei rond 21 september of 21 maart. Het seizoen heeft dus een zeer grote invloed op de groeiduur. Deze nam in deze proef toe van 1 : 2.5. Het licht loopt van 1 naar 5 ongeveer. Dus 1% meer licht is maar 0.5% meer groei, door het afnemende lichtrendement en het dikker wordende blad (figuur 34). Het is in hoofdzaak een lichteffect, want de verschillen waren bij hoge en lage temperaturen ongeveer gelijk. Na 21 maart is de groei nagenoeg constant tot 21 september. Het seizoen heeft dan geen invloed, hoewel de lichthoeveelheid nog tweemaal zo groot wordt. Het licht neemt van 21 maart tot 21 juni toe van 1 : 2. De produktieverbetering is echter kleiner dan 1 : 2. We vinden dan ook meestal dat 1% lichtverschil minder dan 1% plantengroeiverschil tot gevolg heeft.

#### 4.5.3. Aanpassing in de plant

We hebben al enkele keren gesteld dat de plant onder invloed van de lichtverschillen aanpassingen vertoont met betrekking tot de bladgrootte. Vanuit het midden van de zomer wordt het blad in het voor- en najaar (als voldoende wordt gestookt), groter en dunner. Midden in de winter wordt het blad dan bovendien kleiner. De tomaat vertoont nog een extra aanpassing (figuur 36) namelijk de aanleg van een groter aantal bladeren voordat de bloemtros wordt aangelegd.

De plant kan dan toch weer voldoende licht opvangen op het moment dat de eerste tros verschijnt. Deze aanpassing komt zelfs nog voor nadat de eerste tros al is aangelegd. Als bijvoorbeeld door veel licht bij een vrij lage temperatuur de eerste tros laag zit en de plant daarna bij hogere temperatuur en weinig licht verder wordt

Bladeren onder de tweede tros:



Figuur 36. Plantaanpassingen, tomaat. Bij minder licht worden de eerste en tweede tros hoger aangelegd. De eerste kan ook geheel mislukken. Alle aanpassingen hebben een groter bladoppervlak per tros tot gevolg.

gekweekt, dan komt de tweede tros die normaal na drie bladeren wordt aangelegd, pas na vijf bladeren.

Een andere aanpassing bij de tomaat is de mislukking van de eerste tros als er te weinig licht is op het moment dat de bloem zou moeten bloeien. Het bladapparaat levert dan geen bouwstoffen genoeg. Trosmislukking komt dan ook minder voor naarmate er meer bladeren onder de eerste tros zijn aangelegd. Als de groei wordt geremd zal de bloei wel tot stand komen doordat minder suikers voor de groei nodig zijn.

Andere planten vertonen soms soortgelijke aanpassingen. Vooral het effect van het seizoen op bladgrootte en bladdikte is algemeen bij veel planten die we telen.

Als er extra veel licht is valt het rendement ervan tegen. Het ontbreekt de plant dan kennelijk aan aanpassingsmogelijkheden.

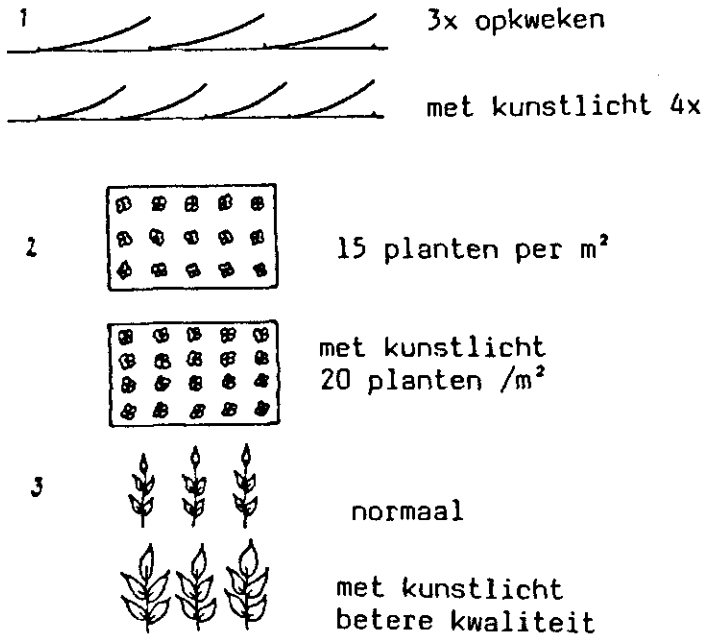
#### 4.6. Invloed kunstmatige lichtverschillen

We veroorzaken bij het telen op allerlei manieren verschillen in de hoeveelheid licht die op een plant valt. Het eerst moeten we daarbij denken aan lichtvermindering. Zolang we in kassen telen onderwerpen we de planten aan een bepaalde mate van beschaduwing en dat wordt nog versterkt door dubbel glas, energiescherm en dergelijke. Bij lichtvermeerdering denken we aan kunstlicht wat soms bij de teelt van planten wordt toegepast. Planten kunnen zelfs geheel zonder daglicht groeien met alleen kunstlicht als energiebron.

##### 4.6.1. Toepassing van kunstlicht

Bij de toepassing van kunstlicht zijn twee soorten effecten moge-

lijk. Het telen kan bijvoorbeeld door toevoeging van kunstlicht wat beter of sneller plaatsvinden. Het kan echter ook zijn dat het in de winter zonder kunstlicht nagenoeg niet lukt en met kunstlicht wel. We denken bij dit laatste aan belichting van lelies die in de winter normaal zeer gemakkelijk hun knoppen laten vallen. Met wat kunstlicht gebeurt dit niet. Het lijkt er op dat deze drempel ook met een hormoonbehandeling kan worden genomen. Er zijn duidelijk drie aspecten te onderscheiden bij de groeibevordering door kunstlicht (figuur 37).



Figuur 37. Invloed van kunstlicht. Sneller (1) of meer (2) bij gelijke kwaliteit, of even snel en evenveel, maar van betere kwaliteit (3). In de praktijk: een mengsel van 1, 2 en 3.

Door meer licht kan de groei sneller verlopen. We hebben dus eerder een bepaald stadium bereikt. Zo kunnen we door temperatuuraanpassing bij kunstlicht bijvoorbeeld viermaal komkommers opkweken in plaats van driemaal in een winter. Een winst van eenderde. Een ander aspect is de plantdichtheid. We kunnen bijvoorbeeld eenderde meer planten per m<sup>2</sup> zetten. Het gaat dan niet sneller, want het meerdere licht wordt verdund over meerdere planten. In beide voorgaande gevallen blijft de plantkwaliteit gelijk. Het is ook mogelijk alleen maar meer licht te geven. De planten worden in dezelfde tijd, met dezelfde plantdichtheid, steviger en groter. Er is dus wel een kwaliteitsverbetering. Meestal zal het in de praktijk neerkomen op een mengsel van deze drie effecten: wat sneller, wat meer en wat beter.

Belangrijk is in alle gevallen dat vooral 's nachts wordt belicht. Het rendement van licht is immers het hoogst bij lage intensiteiten (figuur 31). Een plant "ziet" het licht min of meer als onze ogen. Een kaars in een donkere kamer is al veel licht, maar dezelfde kaars als de zon schijnt, valt niet meer op. 's Nachts belichten kan soms niet bij daglengte-gevoelige planten. Het gaat ook niet

helemaal bij tomaat. Deze plant moet beslist vier uur donker staan, anders is de groei zeer slecht.

We moeten er tenslotte op bedacht zijn dat onder de lampen de planttemperatuur nogal eens wat hoger zal zijn dan bij onbelichte planten. De oorzaak is de stralingswarmte van de lampen.

Het is mogelijk planten te telen bij uitsluitend kunstlicht. Het is echter soms vrij moeilijk om een even goede plant te telen als bij daglicht. Telen bij kunstlicht alleen houdt in dat de ruimte zo sterk kan worden geïsoleerd, dat niet meer hoeft te worden gestookt. Lampen leveren uit de opgenomen energie echter driemaal zoveel warmte als licht. De overtollige energie zal dan ergens anders moeten worden aangewend. Het economisch rendement zal toch tegenvallen doordat alle (gratis) zonlicht wordt buitengesloten. Het zonlicht geeft vooral in het voorjaar in kassen een enorme voorsprong op de natuur, als slechts wat extra warmte wordt gegeven.

#### 4.6.2. Verhouding kunstlicht/daglicht

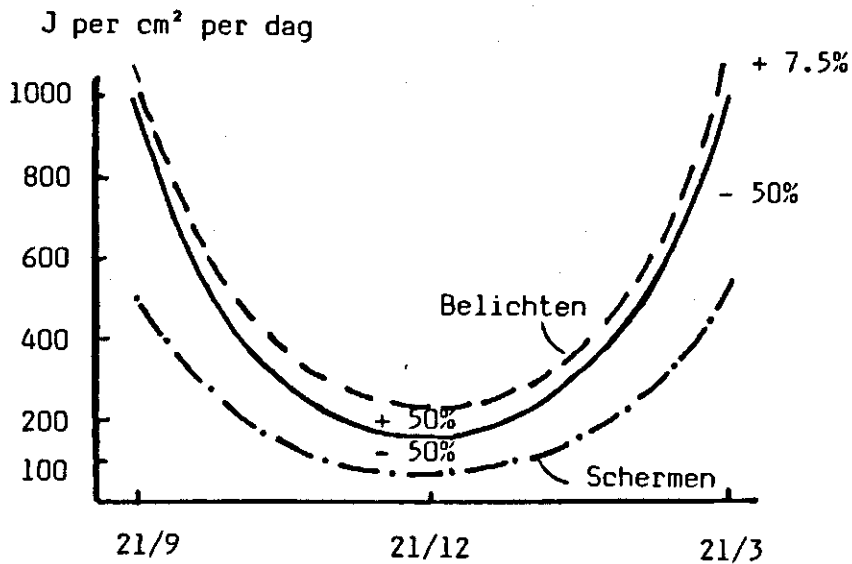
Als kunstlicht wordt gebruikt als aanvulling op daglicht geeft dat niet veel problemen. Het maakt ook niet uit welke lampsoort wordt gebruikt, zolang de kleuren wat over het rode en blauwe gebied van het spectrum zijn verdeeld (figuur 24). Bij de aanwezigheid van daglicht zal het rendement van een belichtingsinstallatie echter tegenvallen. Dat komt omdat de belichtingsinstallatie alleen in het midden van de winter zoveel licht geeft dat het naar verhouding van het daglicht enige betekenis heeft. In december geven we bijvoorbeeld circa 30% extra licht als we per 10 m<sup>2</sup> een lamp van 400 Watt dag en nacht laten branden. Dat wordt naar verhouding bij het toenemende licht steeds minder. Lampen moeten zich dus in twee maanden van het jaar terugverdienen. Voor hetzelfde geld kunnen we 1.000 m<sup>2</sup> belichting aanleggen of 500 m<sup>2</sup> nieuwe kas bouwen. Met de kas kunnen we dan wel 12 maanden het natuurlijke licht benutten en dat zal meestal voordeliger zijn. De planten kunnen namelijk op de extra 500 m<sup>2</sup> midden in de winter 50% ruimer staan en de rest van het jaar is deze ruimte extra beschikbaar.

#### 4.6.3. Lichtonderschepping

Doordat energie duur is, worden in kassen allerlei maatregelen getroffen om energie te besparen. Dit betekent nagenoeg altijd dat de lichttoetreding wordt beperkt. Dat geldt dan voor het gehele jaar bijvoorbeeld bij toepassing van dubbel glas. 's Zomers zal de groeibeperking daarvan niet zo groot zijn. De onderschepping is dan alleen 's morgens en 's avonds van belang. Gedurende de winter is het nadeel groter. Het effect van lichtonderschepping valt dan gauw tegen doordat het procentueel gelijk blijft. Bijbelichten valt ook tegen, maar juist doordat het procentueel steeds minder belangrijk wordt naarmate er meer licht komt (figuur 38).

De vraag wordt dikwijls gesteld hoeveel groeiremming optreedt door lichtonderschepping.

Het komt er globaal op neer dat 1% lichtverlies overeenkomt met 0.5% - 0.75% groeitijdverlies. Voor veel gewassen is dit echter nog niet proefondervindelijk vastgesteld. In de praktijk heeft men in



Figuur 38. Lichtonderschepping en belichting. Als op 21 december 50% kunstlicht wordt bijgegeven, is dat op 21 maart nog 7.5%. Als 50% wordt geschermd blijft dat 50%.

verschillende gevallen de ervaring opgedaan dat minder licht onder een dubbel kasdek helemaal geen achterstand leek op te leveren. Hierbij zullen twee zaken een rol spelen. In de eerste plaats verandert er meer dan alleen het licht. Het wordt bijvoorbeeld vochtiger en dikwijls iets warmer. Daardoor kan een bepaalde groeibeperking wat kleiner worden. Het kan ook zijn dat de plant zich aanpast aan de gewijzigde omstandigheden. Als de droge stof meer wordt verdund (groter blad) kan de plant toch nog evenveel licht opvangen. Bijvoorbeeld 10% minder licht kan worden gecompenseerd door 10% meer bladoppervlak.

Er is nog een andere mogelijkheid om de nadelen van lichtonderschepping te ontgaan. Als bijvoorbeeld voor een bepaalde teelt een plant wordt opgekweekt dan kan men ook 10% meer tijd voor de opkweek nemen door 10% vroeger te beginnen om zo over een langere periode evenveel licht te gebruiken.

## 5. INVLOED VAN DE TEMPERATUUR

In de laatste ronde van de beschrijving van de plantenfysiologie in de glastuinbouw, staat de invloed van de omstandigheden op de groei in het middelpunt. In het voorgaande hoofdstuk werd de lichtinvloed behandeld, nu volgt de invloed van de temperatuur op de plantengroei. Tot slot volgen dan de lucht om de plant en de waterhuishouding.

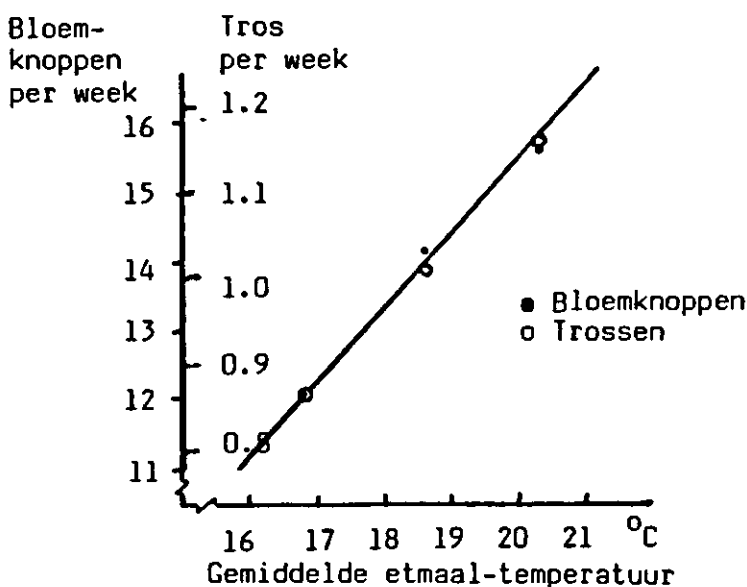
In dit hoofdstuk komen aan de orde de functies van de temperatuur en de invloed op de levensprocessen. Daarna de vraag hoe de temperatuur tot stand komt als gevolg van menselijk ingrijpen en tenslotte de samenhang met de natuurlijke temperatuurverschillen.

### 5.1. Functies van de temperatuur in de plant

Evenals het licht, heeft ook de temperatuur een aantal functies in het leven van de plant. Het belangrijkste aspect van de temperatuur is de beïnvloeding van de snelheid van vele processen in de plant. Ook de vorm van de plant wordt door de temperatuur beïnvloed, vooral de lengte. Tenslotte wordt de ontwikkeling van de plant dikwijls mede gestuurd door de temperatuur: thermoperiodiciteit.

#### 5.1.1. Temperatuur en snelheid

Veel processen in de plant worden door de temperatuur beïnvloed. Het betreft veelal chemische processen die sneller verlopen naarmate het warmer is. Er is een wezenlijk verschil tussen planten en warmbloedige dieren. De mens heeft bijvoorbeeld een eigen temperatuur, namelijk  $37^{\circ}\text{C}$ . Als onze temperatuur daarvan gaat afwijken,



Figuur 39. Temperatuur en snelheid bij tomaat geteeld bij 13, 17 en  $21^{\circ}\text{C}$  nachttemperatuur. Als de gemiddelde temperatuur stijgt van  $16^{\circ}\text{C}$  tot  $21^{\circ}\text{C}$  neemt de groeipuntsnelheid toe met circa 50%.

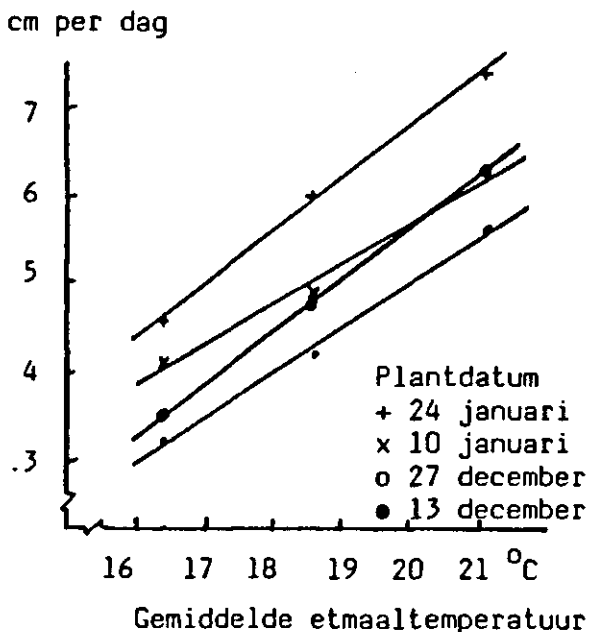
zijn we ziek. De planttemperatuur kan echter ongestraft op en neer

gaan met de omgeving (zie 3.4.1.). Er loopt dan niets fout in de plant als we binnen de grenzen blijven die voor die bepaalde plantensoort gelden. De groei verloopt echter wel sneller naarmate het warmer is en langzamer als het weer afkoelt. In figuur 39 geven we een voorbeeld van snelheidsverandering voor tomaat in het temperatuurgevoelige gebied.

Temperatuurverhoging of -verlaging heeft lang niet altijd hetzelfde effect. Dit hangt samen met de optima die voor de verschillende processen gelden. Er bestaan tussen 21 maart en 21 september in kassen grote temperatuurverschillen, maar de groeisnelheid van jonge tomatenplanten is de gehele zomer constant (zie pagina 64, figuur 35). Het verband tussen de temperatuur en het verloop van de processen is dus niet altijd gelijk. We zullen er daarom bij de afzonderlijke processen nader op terug komen.

### 5.1.2. Temperatuur en lengtegroei

Een tweede aspect van de temperatuur is de invloed op de vorm van de plant. Het meest in het oog lopend is daarbij de beïnvloeding van de lengtegroei. In het algemeen kan worden gezegd dat de lengte van planten in verhouding tot het gewicht toeneemt naarmate de temperatuur hoger is. Bij hogere temperaturen neemt de lengte dan meer toe dan het gewicht. In figuur 40 geven we een voorbeeld bij de teelt van komkommers.



Figuur 40. Temperatuur en lengtegroei bij komkommer, geteeld bij 12, 16 en 20° C nachttemperatuur.

Als de gemiddelde temperatuur stijgt van 16° C naar 21° C neemt de lengtegroeisnelheid toe met ongeveer 80%.

De gewichtsgroei nam veel minder snel toe.



De temperatuur heeft niet alleen invloed op de lengte-groei van de stengel. Ook de groei van het blad kan binnen bepaalde trajecten sterk door de temperatuur worden beïnvloed. Als het blad in het groeipunt bij lage temperatuur wordt gevormd, zal het meestal relatief kort en breed zijn. Duidelijk is dit waar te nemen bij de groei van sla en spinazie. Bij lage temperaturen zijn de bladeren min of meer rond en bij hoge temperaturen langwerpig.

De invloed van de temperatuur op de lengtegroei gaat dikwijls samen met effecten van lichtverschillen. Een combinatie van weinig licht en een hoge temperatuur geeft dus een extra stimulans voor de lengtegroei.

### 5.1.3. Thermoperiodiciteit

Een derde aspect van de temperatuurinvloed is het drempel-effect. Een bepaald proces ligt stil als de plant in rust is. Er kan een bepaald temperatuurniveau nodig zijn met een duidelijk omschreven tijdsduur, voordat het betreffende proces op gang kan komen. De winterrust van veel planten berust voor een groot deel hierop. Men noemt dit thermoperiodiciteit, zoals men de invloed van de daglengte fotoperiodiciteit noemt.

Een duidelijk voorbeeld van thermoperiodiciteit is vernalisatie. In de ontwikkelingscyclus van zaad tot bloem kan het soms nodig zijn dat de plant een koudeperiode doormaakt. Tweejarige planten groeien in de eerste zomer alleen vegetatief, denk aan spruiten. Na de winter gaan ze pas bloeien. Soms is het al voldoende als het geweekte zaad bij vrij lage temperatuur wordt geklemd. Andijvie is daarvan een voorbeeld. Koud gezaaid gaan de planten vroeg bloeien, warm gezaaid geven ze veel meer blad voordat de bloem wordt aangelegd.

Thermoperiodiciteit treedt soms op voor de kieming. Verschillende plantensoorten moeten een koudeperiode meegemaakt hebben om te kunnen kiemen. Zo blijven onkruidzaden in de herfst in rust om in het voorjaar te ontkiemen. Zulke onkruiden zullen in een gestookte kas alleen maar voorkomen als zij van buiten worden aangevoerd. Een andere kant van deze medaille is dat sommige planten niet ontkiemen als zij een warmtebehandeling hebben ondergaan. Sla kent bijvoorbeeld kiemrust na hoge temperaturen.

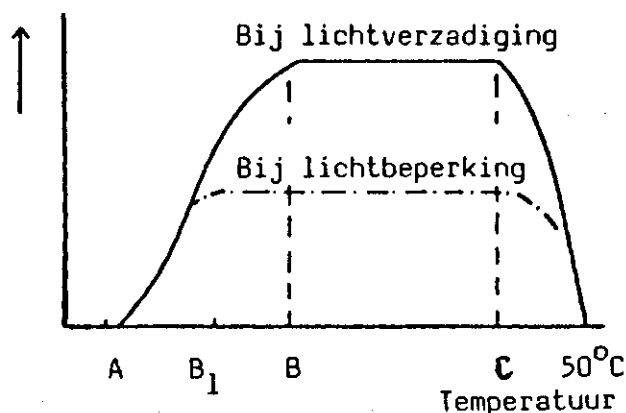
## 5.2. Temperatuur en de levensprocessen

Bij verschillende gewassen zullen als gevolg van temperatuurverschillen min of meer specifieke verschijnselen optreden. Hiervoor zou elk gewas apart moeten worden gezien, wat niet binnen het kader van deze publikatie valt. Voor de belangrijkste levensprocessen zullen daarom de temperatuureffecten meer in het algemeen worden beschreven.

### 5.2.1. Temperatuur en fotosynthese

In figuur 41 is het verband weergegeven tussen de temperatuur en de fotosynthese.

### Fotosynthese



Figuur 41. Temperatuur en fotosynthese. Eerst loopt de fotosynthese snel op met de stijgende temperatuur, maar daarna is er niet zoveel invloed meer. Bij zeer hoge temperatuur (boven circa 35° C) loopt de fotosynthesesnelheid terug en bij 50° C gaat de plant dood.

De temperatuur wordt steeds hoger van A naar C. Bij temperatuur A begint de fotosynthese op gang te komen. Hierbij is geen concrete temperatuur afgedrukt, want dat verschilt vrij sterk van gewas tot gewas. Bij A kunnen we voor sla en spinazie een vrij lage temperatuur invullen namelijk 5° C of iets lager. Voor komkommer zal het aanmerkelijk hoger moeten zijn dan 5° C.

Stijgt de temperatuur van A naar B, dan zal de fotosynthese evenredig met de temperatuur toenemen. Ook het temperatuurniveau van B is verschillend per gewas. Wordt de temperatuur verhoogd van B naar C dan zal de fotosynthese-snelheid niet veel meer veranderen. Bij C kunnen we voor de meeste planten een temperatuur invullen van 30 à 35° C. Het optimum temperatuurtraject voor de fotosynthese (temperatuur B tot C) is dus vrij breed. Dit geldt vooral voor planten die al bij een lage temperatuur beginnen te fotosynthetiseren. Bij bijna alle planten blijft de fotosynthese-snelheid optimaal tot 30 à 35° C. Natuurlijk moeten dan ook de andere groeiomstandigheden goed zijn. Dit wil nog niet zeggen dat sla bijvoorbeeld kan worden gestookt tot 30 à 35° C. Wel zal de fotosynthese snel blijven verlopen bij dergelijke hoge temperaturen, maar bij sla zal de vorm van de plant er zodanig door worden beïnvloed dat zulke hoge temperaturen teeltkundig niet haalbaar zijn.

Als de temperatuur boven 35° C oploopt kan de plant in moeilijkheden komen. De fotosynthese zal in elk geval niet meer toenemen. Bij 50° C worden het bladgroen en de celeiwitten onherstelbaar beschadigd zodat de planten doodgaan.

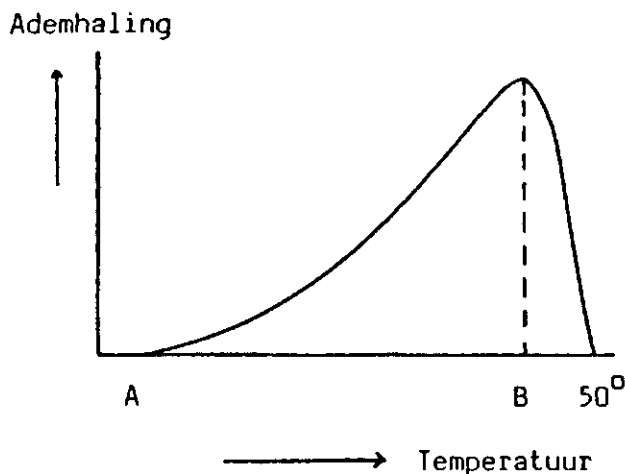
In de praktijk zal gedurende het winterhalfjaar de lichthoeveelheid vrijwel altijd beperkend zijn voor de fotosynthese. Het heeft dan ook geen zin om in de winter voor de fotosynthese de temperatuur hoger op te voeren dan B<sub>1</sub>. Voor de snelheid van andere levensprocessen kan een hogere temperatuur toch wel voordelig zijn. Hierop komen we nog terug.

### 5.2.2. Temperatuur en ademhaling

De ademhaling zouden we kunnen omschrijven als een serie chemische reacties, die sneller verlopen naarmate de temperatuur hoger is. Toen de ademhaling werd besproken (zie 3.1.2.) is aangegeven dat suiker wordt gebruikt om daaruit energie vrij te maken. Bij hoge temperatuur verloopt de ademhaling snel en er komt dus veel energie vrij. Als er veel suikers zijn (veel licht) behoort daarbij een hoge temperatuur met veel energie om de gevormde suikers te verwerken voor de groei.

In figuur 42 is de verhouding tussen temperatuur en ademhaling weergegeven.

Bij de laagste temperatuur waarbij een actieve plant in leven blijft is er ademhaling, want zonder ademhaling is geen leven mogelijk. Ook hier geldt weer dat het minimum-temperatuurniveau afhankelijk is van de plantensoort. De ademhaling neemt met de temperatuur toe tot boven  $40^{\circ}$  C. De toename komt ongeveer overeen met een snelheidsverdubbeling bij een temperatuurverhoging van  $10^{\circ}$  C.



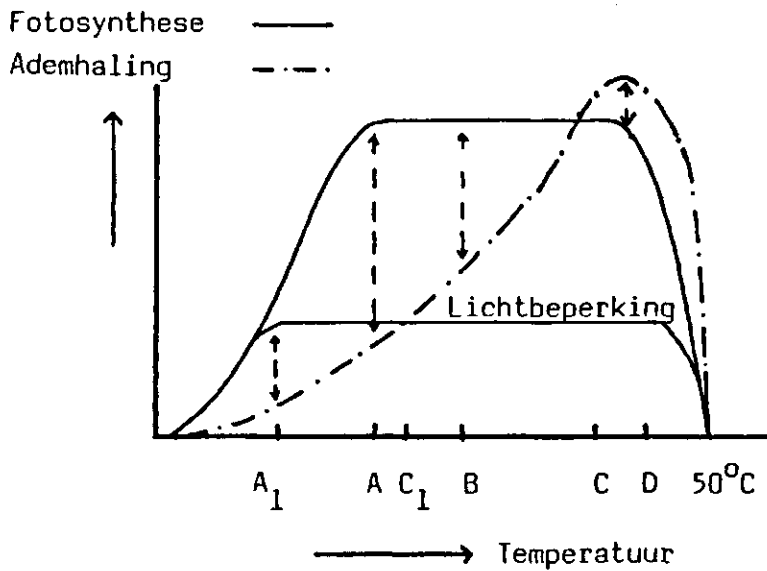
Figuur 42. Temperatuur en ademhaling. A is de minimum temperatuur waarbij een actieve plant in leven blijft. De ademhaling loopt met de stijgende temperatuur op tot circa  $40^{\circ}$  C.

### 5.2.3. Temperatuur en fotosynthese - ademhaling

De hoeveelheid suikers die beschikbaar komt voor de groei wordt bepaald door het verschil tussen produktie (fotosynthese) en verbruik voor ademhaling. Het is daarom van groot belang hoe de temperatuur beide processen beïnvloedt. Het verband is weergegeven in figuur 43 een combinatie van figuur 41 en 42 voor een situatie van lichtverzadiging (zomer) en voor lichtbeperking.

Het laatste bespreken we bij "Samenhang temperatuur-licht" (zie 5.3.). Uit de grafiek blijkt duidelijk dat bij de lagere temperaturen de fotosynthese sneller stijgt dan de ademhaling. Bij hoge temperatuur is het juist andersom. Het verschil tussen fotosynthese (produktie van suikers) en ademhaling (verbruik) blijft beschikbaar voor de groei (zie pagina 23, figuur 7). Het verschil is het grootst bij temperatuur A. Verhogen we de temperatuur dan gaat de

fotosynthese niet meer omhoog, de ademhaling echter wel. Het overschot wordt dus kleiner (B). Gaan we door met verhoging van de temperatuur tot C dan is er helemaal geen overschot meer. De plant kan



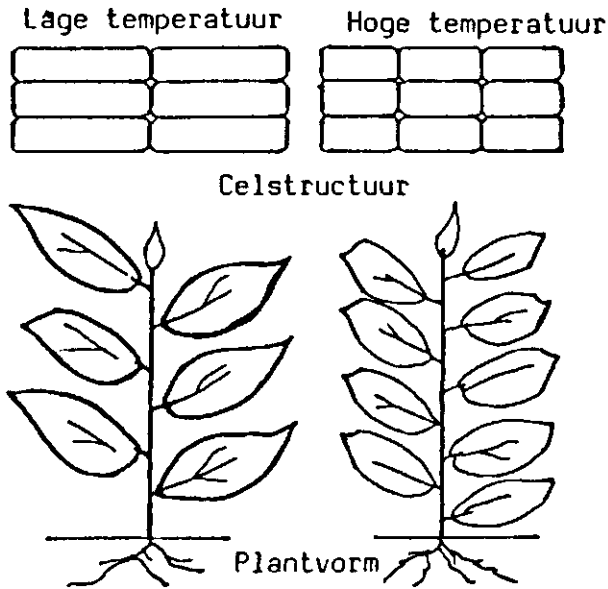
Figuur 43. Temperatuur en fotosynthese - ademhaling. Bij lagere temperatuur stijgt de fotosynthese veel sneller dan de ademhaling. Bij temperatuur A is het overschot het grootst, bij temperatuur C zijn geen suikers meer beschikbaar voor de groei. Bij lichtbeperking geldt dezelfde redenering maar wel bij veel lagere temperaturen (A<sub>1</sub> en C<sub>1</sub>).

daardoor niet meer groeien. Loopt de temperatuur nog hoger op dan kan het zelfs tot intering komen (D). Dit gebeurt alleen bij zeer hoge temperaturen (38-40° C) die ook om andere redenen ongewenst zijn. In de praktijk zal het bij veel licht nagenoeg nooit voorkomen dat de planten interen op de suikerproduktie. Hierbij moet natuurlijk wel worden bedacht wat we in 3.1.2. schreven, namelijk dat de plant alleen overdag fotosynthetiseert, maar 24 uur ademt.

#### 5.2.4. Temperatuur en groei

Hierboven is alleen gesproken over het verschil tussen aangemaakte en verbruikte suikers (fotosynthese - ademhaling). Er is echter nog een punt dat de aandacht verdient. Het suikeroverschot kan namelijk op verschillende manieren worden verwerkt en dat hangt ook weer af van de temperatuur. Bij temperatuur A in figuur 43 is het overschot groter dan bij B. De hogere temperatuur betekent immers meer ademhaling. Er komt echter wel meer energie vrij. Er wordt dan sneller gebouwd. De plant maakt sneller nieuwe cellen en met deze cellen maakt de plant sneller bladeren en bloemen. Toch was er minder suiker beschikbaar. Dat betekent natuurlijk dat de cellen en daardoor ook de bladeren en bloemen kleiner worden (figuur 44). De plant is bij de hogere temperatuur sneller en vroeger, maar de opbrengst zal niet maximaal zijn. Bij lagere temperaturen zullen de cellen en plantendelen groter zijn. Het wordt een "zwaar" gewas. De opbrengst kan maximaal zijn, maar vroeg of snel is zo'n gewas niet. Wat u moet nastreven hangt natuurlijk af van de vraag of vroegheid

wordt betaald. Vroegheid moet wel goed worden betaald want bijna altijd is de produktie lager dan bij lagere temperaturen en hogere



Figuur 44. Temperatuur en groei. Bij hogere temperatuur is er iets minder bouwstof (zie figuur 43), maar er worden meer cellen gevormd (meer ademhalingsactiviteit). De cellen worden daardoor kleiner. De plantvorm verandert op een soortgelijke manier.

temperaturen (brandstof) kosten nog meer ook. Bij hogere temperaturen is de produktie niet alleen vroeger, maar ook de ontwikkeling verloopt meestal sneller.

#### 5.2.5. Temperatuur en ontwikkeling

Al eerder is opgemerkt dat de plant door een bepaald temperatuurregime een drempel kan overschrijven (zie 5.1.3.). Veel planten zijn in hun ontwikkelingsfasen van zaad tot zaad gevoelig voor temperatuurdrempels. De ontwikkeling kan dan niet voortgaan als een bepaalde temperatuurdrempel niet is gegeven. Hierboven onder 5.2.4. werd er al op gewezen dat de temperatuur invloed heeft op de ontwikkeling, maar dan in meer algemene zin. Bij hoge temperaturen worden sneller nieuwe organen aangelegd. Als er geen specifieke drempels aanwezig zijn, zal een plant bij hoge temperatuur dus sneller zijn cyclus doorlopen. Dat geldt ook voor de fasen tussen twee drempels.

Veel planten stellen specifieke eisen aan het temperatuurregime als we de teeltcyclus zo snel mogelijk willen doorlopen. Bij die gewassen is het ook moeilijk om ze te telen buiten hun natuurlijke seizoen. Een voorbeeld is freesia. De knol gaat na de bloei eerst door een hoge temperatuur in rust. Van nature gebeurt dat in de zomer. Worden de knollen opgeplant dan moet de temperatuur van de grond laag blijven (circa 13° C) want anders worden de bloemen niet aangelegd of er treden misvormingen op. Als de bloem geheel is aangelegd en begint te strekken, mag de temperatuur weer worden opge-

voerd. Dat gebeurt ook bij het trekken van tulpen. Alle cellen zijn dan aangelegd. Het is alleen zaak om met behulp van water en de reservestoffen uit de bol de bloem zo snel mogelijk tot strekking te laten komen. Hierbij is enig licht noodzakelijk om het blad groen te laten worden.

Er zijn nog veel meer specifieke temperatuureffecten in het plantenrijk bekend. Het zou echter te ver voeren hier nader op in te gaan. Duidelijk zal zijn dat men zich zeer goed op de hoogte dient te stellen van de eisen van de planten die men wil gaan telen.

#### 5.2.6. Temperatuur en verdamping

Op de verdamping komen we in de volgende hoofdstukken nog uitgebreid terug. Bij de verdamping is de temperatuur echter zo belangrijk dat we hier enkele aspecten willen noemen. Verdamping vraagt zeer veel energie en als er geen energie wordt aangevoerd stopt de verdamping. Energie wordt verplaatst als er temperatuurverschillen zijn. Zolang er zon is of er wordt gestookt, vangt de plant energie op. Met behulp van deze energie wordt water verdampt. Voorwaarde is dat het blad wat warmer is dan zijn omgeving, of dat de omgeving droger is dan het blad. Een van beide zal meestal het geval zijn. Door stralingswarmte kan het blad wat worden opgewarmd en kan daardoor zelfs bij zeer hoge luchtvochtigheden nog water verdampen. Zodra het blad afkoelt, stopt de verdamping. Anderzijds zal de lucht veelal een nogal wat lager vochtgehalte hebben, dan in het blad heerst binnen het huidmondje. Ook dan verdampt er water zolang er energie wordt aangevoerd. Alleen onder extreem vochtige omstandigheden bij zeer kleine temperatuurverschillen ten opzichte van de buitenlucht, zoals in de herfst soms voorkomt, kan de verdamping achterwege blijven. In het algemeen geldt dus dat er zolang water zal verdampen als er energie wordt toegevoerd aan het blad. Als er warmte-afvoer uit de kas plaatsvindt (temperatuurverschillen) zal dus nagenoeg altijd ook vochtafvoer volgen. De plant bevindt zich als het ware in een warmtestroom en verdampt daardoor water. Doordat verdamping van water veel energie kost, kan een zeer groot deel van de energiestroom in de kas worden gebruikt voor verdamping, waardoor de temperatuur veel minder hoog oploopt dan in de kas zonder gewas (zie 3.4.2.).

#### 5.3. Samenhang temperatuur - licht

Omdat niet alles gelijktijdig kan worden gezegd, moeten de effecten van temperatuur en licht afzonderlijk worden besproken. In de praktijk is er natuurlijk een sterke samenhang. Dit komt in de eerste plaats doordat veel licht doorgaans een hoge temperatuur betekent en andersom. Doordat we stoken, kunnen we echter gedeeltelijk zelf bepalen bij welke temperatuur/lichtverhouding we willen werken. Daarom moet op de samenhang worden gelet.

##### 5.3.1. Temperatuur - licht en ademhaling - fotosynthese

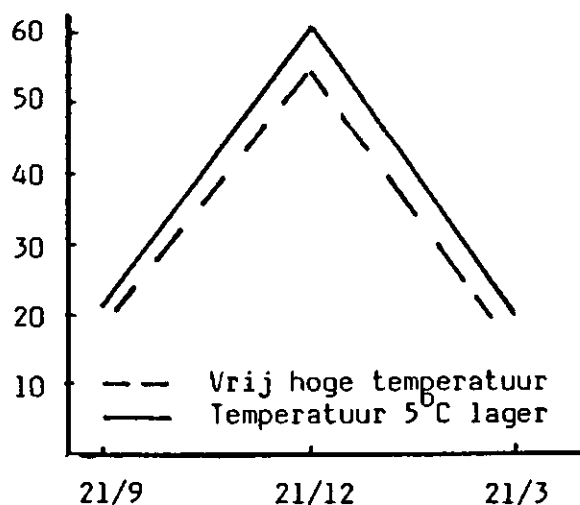
In figuur 43 hebben we bij twee niveaus van licht de fotosynthese weergegeven. We bespraken het verband tussen temperatuur en fotosynthese - ademhaling onder lichtverzadiging. Letten we nu op

de situatie bij lichtbeperking op de fotosynthese, dan gaat dezelfde redenering op, maar wel bij veel lagere temperaturen en veel kleinere overschotten. Bij temperatuur  $A_1$  is het overschot maximaal. Bij temperatuur  $C_1$  is er al geen overschot meer, terwijl onder lichtverzadiging bij die temperatuur het overschot ongeveer het grootst is. De oorzaak is de beperkte aanmaak van suikers. Bij minder licht moeten dan ook veel lagere temperaturen worden aangehouden. In de praktijk gebeurt dit natuurlijk ook, maar er zijn in vele gevallen beperkingen. Dit komt doordat verschillende van de door ons geteelde plantensoorten van tropische of subtropische oorsprong zijn. Ze zijn gewend aan hogere lichtintensiteiten en temperaturen. Nu gaan ze niet dood als we ze minder licht geven, hoewel ze veel langzamer groeien, maar ze gaan wel dood als we de temperatuur evenredig verlagen. We moeten ze noodgedwongen bij een relatief te hoge temperatuur telen. Een temperatuur die maar weinig lager is dan  $C_1$  in figuur 43. Een duidelijk voorbeeld is de meloen. Deze plant blijft in de winter wel in leven als we de temperatuur hoog genoeg houden, maar zelfs jonge planten groeien dan zeer slecht.

### 5.3.2. Vergelijking effect temperatuur en licht

De invloeden van licht en temperatuur hangen samen zoals we al zagen. Het is van groot belang te weten hoe de effecten zich tot elkaar verhouden. Met andere woorden: hoe groot is de invloed van de lichtverschillen waaronder we werken en hoe groot is het effect van de geldende temperatuurverschillen?

Groei-duur (dagen)



Figuur 45. Temperatuur en licht bij tomaat. Groei-duur in dagen van zaaien tot een versgewicht van 10 g is bereikt. Door het seizoeneffect is de groei-duur in de winter circa 30 dagen langer dan in september of maart. Een constant temperatuurverschil van 5° C gaf een groei-duurverschil van slechts (maximaal) zes dagen.

We werken in kassen waarin we veelal kunnen stoken. Toch zijn de seizoenen van groot belang omdat we met natuurlijk licht werken en

dat varieert van 1 op 10. We kunnen wel stoken en daardoor de temperatuur variëren. Van tomaat onder glas zijn veel gegevens verzameld betreffende de groei van jonge planten het hele jaar rond. We kennen de lichtverschillen en we hebben daarbij de temperatuur gevarieerd, namelijk van wat aan de lage kant, maar wel zo hoog dat de plant goed groeide, tot 5° C hoger. In figuur 45 geven we de groeiduur weer voor de winterperiode bij beide temperaturen.

's Zomers lukt zo'n proef niet doordat de zon steeds de temperatuurverschillen verstoort, bovendien heeft het licht dan bijvoorbeeld bij jonge tomatenplanten geen invloed op de groei (pagina 64, figuur 35).

In figuur 45 kunt u zien dat de plant in de winter ongeveer driemaal zoveel tijd nodig heeft voor hetzelfde gewicht als in september of maart, namelijk ruim 40 dagen meer. Het effect van het temperatuurverschil van 5° C was maar zes dagen dus ruim 1 dag per 1° C. Het seizoeneffect (licht) is 40 dagen en dus circa 25 x zo groot als het resultaat van een temperatuurverschil van 1° C.

We kunnen dus met de temperatuur de groei lang niet zo sterk beïnvloeden als met het licht. Een verschil van doorlopend 5° C is voor de praktijk namelijk al zeer groot. Als er iets met de temperatuur moet gebeuren is dus het licht bepalend en aan kleine temperatuurverschillen mogen we voor de groei niet te veel belang hechten.

### 5.3.3. Lichtafhankelijk stoken?

Uit figuur 43 is duidelijk af te leiden dat de temperatuur moet afhangen van de lichthoeveelheid. Dat geldt zeker voor de grote lichtverschillen gedurende het seizoen. Het wil echter niet zeggen dat we elke keer dat de zon doorkomt de temperatuur moeten gaan opvoeren. Als de zon kracht heeft, zorgt de straling wel voor temperatuurverhoging. Midden in de winter stoken we voor de fotosynthese meestal al te veel omdat onze planten van nature (subtropen en dergelijke) al zo'n hoge temperatuurbehoefte hebben, dat de temperatuur al gauw hoog genoeg zal zijn voor een optimale fotosynthese. Dit geldt zelfs als 's winters de zon schijnt. Komt er veel meer licht, dan kan de temperatuur worden verhoogd. Daarbij denken we dan aan eind februari.

Ook uit figuur 45 is af te lezen dat de temperatuur minder belangrijk is dan we vaak denken. Want als temperatuur wel belangrijk was, zou het bij de hogere temperatuur in september en maart bij het vele licht veel sneller moeten gaan. Het verschil door 5° C zou dan veel groter moeten zijn dan in de winter, maar dat is zeker niet het geval. Vijf graden warmer blijft gemiddeld vijf dagen sneller. Eerlijkheidshalve moeten we wel zeggen dat het verschil in het voor- en najaar procentueel veel groter is dan de winter, doordat de groeiduur 's winters driemaal zo lang is. Het seizoeneffect is zoveel groter dat maar zeer geringe temperatuuraanpassingen nodig zijn.

In de praktijk zien we dan ook dat van midden winter tot midden zomer de gemiddelde temperatuur voor warmteminnende gewassen wel wordt aangepast, maar een groot deel daarvan wordt veroorzaakt door het effect van zonnewarmte en niet door stoken.

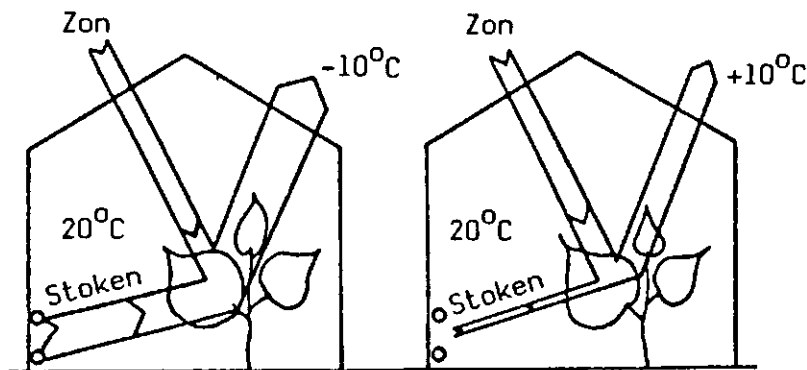


#### 5.4.    Temperatuur en energie

In het voorgaande is behandeld wat de invloed is van de temperatuur op de groei van planten. Daarbij is eigenlijk nog niet veel gezegd over de temperatuur als natuurkundig verschijnsel. We willen daar nu wat nader op ingaan en aangeven waar we op moeten letten bij meting en regeling van de temperatuur. Daarbij komt ook aan de orde wat de invloed is op de groei van de verschillende verwarmingssystemen en de effecten van energiebesparende maatregelen.

##### 5.4.1.   Wat is temperatuur?

Het lijkt een overbodige vraag, maar het is toch nodig om aandacht te geven aan de vraag wat temperatuur eigenlijk is. We willen het verschijnsel "temperatuur" regelen en we kijken op de thermometer of dat goed lukt. De ene keer moeten we voor dezelfde temperatuur sterk verwarmen (vorst) en een andere keer koelen (hittegolf). Er wordt altijd energie verplaatst, hetzij aanvoer, hetzij afvoer. Het kan ook veel energie zijn of weinig. De temperatuur kan daarbij gelijk blijven. Temperatuur is dus een evenwichtstoestand, tussen energie-aanvoer en -afvoer. Als er te veel energie wordt afgevoerd, zal de temperatuur dalen, we compenseren dat zo nodig door aanvoer. Het kan ook andersom: de zon voert energie aan, het zou te warm worden, we gaan dan energie afvoeren (ventileren). Het kan allemaal bij dezelfde temperatuur. Hoe hoog de temperatuur wordt, hangt uiteraard af van de verhouding tussen energie-aan- en -afvoer.



Figuur 46. Plant en warmtestroom. Wanneer de buitentemperatuur laag is, moet veel meer worden gestookt. De warmtestroom langs de plant wordt groter, de vochtafvoer neemt toe. De luchttemperatuur kan gelijk blijven, de groei kan veranderen.

U voelt wel aan dat het voor een plant nogal wat kan uitmaken hoe het temperatuurniveau tot stand komt. Het zonlicht is de belangrijkste energieleverancier. 's Winter is de natuurlijke energie-aanvoer te klein en moeten we stoken. Het groeit dan altijd slecht doordat er zonlicht te kort is. Later in de tijd kan de zon overdag voor de temperatuur zorgen en moeten we alleen 's nachts stoken. Het zal dan zeer snel gaan groeien. Een zeer groot deel van

de energie wordt echter gebruikt voor verdamping. Gaan we uit van eenzelfde lichthoeveelheid dan maakt het voor een plant veel uit of het buiten  $-10^{\circ}\text{C}$  of  $+10^{\circ}\text{C}$  is. Bij de lage buitentemperatuur wordt zeer veel warmte aangevoerd, de buizen zijn dan heet. Er ontstaat meer stralingswarmte en dat beïnvloedt de planttemperatuur anders dan bij veel koelere buizen. Een hoge buistemperatuur stimuleert de verdamping. Het glas is koud, wat snelle condensatie geeft en een verlaagde luchtvochtigheid. In figuur 46 hebben we het verschil in warmtestroom in beeld gebracht.

Een grote warmtestroom heeft altijd een grote vochtstroom tot gevolg en een zeer geringe warmtestroom veroorzaakt vochtvermaatsproblemen. Er zou veel meer over te zeggen zijn, maar duidelijk is wel dat eenzelfde temperatuurniveau nog niet betekent dat de groei altijd gelijk blijft. Er veranderen verschillende dingen, dus kan ook de groei veranderen al blijft de temperatuur gelijk.

#### 5.4.2. Meting standaardiseren

Onder de telers van eenzelfde gewas bestaat grote interesse voor het temperatuurniveau dat collega's aanhouden. Dit geldt vooral in een tijd dat het moeilijk gaat (winter) en de stookkosten hoog zijn. Men gaat dan vergelijken. Daarbij doet zich direct een aantal moeilijkheden voor. Iedereen meet immers op zijn eigen manier. De plaats van de voeler is verschillend: hoger of lager, in of uit de zon, met of zonder geventileerde meetkast enzovoorts. Dat de een een veel langere nachtperiode aanhoudt dan de ander speelt ook nog een rol, al heeft dat niet met de meting als zodanig te maken. Discussies over de temperatuur bij dergelijke waarnemingsverschillen hebben niet veel zin. Dat men dit in de praktijk niet altijd bemerkt, komt doordat de plant niet zo sterk op dergelijke temperatuurverschillen reageert. Soms zijn de plaatselijke temperatuurverschillen zo groot dat toch beïnvloeding van de groei ontstaat. Maar ook al komt het dan niet op delen van graden aan, het is toch beter de metingen volgens een standaardmethode uit te voeren. Hoe dat gebeuren moet valt buiten ons bestek. Voor bedrijfsvergelijking en overdracht van onderzoekresultaten, is het van groot belang dat we van elkaar weten waarover we het hebben.

Er is nog een andere kant aan de temperatuurmetingen, die een bron kan zijn van misverstanden. We meten namelijk allemaal de luchttemperatuur maar we bedoelen de planttemperatuur. Tussen deze twee zijn verschillen aanwezig. We kennen die verschillen niet. Het is dus een bron van onnauwkeurigheden. Aan planttemperatuurmetingen zijn echter nog zo veel bezwaren verbonden, dat we het voorlopig nog wel met de luchttemperatuur zullen moeten doen.

#### 5.4.3. Temperatuurregeling

We willen hier uiteraard niet ingaan op de technische aspecten van de realisering van een bepaalde temperatuur. We willen wel iets zeggen over de keuze van de instelling. Het belangrijkste argument voor de keuze van een bepaalde instelling moet natuurlijk zijn de eis die het gewas stelt. Dikwijls zijn er dan vele mogelijkheden.

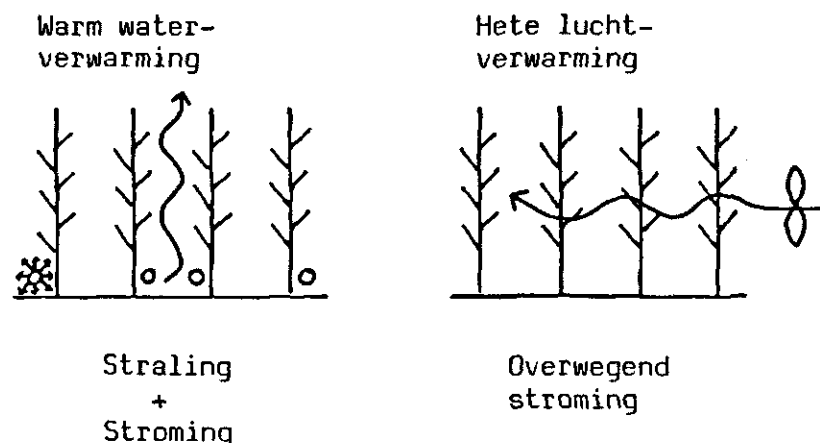
Een gewas kan bijvoorbeeld best groeien bij een temperatuur tussen 20° C en 30° C overdag. De hoogte van de nachttemperatuur zal dan weer afhangen van de vraag of het overdag dichterbij 20° C of dichterbij 30° C ligt. Daarbij komt nog dat men bij de temperatuurinstelling ook andere factoren betreft, zoals bijvoorbeeld luchtvochtigheid. In het algemeen kan worden gesteld dat vanuit de plant gezien, er meestal vele mogelijkheden zijn. Drie hoofdeisen zijn te stellen. In de eerste plaats moet gemiddeld over 24 uur gerekend, de benodigde temperatuur worden gehaald. In de tweede plaats vragen vele gewassen overdag een wat hogere temperatuur dan 's nachts. Tenslotte moet men oppassen voor schokken. Het is daarbij niet zo erg als de plant een snel dalende luchttemperatuur ondergaat, gevaarlijk is alleen een snelle stijging.

Bij het instellen van de temperatuur hebben we de plant op het oog, maar we werken met de luchttemperatuur. Het verschil is meestal niet belangrijk. Maar als er veel uitstraling is kan de planttemperatuur enige graden lager worden dan de luchttemperatuur. De luchttemperatuur blijft wel ongeveer op peil doordat de voelers afgeschermd zijn. De planten stralen echter uit naar het koude glas. Bij bewolkte lucht of dubbel glas, is de glastemperatuur hoger en koelt de plant minder af. Als we veel uitstraling verwachten moeten we de temperatuur wat hoger instellen als we de plant of het substraat warm willen houden.

Bij vele temperatuurinstellingen doet men het voorkomen dat de plant dit zo vraagt, maar veelal speelt de economie van het stoken een zeker zo grote rol. Als het vereiste gemiddelde niveau voor een bepaald gewas is ingesteld, moet er vooral op worden gelet dat temperatuur- en vochtschokken worden voorkomen. Beschadiging door een te grote schok heeft namelijk veel ernstiger gevolgen dan een periode wat te warm en daarna een poosje wat te koud klimaat.

#### 5.4.4. Verwarming

Ook hierbij willen we geen technische kanten bespreken, maar alleen de betekenis van een bepaalde methode voor de plant.



Figuur 47. Verwarming en de plant. Verschillen in de verhouding tussen stralingswarmte en stroming hebben groeiverschillen tot gevolg.

In het algemeen komt een zeer groot deel van de warmte als straling op de plant, namelijk door de zon. Dit is nog altijd de grootste warmtebron en voor onze teelten in kassen de goedkoopste. We moeten er dus voor alles een zo goed mogelijk gebruik van maken.

Bijverwarmen gebeurt in de praktijk veelal met warm water. Daarnaast vinden we heteluchtverwarming. Bij hetelucht hebben we alleen met stroming van de lucht te maken. Omdat lucht een kleine warmte-inhoud heeft moeten er vele kubieke meters lucht worden verplaatst. Dit geeft bij opgaande gewassen problemen door ongelijke temperatuur. Daarbij komt nog dat de grond meestal wat kouder blijft dan bij andere systemen, ook dat beïnvloedt de groei (figuur 47).

Bij warm waterverwarming kan door het buizennet de warmte beter worden verdeeld. Vooral als er veel moet worden gestookt ontvangt de plant vrij veel stralingswarmte, ook de grond of het substraat wordt op die manier verwarmd. Meer straling betekent een hogere planttemperatuur en dit heeft invloed op de groei en op de verdamping.

#### 5.4.5. Koelen in de kas

De belangrijkste oorzaak van plantkoeling in de kas is het energieverbruik door de plant voor de verdamping van water. Dit water kan worden afgevoerd door condensatie. Als dit onvoldoende gebeurt, moet er worden geventileerd. Dit is trouwens ook nodig als de verdampingskoeling niet toereikend is.

Ventilatie komt ook tot stand doordat er altijd lekkage is, ofwel ongecontroleerde ventilatie. Beter is het de kassen potdicht te maken en de koeling door ventilatie te regelen door middel van de luchtramen. Hoe hoger de kassen zijn hoe groter de ventilatiedruk (schoorsteeneffect). We kunnen ook met behulp van ventilatoren lucht verversen, maar dat kost veel energie. Bij bovengenoemde systemen geldt: warmteafvoer = waterdampafvoer (figuur 46). Er zal altijd op moeten worden gelet of de plant dit kan verdragen. Het kan beter tijdelijk te warm zijn, dan dat de plant een vochtschok oploopt.

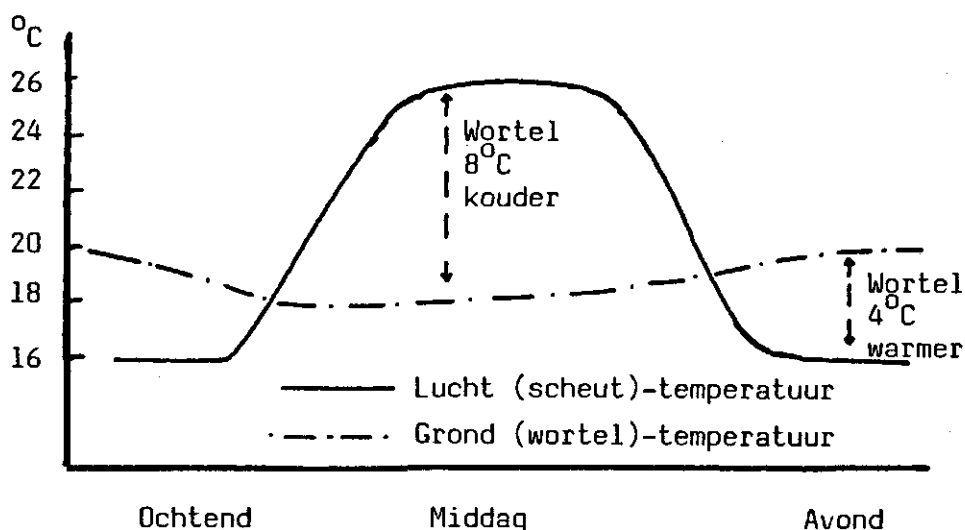
Men kan droging van plant en milieu voorkomen door gebruik te maken van een combinatie van ventilatie en verdamping. Dit wordt toegepast bij de zogenaamde mattenkoeling of matraskoeling. De buitenlucht wordt de kas ingezogen door een vochtige matras. De koelingscapaciteit is groot zonder drogend effect. Dit geeft een zeer gunstig klimaat in de kas. Iets dergelijks wordt ook bereikt door verneveling van water boven de kas, door dakberegening en door gewasbevochtiging. Alle systemen hebben gemeen dat wordt getracht de temperatuur te verlagen zonder dat dit gepaard gaat met vochtafvoer. Er kleven ook wel bezwaren aan, want de plant kan nat worden. Bovendien werken dergelijke systemen slechter naarmate de luchtvochtigheid van de buitenlucht hoger is.

Zeer effectief voor de koeling in de kas is een krijtscherm op het dak. De warmte-aanvoer in de kas wordt verminderd. Schermen werkt echter negatief zodra de ergste warmte voorbij is, doordat licht verloren gaat voor de fotosynthese. Een beweegbaar scherm is daarom ook beter. Het koelend effect ervan is echter minder omdat de zon

eerst in de kas komt. Een beweegbaar scherm buiten de kas geeft de beste koeling.

#### 5.4.6. Wortelverwarming

Bij de teelt in de kasgrond wordt nogal eens gebruik gemaakt van grondverwarming. De oorzaak ligt in de duidelijke scheiding tussen onder- en bovengronds klimaat. De wortel bevindt zich in een traag, bufferend systeem. De omstandigheden rond de scheut kunnen wel op korte termijn worden aangepast aan de eisen van de plant. Daarom heeft regeling van de grondtemperatuur alleen maar zin als de grond te koud is voor een goede wortelfunctie. Zodra een gewenste temperatuur is bereikt zijn de regelmogelijkheden beperkt. Veranderingen in grondtemperatuur vinden te langzaam plaats. Warme grond kan niet vlug koud, koude grond niet snel warm worden gemaakt (figuur 48).



Figuur 48. Scheut- en worteltemperatuur. Door de traagheid van de grondtemperatuur blijft de worteltemperatuur overdag sterk achter. 's Nachts is de wortel relatief warm.

De traagheid heeft tot gevolg dat de worteltemperatuur 's nachts relatief hoog is en overdag relatief laag. Dit kan moeilijkheden geven als de scheut veel water vraagt voor de verdamping. De plant kan daardoor zelfs slap gaan. Vanwege de traagheid in de grond moeten we zo nodig bovengrondse omstandigheden aanpassen aan de situatie waarin de wortel zich bevindt.

Gedurende de nacht zal de wortel juist actief zijn en soms zoveel water de plant in persen dat vruchten barsten (tomaat) of bloemstengels afknappen (freesia) (zie 3.3.4.).

Voorals bovengronds de temperatuur zeer snel wisselt, bijvoorbeeld van donker naar zonnig, blijft de worteltemperatuur in de grond praktisch constant. De scheuttemperatuur kan echter gemakkelijk binnen een uur van 15 naar 25° C worden verhoogd. Een betere aanpassing van het wortelmilieu aan de eisen van de scheut wordt bereikt bij de substraatteelt. De wortels zitten niet meer in de grond, maar in een veel kleiner volume boven de grond. De verschillen tussen wortel- en scheuttemperatuur worden daardoor

verkleind. De plant kan beter functioneren en daardoor een hogere opbrengst geven.

#### 5.4.7. Energiebesparing

Energiebesparing is er in hoofdzaak op gericht de normale temperatuur te bereiken met een geringer energieverbruik. Dat wil zeggen dat de energiestroom langs de plant kleiner wordt. Meestal verandert er echter meer. Bepaalde maatregelen ter besparing van energie beperken de lichttoevoer (dubbel glas) en dus de fotosynthese en eventueel de opbrengst.

Er zijn ook verschillende mogelijkheden tot energiebesparing zonder dat er iets aan de kas gebeurt. De verwarmingsbuizen kunnen bijvoorbeeld onder het gewas worden gebracht. Denk ook aan bedverwarming en vloerverwarming. Daardoor zullen de temperaturen onder in de kas stijgen en bovenin dalen. Dat kan weer invloed hebben op de groei. Als de groeipunten zich boven in de kas bevinden zal bij benedenverwarming het groeipunt trager groeien. Wel zal het gewas bij lage verwarming gemakkelijker droog blijven.

Als energiebesparing wordt bereikt door een dubbel dek of iets dergelijks verandert er veel. Niet alleen is de energiestroom kleiner geworden en is er minder licht voor de groei, maar ook de vochtigheid kan sterk worden beïnvloed doordat de condensatie te langzaam verloopt. Een ander aspect van dubbel glas en dergelijke is de verandering van de uitstraling. Vooral gedurende de heldere nachten kan de uitstraling veel minder zijn. Het resultaat is een hogere groeipunttemperatuur en een snellere groei. Bij tomaat kan dit leiden tot een groter aantal bladeren onder de eerste tros.

#### 5.5. Temperatuurverschillen

Al meerdere keren hebben we gesproken over temperatuurverschillen en -schokken. We gaan daar nu wat systematischer op in, waarbij de seizoenswisseling en dag-nachttemperaturen ter sprake komen.

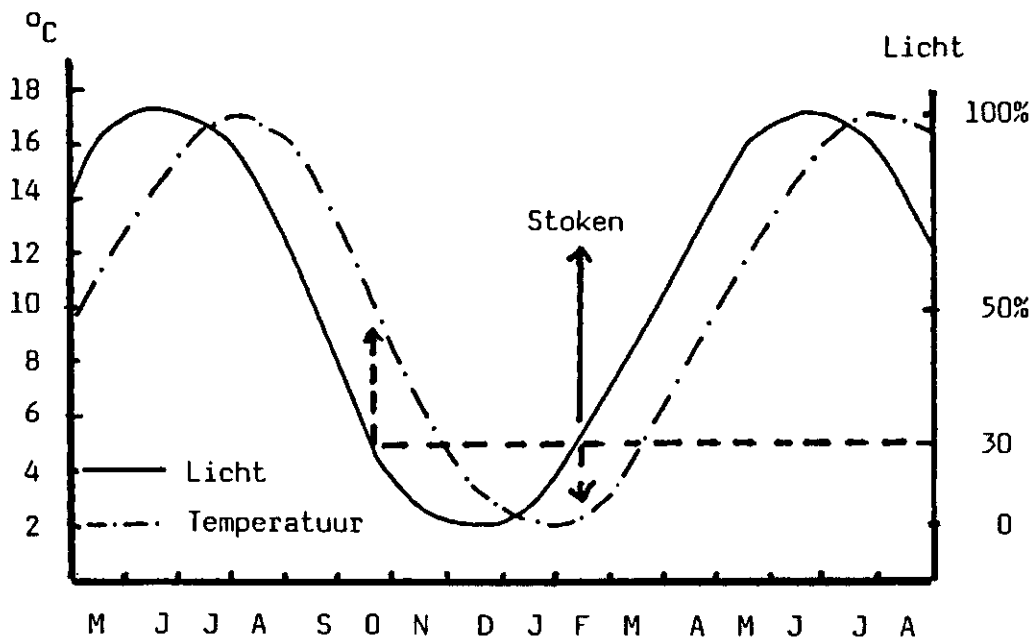
##### 5.5.1. Seizoen en temperatuur

In kassen waarin niet wordt gestookt, is het seizoen uiteraard van overheersende betekenis voor de temperatuur. Als wel kan worden gestookt is het seizoen toch erg belangrijk, want in de natuur loopt de temperatuur achter bij het licht. In figuur 49 hebben we dat in beeld gebracht.

In het voorjaar is de temperatuur duidelijk beperkend voor de groei. In die tijd staat een plant als het ware op een betere temperatuur te wachten. Dan is verwarmen het meest economisch. De kas is in het voorjaar een goede zonnecollector en er is dan relatief weinig brandstof voor nodig om een zeer grote groeiverbetering te krijgen ten opzichte van de natuur. Tomaten kunnen bijvoorbeeld buiten alleen midden in de zomer een poosje goed groeien. Tot juli is het te koud. Als ze warmte krijgen groeien ze onder glas al uitstekend in het begin van februari. Een vervroeging dus van vier maanden.

In de herfst is het juist andersom. Dan is de temperatuur relatief hoog. Bovendien is de vochtigheid dan gemiddeld veel hoger. Doordat

stoken voor de temperatuur dikwijls niet nodig is, ontstaan problemen met schimmelziekten. Het is niet alleen de temperatuur die met de seizoenen mee verandert, het wordt benadrukt doordat de licht-temperatuurverhouding zo sterk verschilt. Dit komt heel duidelijk voor de dag in de teelt van sla. Als er in de herfst relatief weinig licht is bij een vrij hoge temperatuur, groeit het gewas welig en zacht op. De bladeren hebben de neiging langer te worden (zie 4.3.1.), de kwaliteit van de sla is maar matig. In het voorjaar is er evenveel licht, maar de plant groeit veel steviger op door de naar verhouding veel lagere temperatuur. De kwaliteit is dan geen enkel probleem.



Figuur 49. Seizoen en temperatuur. De temperatuur blijft achter bij het licht. Bij 30% licht (februari en oktober) is het in de herfst 10° C en in het voorjaar 3° C, dus stoken!

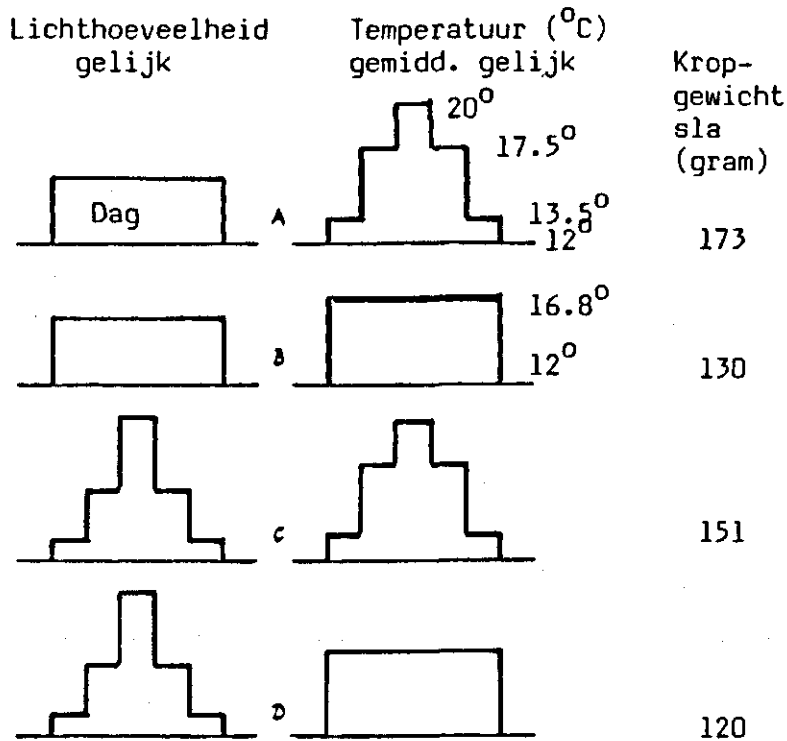
Overblijvende gewassen in kassen (rozen bijvoorbeeld) hebben in het voorjaar onder bepaalde teeltcondities wel eens last van een lage grondtemperatuur doordat die achterblijft bij de luchttemperatuur. Dit kan door slechte wortelactiviteit ijzergebrek-chlorose opleveren, wat uiteraard de fotosynthese beperkt.

### 5.5.2. Dag-nachttemperatuur

Verschillen tussen dag- en nachttemperatuur zijn ook van groot belang bij de plantengroei. Meestal zal een gewas gunstig reageren op een zekere wisseling tussen dag- en nachttemperaturen. In figuur 50 geven we de resultaten weer van een Duits onderzoek met sla in klimaatkamers.

Men gaf overdag constant licht of een lichtpiek midden op de dag, maar in beide gevallen was de groei beter bij een temperatuurpiek

dan bij een constante temperatuur, ook al hadden ze alle dezelfde nachttemperatuur. De betere groei bij het grotere verschil tussen dag- en nachttemperatuur werd niet veroorzaakt door de lichtverschillen. Zowel bij constant als bij wisselend licht was de temperatuurpiek namelijk beter. Tomaat, komkommer en paprika groeien ook ongeveer 5% sneller wanneer er verschil is tussen dag- en nachttemperatuur. Het belangrijkste blijft echter de gemiddelde etmaaltemperatuur. Een daling van 2° C geeft in het gevoelige gebied meestal



Figuur 50. Dag-nachttemperatuur. Zowel bij constant licht (A en B) als bij wisselend licht (C en D) is een wisselende temperatuur beter dan een gelijkmatige temperatuur.

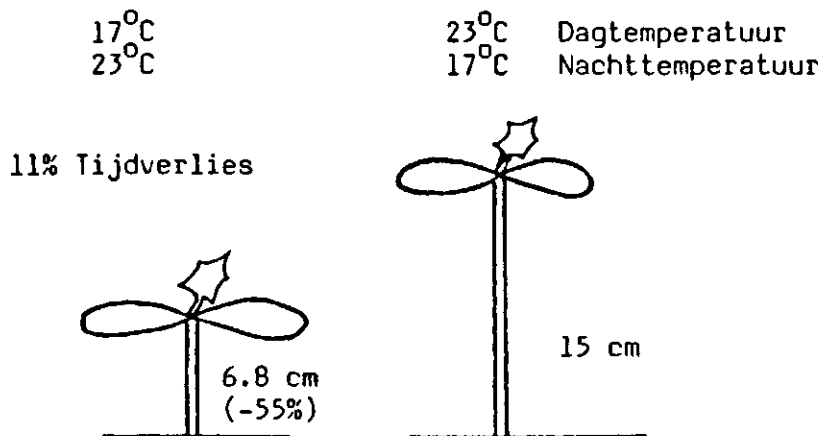
een duidelijk zichtbare vertraging, maar of de dag-nachttemperatuur 22 - 18° C is of 20 - 20° C maakt veel minder uit. Proeven met een aantal gewassen hebben geleerd dat zelfs omkering van een dag-nacht regime van 23 - 17° C niet eens zo veel invloed heeft op de groei. De planten hadden circa 10% meer tijd nodig om eenzelfde gewicht te halen. Wel waren ze bij hetzelfde gewicht ongeveer een derde korter. Vooral de dagtemperatuur bepaalt de lengtegroei. Bij de opkweek van planten is het de overweging waard om met lage dagtemperaturen te werken. Het kost iets meer tijd maar het levert veel steviger plantmateriaal op, figuur 51 brengt dat in beeld voor een komkommerzaailing.

In het algemeen geldt dus dat gewassen die te veel rekken overdag minder moeten worden gestookt, en gewassen die gedrongen groeien



moeten juist overdag warmer worden gehouden.

Soms grijpen we kunstmatig in op de daglengte en dus op de nachtlengte, bijvoorbeeld kortedagbehandeling bij chrysanthe in de zomer. Er treden dan ingrijpende veranderingen op. Als bij warm weer de verduistering wordt gesloten, zal de temperatuur bij de plant zeer hoog kunnen oplopen, terwijl normaal het duister juist samengaat met temperatuurverlaging. Er treedt een versnelde ademhaling op,



Figuur 51. Dag-nachttemperatuur bij komkommerzaailingen. Door een 'omgekeerd' temperatuurregime was de lengte onder de zaadlobben meer dan de helft korter. De rest van de plant was 40% korter. De opkweek duurde 10% langer.

maar de fotosynthese wordt beperkt. In zo'n geval is het beter te proberen 's morgens wat later te openen en 's avonds wat later te sluiten.

### 5.5.3. Temperatuurschokken

Temperatuurschokken als zodanig zijn meestal niet zo gevaarlijk, het zijn de vochtschokken die ermee gepaard gaan die de schade veroorzaken (zie 3.4.4.). Het is dan ook beter om de temperatuur wat te hoog te laten worden dan midden op de dag de luchtramen te openen om de temperatuur in de hand te houden, want dat gaat vergezeld van een vochtschok.

Soortgelijke problemen doen zich voor als een plant in het voorjaar gedurende een bepaalde periode geen zon heeft gehad. Als de zon dan ineens doorkomt moet worden gezorgd voor een lage planttemperatuur in overeenstemming met de worteltemperatuur. Dus zo'n eerste dag vroeg ventileren en de verwarmingsbuizen koud houden. De plant kan zich dan aanpassen en de temperatuur kan de volgende dagen worden opgevoerd.

Soms maakt men zich onnodig zorgen. Zo worden energieschermen heel voorzichtig geopend omdat men bang is dat de plant anders nadeel ondervindt. De veranderingen zijn echter in zo'n geval veel kleiner dan in het bovengenoemde voorbeeld. Als het scherm open gaat krijgt de plant iets meer licht, maar dat betekent niet veel want het ge-

beurt 's morgens. Door menging van de twee luchtsoorten wordt de lucht bij de plant iets droger en kouder. Omlaag gerichte temperatuurschokken geven echter geen problemen. Wel kan het zo zijn dat het regeltechnisch beter is het scherm behoedzaam te openen, omdat anders het klimaat ontregeld raakt. Voor de plant maakt het echter niet uit.

## 6. DE LUCHT OM DE PLANT

In de derde ronde van de bespreking van de plantenfysiologie wordt aandacht besteed aan de invloed van de omstandigheden op de groei. We hebben tot nu toe de werking van het licht en de temperatuur besproken. We zijn nu toe aan de lucht om de plant en daarna volgt de waterhuishouding. In dit hoofdstuk wordt eerst beschreven hoe het transport van de gassen plaatsvindt. Daarna bezien we achtereenvolgens het koolzuurgas, de waterdamp en de zuurstof in de lucht om de plant en de invloed ervan op de groei.

### 6.1. Gaswisseling

De lucht om de plant is een mengsel van gassen. Sommige daarvan zijn voor de plantengroei van belang, andere niet. De plant geeft gassen af aan de lucht en neemt ze er ook uit op. Bij de fotosynthese wordt bijvoorbeeld  $\text{CO}_2$  opgenomen en bij de verdamping wordt waterdamp(gas) afgegeven. Er is dan ook transport nodig, naar de plant en van de plant af. Gebeurde dit niet dan zou bij het blad het koolzuurgas opraken en de fotosynthese zou stoppen. De gassen uit de lucht worden via de huidmondjes opgenomen en de gassen die de plant afgeeft komen ook weer via de huidmondjes in het milieu terecht.

#### 6.1.1. Samenstelling van de lucht

Lucht is een mengsel van van alles en nog wat. We willen ons nu beperken tot de gassen en niet praten over zwevende deeltjes of druppeltjes. We spreken ook niet over verontreiniging met vreemde gassen. We beperken ons tot de gassen die in grotere hoeveelheden in de lucht voorkomen. Dit is allereerst circa 80% stikstof ( $\text{N}_2$ ). De meeste door ons geteelde gewassen doen daar niets mee. Dat is wel jammer want we moeten daarom de stikstof via dure meststoffen aan de planten toedienen. Alleen enkele vlinderbloemigen (onder andere bonen) kunnen stikstof uit de lucht opnemen en voor de groei gebruiken. Ze hebben daarbij echter wel de hulp nodig van bacteriën die in de wortels leven. De lucht bevat vervolgens circa 20% zuurstof ( $\text{O}_2$ ). Bijna elk levend wezen heeft zuurstof(gas) nodig voor de ademhaling. De plant neemt door zijn gehele lichaam zuurstof op die nodig is voor de ademhaling.

Bovengenoemde cijfers geven aan dat de lucht bijna helemaal uit  $\text{N}_2$  (80%) en  $\text{O}_2$  (20%) bestaat. Deze getallen zijn echter afgerond. Er komen verschillende andere gassen in voor die voor de plantengroei zeer belangrijk zijn, namelijk koolzuurgas ( $\text{CO}_2$ ) en waterdamp ( $\text{H}_2\text{O}$ ). De plant bouwt namelijk zijn hele lichaam op door middel van het koolzuurgas. In de lucht komt echter slechts circa 0,03%  $\text{CO}_2$  voor. Verder vinden we in de lucht meestal enkele procenten waterdamp. De plant neemt namelijk ongeveer tienmaal zoveel water op als hij zelf weegt. Het wordt als vloeistof opgenomen en als gas weer afgegeven.

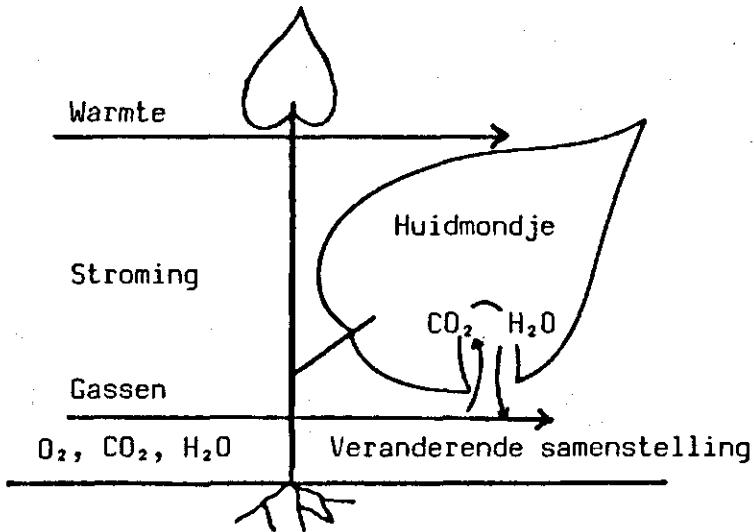
De opname van  $\text{O}_2$  en  $\text{CO}_2$  en de afgifte van waterdamp kan alleen maar plaatsvinden als deze gassen langs de plant worden gevoerd want de plant staat nu eenmaal stil. Doordat levende wezens gassen opnemen

en afgeven kan dus ook de samenstelling van de lucht veranderen.

### 6.1.2. Luchtbeweging

In het voorgaande is al enkele malen geduid op het transport van gassen. De lucht in de ruimten waarin we telen, is altijd min of meer in beweging. Als de bewegingssnelheden erg gering worden, kan stagnatie ontstaan. Als de lucht rond de plant namelijk verzadigd is met waterdamp, dan zal de verdamping worden geremd. Dit kan zelfs buiten voorkomen, bij mist bijvoorbeeld.

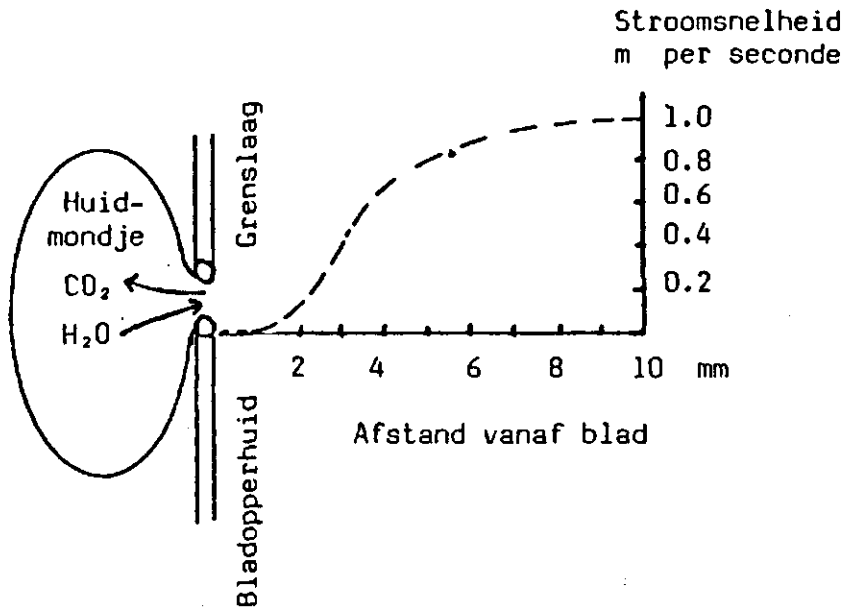
Dat de lucht helemaal niet in beweging is, zal zelden het geval zijn. Zodra namelijk ergens de temperatuur iets hoger is, wordt het gas daar lichter en gaat opstijgen. De plaats van het warme gas wordt dan ingenomen door het zwaardere koude gas. Zolang er nu maar energie wordt aangevoerd, blijft de beweging aan de gang. De planten in de betreffende ruime kunnen zo  $\text{CO}_2$  opnemen en waterdamp afgeven. Deze gassen worden met de stromende lucht mee aan- en afgevoerd (figuur 52).



Figuur 52. Gastransport door luchtbeweging. Temperatuurverschillen door energie-aanvoer veroorzaken luchtstroming. Door opname en afgifte van gassen door de plant kan de samenstelling van de lucht veranderen.

In de natuur ontstaat door dergelijke temperatuurverschillen wind. De wind blijft gaan doordat de zon steeds andere delen van de aarde verwarmt. In kassen gebeurt op kleine schaal hetzelfde. De snelheden zijn ook gering, maar de lucht blijft stromen zolang energie wordt aangevoerd door stoken of door de zon. Hoe meer energie wordt aangevoerd hoe groter de snelheden zijn. Bij veel stoken of veel zon, zullen er dus nagenoeg nooit aan- of afvoerproblemen ontstaan. Bij relatief hoge buitentemperaturen zonder zon neemt de luchtbeweging af. Gebruik van ventilatoren kan dan de lucht in beweging brengen om de plant van  $\text{CO}_2$  te voorzien en waterdamp af te voeren. Als de lucht in de kas echter overal even vochtig is, heeft luchtverplaatsing zonder verversing met buitenlucht voor waterdampafvoer weinig zin.

Als er veel gewas in een kas aanwezig is, wordt de luchtbeweging geremd. Denk aan een bed anjers of chrysanten. Dan kunnen er ook verschillen gaan optreden in de samenstelling van de lucht. Bijvoorbeeld in de bedden meer waterdamp en minder  $\text{CO}_2$ . In het algemeen geeft elk voorwerp in de ruimte weerstand bij het gastransport. Rond elk blad wordt als het ware een film van lucht vastgehouden. Dat grenslaagje lucht kleeft eigenlijk aan het blad vast. Hoe minder de lucht beweegt hoe dikker dat laagje is. Iets verder van het blad af neemt de snelheid weer toe (figuur 53).



Figuur 53. Stroomsnelheid van de lucht. Het grenslaagje lucht vlak langs het blad ligt stil. Op ongeveer 1 mm vanaf de bladopperhuid komt de lucht in beweging. Verder van het blad verwijderd neemt de snelheid toe tot circa 1 m per seconde.

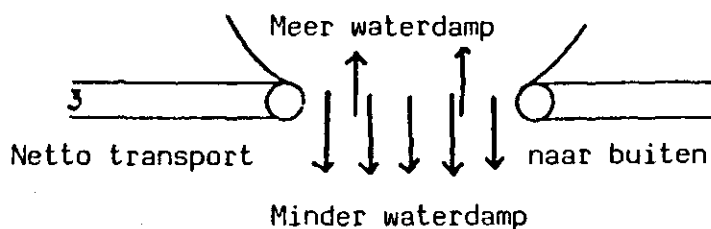
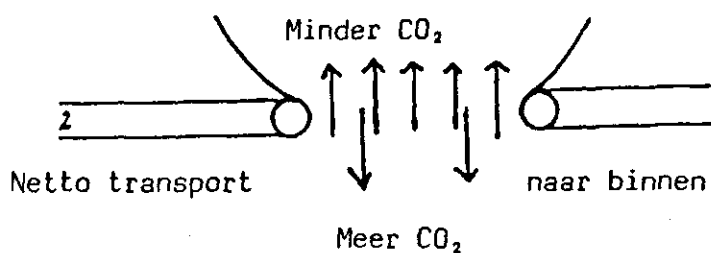
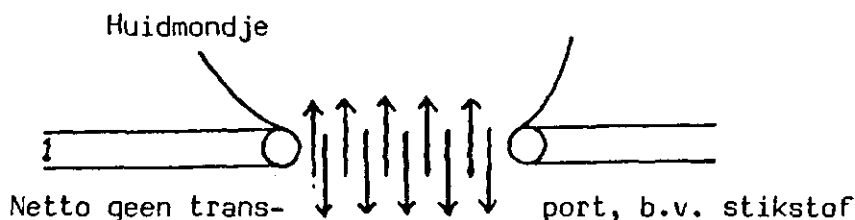
De snelheden worden meestal niet hoger dan circa 1 m per seconde.

### 6.1.3. Diffusie

Dat er een laagje lucht om het blad wordt vastgehouden, houdt ook in dat het koolzuurgas niet zonder meer het blad kan binnenstromen, ook al staan alle huidmondjes open. De opening van de huidmondjes is namelijk zo klein dat de weerstand tegen stroming onoverkomelijk groot is. De stroming valt dus stil. Hoe komt de plant dan bijvoorbeeld aan  $\text{CO}_2$ ? Niet door stroming, maar door diffusie. Dit proces berust op de omstandigheid dat alle moleculen altijd in beweging zijn. Ze schieten als het ware alle kanten op. Ook alle moleculen in de lucht ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$ ) vliegen schots en scheef heen en weer. Dat we dat niet voelen komt doordat de massa van de moleculen zo klein is. Deze intensieve bewegingen hebben echter tot gevolg dat de moleculen door elk klein gaatje naar binnen en naar buiten kunnen schieten. Zo springen de  $\text{CO}_2$ -moleculen door de grenslaag van stilstaande lucht toch het huidmondje binnen. Ook binnen het blad verplaatsen de moleculen zich door diffusie. De openingen zijn daar

nog kleiner dan die van de huidmondjes. Zo komen de  $\text{CO}_2$ -moleculen bij de cellen aan en worden daar gebruikt voor de fotosynthese. Hoe ze de cellen binnenkomen is een verhaal apart dat we hier niet willen behandelen. In omgekeerde richting kunnen we bovenstaande redenering toepassen voor waterdampmoleculen vanuit de cel naar de lucht.

Voordat uitwisseling plaatsvindt moet wel aan een zeer belangrijke voorwaarde worden voldaan. Er moet namelijk verschil in concentratie zijn. Want als er binnen en buiten het huidmondje evenveel moleculen van  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$  aanwezig zijn, springen er net zo veel naar buiten als naar binnen. In het blad wordt echter  $\text{CO}_2$  weggevangen voor de fotosynthese en dus wordt de concentratie lager. Soms wordt in de lucht  $\text{CO}_2$  aangevoerd en wordt de concentratie daar hoger. Dan gaan er meer  $\text{CO}_2$ -moleculen naar binnen dan naar buiten (figuur 54).

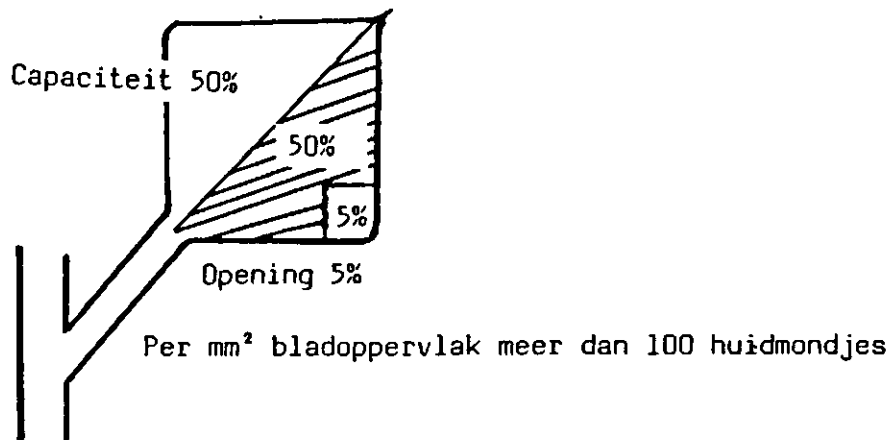


Figuur 54. Gastransport door diffusie. Alle moleculen bewegen constant. Bij stroming worden ze al bewegend allemaal in dezelfde richting verplaatst. Bij diffusie is de verplaatsing het netto resultaat van meerzijdige bewegingen. De transportrichting wordt bepaald door de concentratieverschillen.

Alle gassen gedragen zich onafhankelijk van elkaar. Dat is maar goed ook, want hoe zou er anders  $\text{CO}_2$  genoeg het blad kunnen binnenkomen wanneer er maar circa 0.03%  $\text{CO}_2$  is, tegen 80% stikstof?

#### 6.1.4. Huidmondjes

Hierboven is al gesproken over de huidmondjesopeningen. De rest van het blad is namelijk nagenoeg gasdicht. Van de grote hoeveelheid waterdamp die de plant verlaat, komt misschien 5% door de opperhuid van het blad naar buiten. De rest gaat via de huidmondjes. In het blad komen, bij de meeste planten aan de onderzijde, honderd of meer huidmondjes voor per  $\text{mm}^2$ . Dit zijn enorme aantallen, maar als zij open staan is het nog niet meer dan 5% van de bladoppervlakte. Het effect is echter veel groter. Als de huidmondjes openstaan kan de verdamping even groot zijn als uit een vrij wateroppervlak dat 50% bedraagt van de bladoppervlakte (figuur 55).



Figuur 55. Capaciteit van de huidmondjes. Per  $\text{mm}^2$  komen meer dan 100 huidmondjes voor. Als ze helemaal open staan, is de totale opening maximaal 5% van het gehele bladoppervlak. De capaciteit is even groot als wanneer het blad voor 50% open zou staan.

Als de plant goed functioneert staan de huidmondjes overdag open, want dat is ook nodig in verband met de opname van  $\text{CO}_2$ . Er kan dus normaal ook altijd verdamping plaatsvinden.

De huidmondjes gaan open als het licht is en weer dicht als het donker wordt. Dit betekent dat het koolzuurgas de plant in kan zodra de fotosynthese op gang komt door het licht.

De opening van de huidmondjes komt tot stand door licht. Door wattertekort kunnen ze echter toch weer dicht gaan ook als het licht is. Hierbij spelen ook hormonen een rol bijvoorbeeld abscisinezuur wat de opening remt, en cytokinine wat de opening bevordert. Cytokinenen worden in de wortels gevormd en met het water mee naar het blad vervoerd. De regeling van de huidmondjes wordt dus niet uitsluitend bepaald door de invloed van het vochtgehalte overdag, of door licht. Vandaar dat ook 's nachts huidmondjes iets kunnen openstaan.

Stopt de wortelgroei door te weinig licht of doordat te veel suikers voor bloemen of vruchten nodig zijn, dan neemt ook de cytokinineproductie af en wordt de regeling van de huidmondjesopening verstoord. Nu kan men zich afvragen waarom de plant de opening van de huidmondjes moet kunnen regelen. Immers, hoe meer  $\text{CO}_2$  er binnenkomt, hoe beter. Dat is juist, maar dat betekent ook dat de waterdamp vrij naar buiten kan. Dat is niet erg zolang de plant ge-

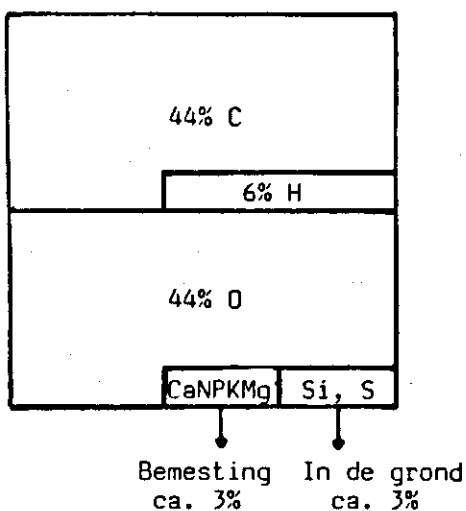
noeg water kan opnemen. Is de grond echter wat droog of iets dergelijks dan zou de plant te weinig opnemen en dan verdrogen. De plant sluit dus de huidmondjes bij watergebrek. Dit betekent dat bij watergebrek ook de fotosynthese geremd is. Het werkt maar een kant op, de plant kan namelijk wel de verdamping beperken, maar nooit actief opvoeren. Want als er geen dampdeficit is tussen de ademholte in het blad en de lucht erbuiten, dan maakt het ook niet uit of de huidmondjes wel of niet open staan. Hoe droger het blad wordt hoe verder de huidmondjes dicht gaan. Droogt de plant helemaal uit dan vervormen de cellen en sluit het huidmondje niet goed meer. Het blad gaat dan dood: "verbranding". Als de lucht zeer vochtig is en de worteldruk is hoog dan kan er zoveel druk in het blad heersen dat de huidmondjes dicht worden gedrukt. In zo'n geval moet natuurlijk waterdamp uit de lucht worden afgevoerd. Ook als de interne  $CO_2$ -concentratie in het blad hoog is, door doseren tot bijvoorbeeld 0.5%  $CO_2$ , gaan de huidmondjes dicht. Hoge  $CO_2$ -concentraties remmen daardoor de verdamping. Dit kan bij erg donker weer een bezwaar zijn. Als door fotosynthese  $CO_2$  is opgenomen, daalt de concentratie en gaan ze weer open.

## 6.2. Koolzuurgas

Na enkele algemene zaken over de gasuitwisseling willen we nu wat nader ingaan op enkele gassen afzonderlijk. We behandelen eerst het koolzuurgas omdat de plant daaruit zijn eigen lichaam opbouwt.

### 6.2.1. $CO_2$ : belangrijkste voedingsstof

Op pagina 23 (figuur 7) hebben we beschreven hoe de plant uit  $CO_2$  en  $H_2O$  onder invloed van het licht, suikers vormt en die gebruikt voor de groei. Ook aan de samenstelling van de plant kunnen we zien hoe belangrijk  $CO_2$  is. In figuur 56 geven we weer uit welke elementen een plant is samengesteld.

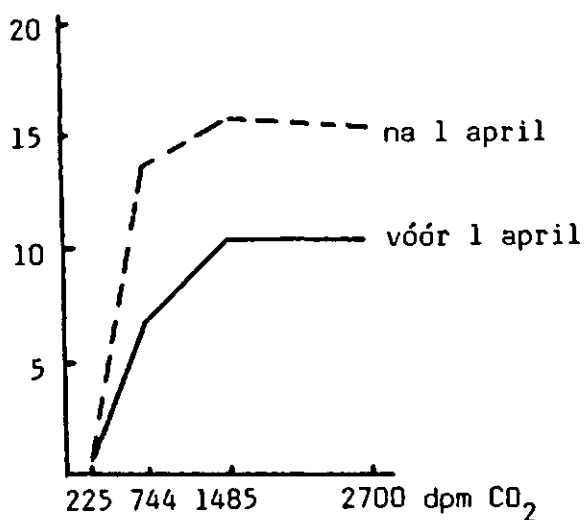


Figuur 56. Samenstelling van de plant (droge stof). De plant bestaat voor circa 94% uit C, H en O, afkomstig van  $CO_2$  en  $H_2O$ . Ongeveer 6% bestaat uit allerlei mineralen, waarvan we ongeveer de helft bemesten. De rest zit al in de grond.



Bezien we C, O en H (van  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$ ), dan komen we direct al op 94% van het totaal aan droge stof. Er blijft maar 6% over voor de rest. De helft hiervan (circa 3% ) geven we aan de plant via de bemesting. De rest zit vanzelf al in de grond. Het ligt dus voor de hand dat  $\text{CO}_2$ -gebrek voor de plant erger is dan welk ander gebrek ook. Gelukkig zit er van nature  $\text{CO}_2$  in de lucht, daardoor zal het zonder dat we  $\text{CO}_2$  bemesten toch wel groeien. In de natuur komt circa 0.03%  $\text{CO}_2$  voor, ook wel weergegeven als 300 dpm (delen per miljoen). Tijdelijk een te laag gehalte is zeer nadelig voor de fotosynthese. Een hoger gehalte dan 300 dpm bevordert de groei. Onderzoek heeft geleerd dat in het algemeen de groei toeneemt met 20-30% wanneer de  $\text{CO}_2$ -concentratie wordt verhoogd tot circa 1.000 dpm (0.1%). Als voorbeeld geven we de groei van komkommer bij concentraties hoger en lager dan 300 dpm (figuur 57).

Groei-duurverkorting (%)



Figuur 57.  $\text{CO}_2$ -concentratie en groei bij jonge komkommerplanten. Bij meer licht (na 1 april) is het effect groter.

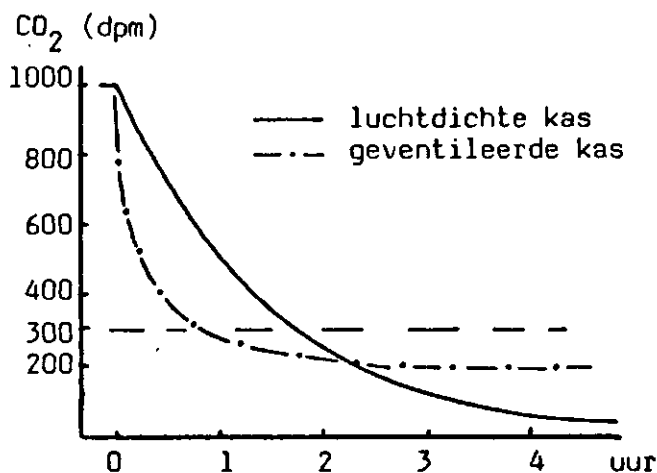
Duidelijk is te zien dat het  $\text{CO}_2$ -effect bij veel licht (na 1 april) groter is dan bij weinig licht. Verder wordt de gewichtsgroei meer bevorderd door  $\text{CO}_2$ -toediening dan de oppervlaktegroei. Het blad wordt dus dikker en minder gevoelig. Ook de opbrengst is door  $\text{CO}_2$  in positieve zin te beïnvloeden.

Als we weten hoeveel droge stof per  $\text{m}^2$  per dag wordt gevormd, is gemakkelijk uit te rekenen hoeveel  $\text{CO}_2$  de planten daarvoor moeten opnemen. De maximale groeicapaciteit van een gewas is circa 20  $\text{g}_2$  droge stof per  $\text{m}^2$  per dag. Dit vraagt ongeveer 2 liter  $\text{CO}_2$  per  $\text{m}^2$  per uur. Dit komt overeen met de verbrandingsgassen van 2  $\text{m}^3$  aardgas per 1.000  $\text{m}^2$  per uur. Dit is zeer weinig. We geven dus eigenlijk geen  $\text{CO}_2$  aan de plant. We voegen  $\text{CO}_2$  toe om aan te vullen wat naar buiten weglekt. Die hoeveelheid is namelijk veel groter dan wat de plant gebruikt.

### 6.2.2. CO<sub>2</sub>-gehalte

We zagen al dat het CO<sub>2</sub>-gehalte van de lucht invloed heeft op de groei. Voor een maximale produktie moeten we dus CO<sub>2</sub> toevoegen. Onder glas is dat ook technisch mogelijk.

Door de fotosynthese, wordt CO<sub>2</sub> uit de lucht opgenomen. Als een kas "luchtdicht" zou zijn dan zou een gehalte van 1.000 dpm ongeveer elk uur worden gehalveerd als er veel licht is. Figuur 58 laat zien hoe snel het gehalte dan zou dalen tot een niveau waarbij groei nagenoeg onmogelijk wordt, namelijk in 4 uur tijd van 1.000 naar 60 dpm (0.006%).



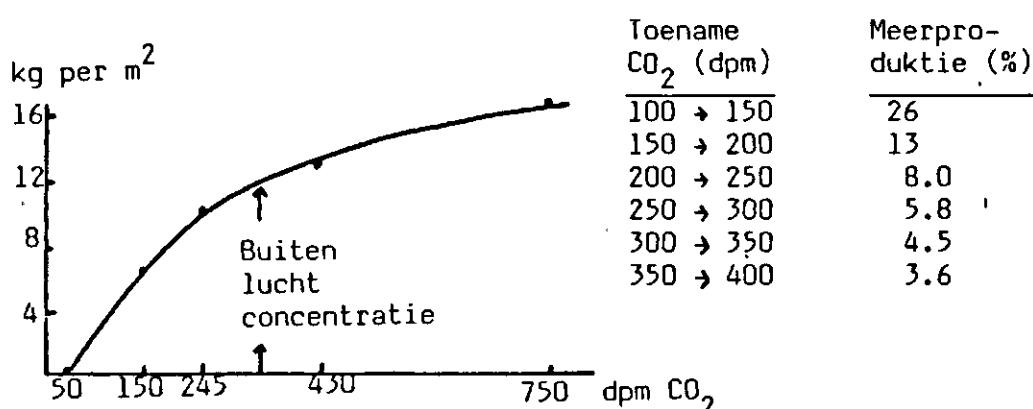
Figuur 58. CO<sub>2</sub>-gehalte in de kas. In een luchtdichte kas daalt het CO<sub>2</sub>-gehalte alleen door het gebruik. Het wordt getemperd door CO<sub>2</sub> uit de grond. Als wordt gelucht, daalt het CO<sub>2</sub>-gehalte veel sneller maar minder diep door uitwisseling met buitenlucht. Het evenwicht ligt altijd lager dan 300 dpm, als niet wordt gedoseerd.

Gaan we nu luchten in een kas met 1.000 dpm waarin niet wordt gedoseerd dan zal de concentratie nog sneller dalen! Er gaat immers lucht met 1.000 dpm uit en er komt lucht met 300 dpm van buiten voor terug. In figuur 58 zien we dat die daling langzamer gaat als we een binnenconcentratie naderen van 300 dpm. Dit komt doordat inkomende en uitstromende lucht beide ongeveer 300 dpm bevatten. Door het verbruik in de plant wordt de binnenconcentratie echter lager dan 300 dpm. Een lekke kas is nu in het voordeel want er gaat bijvoorbeeld 200 dpm uit en er komt 300 dpm voor terug. Als we niet doseren komt het evenwicht dus altijd lager te liggen dan de concentratie van de buitenlucht. We moeten liefst naar 1.000 dpm. Waar moet die hoeveelheid CO<sub>2</sub> vandaan komen? Van nature komt een hoeveelheid CO<sub>2</sub> uit de grond, door het bodemleven dat ademt en dus CO<sub>2</sub> afgeeft. Hoe meer organisch materiaal in de grond, hoe meer leven, hoe meer CO<sub>2</sub>. Bij een komkommerteelt op strobalen kon dat zoveel zijn dat de gewenste 1.000 dpm werd gehaald. Levert de grond geen CO<sub>2</sub> genoeg dan moeten we bijvoorbeeld doseren door middel van de verbrandingsgassen van de verwarmingsinstallatie. Het evenwicht van 1.000 dpm komt dus tot stand tussen aanvoer uit de grond plus doseren en gebruik plus afvoer naar buiten. Omdat we boven de natuur-

lijke concentratie van 300 dpm willen blijven, betekent dit dat er een constante CO<sub>2</sub>-stroom plaatsvindt van binnen naar buiten. We werken nu eenmaal met lekke kassen. We moeten dus constant doseren. We zouden dus ook constant moeten stoken, desnoods met open luchtramen. Of dit rendabel is, laten we hier buiten beschouwing.

### 6.2.3. CO<sub>2</sub>-dosering

In de praktijk wordt veelal CO<sub>2</sub> gedoseerd via de verbrandingsgassen van de verwarmingsinstallatie. Zolang er wordt gestookt is er CO<sub>2</sub>. Als we geen warmte meer in de kas kunnen hebben, hebben we dus ook te weinig CO<sub>2</sub>. De problemen komen als de zon voor de warmte gaat zorgen in het voorjaar. Er is veel CO<sub>2</sub> nodig en we willen eigenlijk niet ventileren. Het CO<sub>2</sub>-gehalte daalt dus sterk (figuur 58). Wat betekent dat voor het gewas? In figuur 59 is dat weergegeven.



Figuur 59. CO<sub>2</sub>-concentratie en opbrengst bij komkommers. Hoe lager het CO<sub>2</sub>-gehalte is, hoe groter het effect is van toediening van koolzuurgas.

Uit deze produktieproef blijkt dat vermindering van het CO<sub>2</sub>-gehalte steeds meer opbrengst gaat kosten, naarmate er minder CO<sub>2</sub> aanwezig is. Een vermindering van 50 dpm bij 400 dpm kost 3.6% produktie maar bij 150 dpm kost dat 26% van de produktie. Lage concentraties zijn dus zeer schadelijk. Een verhoging van 150 dpm naar het buitenluchtniveau heeft tweemaal zoveel effect als een verdere verhoging tot 800 dpm. Zeer hoge concentraties hebben dan ook niet veel zin.

### 6.2.4. Samenhang CO<sub>2</sub> - licht - temperatuur

Als er geen licht is, is er geen fotosynthese en is er dus ook geen CO<sub>2</sub> nodig. Als het donker is gaat de plant wel door met ademen. Er komt dan CO<sub>2</sub> vrij door de ontbinding van suikers tot H<sub>2</sub>O en CO<sub>2</sub>. 's Nachts geeft het vrijkomende koolzuurgas een concentratieverhoging. Bij gebruik van bijvoorbeeld broeiveuren kon het CO<sub>2</sub>-gehalte 's nachts zeer hoog oplopen. Zodra het licht wordt gaat de plant CO<sub>2</sub> gebruiken en al gauw is de nachtvoorraad opgebruikt en daalt de concentratie tot circa 300 dpm of lager. Er is dan maar weinig licht nodig om het aanwezige koolzuurgas te benutten. Voor een optimale groei moet dan ook CO<sub>2</sub> worden gedoseerd zodra het licht is.

Nu doet zich ook nog de vraag voor in hoeverre de temperatuur moet worden aangepast. Men zou zich namelijk kunnen voorstellen dat bij meer licht en meer CO<sub>2</sub> ook meer warmte nodig is. In de praktijk valt dat erg mee. In de winter moeten we voor onze planten in verhouding tot het licht toch al hard stoken omdat ze veelal van subtropische herkomst zijn. Wat later in het seizoen zal de zon meestal meehelpen de temperatuur te verhogen. In laboratoriumproeven is wel duidelijk gebleken dat de temperatuur moet worden aangepast aan de CO<sub>2</sub>-concentratie om een maximale fotosynthese-snelheid te bereiken. Om de maximale groeisnelheid te halen stoken we echter veelal zo veel dat het niet meer helpt om de temperatuur nog eens extra te verhogen als er CO<sub>2</sub> wordt gegeven. De plant kan de assimilaten kennelijk niet sneller verwerken.

#### 6.2.5. CO<sub>2</sub> en wortelgroei

Als de fotosynthese goed verloopt, is er voor alle functies in de plant energie genoeg en zal de groei optimaal kunnen verlopen. Als er CO<sub>2</sub> tekort is, zal de plant niet over voldoende droge stof kunnen beschikken. Dit wordt natuurlijk nog versterkt door tijdelijk lichttekort. De plant zal in zo'n geval niet alle functies in dezelfde mate verminderen. Veelal komt de wortelgroei eerder in de knel dan de bovengrondse delen. Dit wordt nog in de hand gewerkt doordat de wortels toch al minder goed worden behandeld dan de rest van de plant. In de grond reageert namelijk alles te traag. Door die minder goede verzorging heeft de plant juist meer wortels nodig bijvoorbeeld in vergelijking tot een substraatteelt of een teelt in potten.

Als er nu iets met de CO<sub>2</sub>-voorziening niet in orde is, zal zich dat niet direct duidelijk zichtbaar voordoen. De wortelgroei gaat echter achterlopen. Daardoor kan de wateropname in het gedrang komen en kan de beruchte bladverdroging ontstaan. Dit gebeurt alleen in de winter omdat het blad dan gevoelig is. Er is dus een goede kans dat bladverdroging wordt ingeleid door een laag CO<sub>2</sub>-gehalte, terwijl men in de praktijk juist denkt aan CO<sub>2</sub>-overmaat. Als men in zo'n geval dan ook nog minder CO<sub>2</sub> gaat toevoegen wordt de kwaal alleen maar erger. Dat CO<sub>2</sub>-toevoeging de wortel ten goede kan komen bleek bij sla. In een proef gaf meer CO<sub>2</sub> meer glazigheid. Dit is het gevolg van een hogere worteldruk, dus meer activiteit van de wortels.

#### 6.3. Waterdamp

De gegevens in figuur 56 (pagina 94) geven aan dat CO<sub>2</sub> in hoofdzaak dient voor de produktie van droge stof in de plant. De plant bestaat echter gemiddeld voor 90% uit water. Dit water blijft in de plant en het komt dus in dit hoofdstuk niet aan de orde omdat we het over de lucht om de planten willen hebben. De plant neemt echter nog veel meer water op. Een vuistregel kan[ zijn dat een plant ongeveer 10 maal zoveel water opneemt als er in de plant achterblijft. Het water dat in de plant blijft is dan ook bijna te verwaarlozen ten opzichte van het water dat wordt verdampt. Aangezien al dit water de plant verlaat als damp, is het nodig om ook op de waterdamp in de lucht te letten.

### 6.3.1. Verdamping en groei

Bij de bespreking van  $\text{CO}_2$  werd duidelijk dat dit gas alles met groei te maken heeft. Met waterdamp is dit verband veel minder duidelijk. In principe is de groei zelfs onafhankelijk van de hoeveelheid water die wordt verdampt. Voor dezelfde groei kan een plant 8 of 12 maal zijn gewicht aan water verdampen. Als een plant door een hoog vochtgehalte in de lucht minder verdampt, behoeft dat niet van invloed te zijn op de groei. Evenmin zal de groei behoeven te veranderen door een verlaagde luchtvochtigheid. Als de verschillen erg groot worden zal dit echter zeker gevolgen hebben voor de groei.

In de praktijk van het telen komt daar nog bij dat luchtvochtigheidsverschillen meestal zijn gekoppeld aan andere groeiomstandigheden. Een lage luchtvochtigheid komt meestal voor bij helder weer. Er zal dus meer licht zijn dan bij een hoge luchtvochtigheid, want dat komt meestal voor bij donker weer.

We kunnen desnoods zelf door stoken droging bewerkstelligen en dus de plant dwingen water af te geven. Dikwijls noemt men dat met een onjuiste term: de plant activeren. Het betekent alleen dat de waterstroom door de plant wat groter wordt. Dit zou de mineralenopname kunnen bevorderen. Misschien is dat voordelig als er anders helemaal geen verdamping zou zijn. Het heeft echter zeker geen invloed op de groei in de zin van fotosynthese. Of er 10% meer of minder water door de plant heengaat betekent namelijk helemaal niet dat er meer of minder  $\text{CO}_2$  wordt vastgelegd in droge stof. Na deze constatering willen we nader ingaan op het belang van het waterdampgehalte in de lucht.

### 6.3.2. Natuurkunde over waterdamp

Van water kennen we in de natuur om ons heen drie verschijningsvormen: ijs, vloeibaar water en gasvormig water (stoom of waterdamp). Met ijs hebben we onder glas niet veel te maken. Stoom (waterdamp van meer dan  $100^\circ \text{C}$ ) gebruiken we nog wel eens, maar niet in de teelt. Blijven over water en waterdamp. Over water behoeven we in dit hoofdstuk ook niet veel te zeggen. Het komt meestal aan de orde als condenswater.

We hebben het over de lucht om de plant en dat is een mengsel waarin onder andere waterdamp voorkomt. Het gehalte wisselt en het kan hoger worden als door energie-aanvoer steeds meer vloeibaar water overgaat in dampvorm. Daarvoor is veel energie nodig want de moleculen in de vloeistof trekken elkaar sterk aan. De moleculen zijn altijd in beweging en hoe meer energie wordt aangevoerd, hoe intensiever die beweging wordt. Ze springen als het ware over in de lucht (zie 6.1.3). Als de temperatuur bij onze luchtdruk  $100^\circ \text{C}$  is, wordt de beweging zo hevig dat  $\text{H}_2\text{O}$  bij normale druk niet meer als vloeistof kan bestaan en in damp overgaat (stoom).

We kunnen niet onbeperkt vocht in de lucht brengen. De capaciteit van de lucht voor wateropname is beperkt. De lucht kan "vol" zijn voor waterdamp, we noemen dat "verzadigd". We zeggen dat de luchtvochtigheid dan 100% is. Meer water kan er in de lucht niet bij, waardoor er kleine druppeltjes ontstaan (mist, wolken). De

waterdamp is weer gecondenseerd tot water. In kassen ontstaat geen mist maar condenseert waterdamp bijvoorbeeld tegen het koude glas. De energie die eerst was opgenomen om de moleculen uit elkaar te krijgen komt nu ook weer als warmte vrij.

Nu is er nog een vervelende complicatie bij dit verhaal. De opnamecapaciteit voor waterdamp in de lucht is namelijk afhankelijk van de temperatuur. We geven wat cijfers in tabel 1.

Tabel 1. Hoeveelheid waterdamp in verzadigde lucht (g waterdamp per kg lucht) bij verschillende temperaturen ( $^{\circ}$  C).

T ( $^{\circ}$ C)	water- damp	T ( $^{\circ}$ C)	water- damp	T ( $^{\circ}$ C)	water- damp	T ( $^{\circ}$ C)	water- damp
5	5.4	10	7.6	15	10.6	20	14.7
6	5.8	11	8.2	16	11.4	21	15.6
7	6.2	12	8.8	17	12.1	22	16.6
8	6.7	13	9.4	18	12.9	23	17.7
9	7.1	14	10.0	19	13.8	24	18.9

Hoe warmer de lucht hoe meer waterdamp er in kan. Andersom: hoe verder de lucht afkoelt, hoe meer waterdamp moet condenseren. De temperatuur waarbij juist condensatie zou gaan optreden heet de dauwpunttemperatuur.

Als we uitgaan van verzadigde lucht van  $20^{\circ}$  C (tabel 1) dan zit er per kg circa 15 g waterdamp in. De dauwpunttemperatuur van lucht met 15 g waterdamp is dan  $20^{\circ}$  C. Zit er nu maar 7.5 g in dan is de relatieve vochtigheid (r.v.) 50%. Er zou nog 7.5 g waterdamp in de lucht kunnen worden opgenomen. Dit verschil noemt men het deficit. Voor lucht van  $20^{\circ}$  C is in tabel 2 bij een aantal RV's de vochtinhoud gegeven met het dampdeficit en de dauwpunttemperatuur.

Tabel 2. Vochtigheid in lucht van  $20^{\circ}$  C: relatieve vochtigheid (%), vochtinhoud (g waterdamp per kg lucht), dampdeficit (g per kg) en dauwpunttemperatuur ( $^{\circ}$  C).

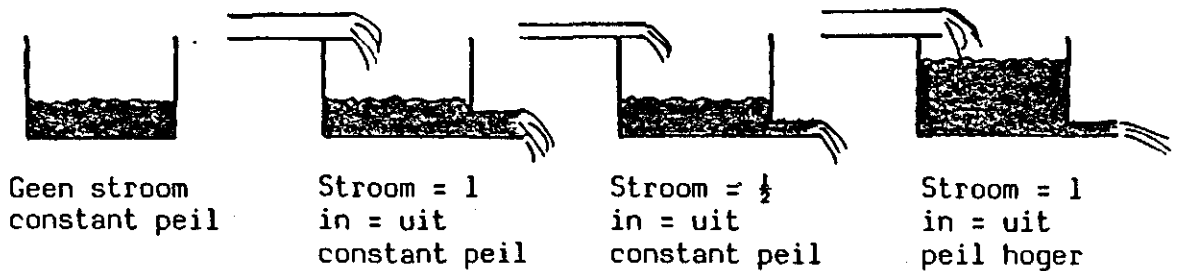
RV (%)	Vochtinhoud (g per kg)	Dampdeficit (g per kg)	Dauwpunt ( $^{\circ}$ C)
100	14.9	0.0	20.0
80	11.9	3.0	16.5
60	8.8	6.1	11.9
40	5.7	9.2	5.7
20	2.9	12.0	-

Aangezien binnen een blad de luchtvochtigheid altijd 100% is, kan worden gesteld dat bij een bladtemperatuur van  $20^{\circ}$  C het vochtdefi-

cit tussen plant en lucht bij 60% RV 6 g per kg is als de lucht even warm is. Is de plant warmer door instraling, bijvoorbeeld 24° C, dan is het deficit 10 g per kg omdat verzadigde lucht van 24° C 19 g waterdamp bevat (tabel 1).

### 6.3.3. Stroom en peil

Bij de beschouwing van de luchtvochtigheid moeten we bedenken dat de hoeveelheid vocht die in 1 kg lucht aanwezig is niet zo heel veel zegt. Als alles hermetisch gesloten is kan er bijvoorbeeld 20 g waterdamp aanwezig zijn. Er komt niets bij en er gaat niets af. Het andere uiterste is dat de plant per kg lucht 20 g water per minuut verdampt en dat er ook een afvoer bestaat van 20 g per minuut. Het "peil" van de waterdamp is in beide gevallen gelijk maar de "stroom" is in het ene geval nul en in het andere zeer groot. In figuur 60 zijn enkele situaties in beeld gebracht.

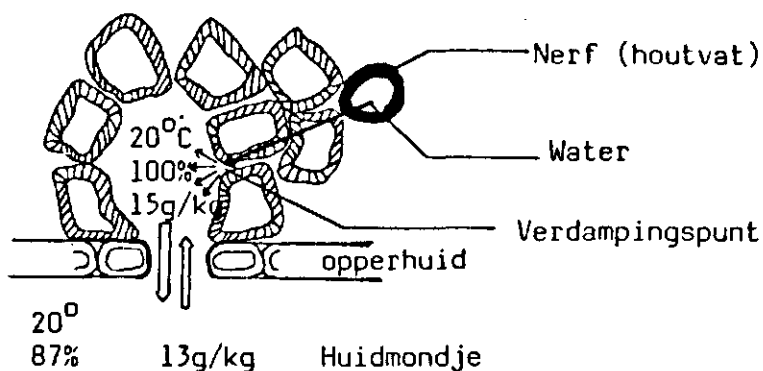


Figuur 60. Stroom en peil. Als het peil van bijvoorbeeld de luchtvochtigheid gelijk blijft, kan dat gebeuren bij grote verschillen in vochtverplaatsing. Bij een grote vochtstroom moet de plant dat vocht kunnen aanvoeren via de wortels.

De stroom waterdamp door de kas kan op verschillende manieren worden vergroot. Als de waterdampaanvoer en -afvoer in gelijke mate veranderen, neemt de stroom toe maar de luchtvochtigheid blijft gelijk. Als de plant meer water verdampt maar de afvoer door ventilatie en condensatie blijft gelijk, dan loopt natuurlijk de luchtvochtigheid op. Dat heeft vervolgens een snellere condensatie tot gevolg of een snellere afvoer via de raamopening. De stroom wordt dan weer even groot maar de luchtvochtigheid is gestegen. Dit verhaal gaat eigenlijk voor veel meer dingen op, zoals voor temperatuur (zie 5.4.1.), maar ook voor het CO<sub>2</sub>-gehalte (zie 6.2.1.).

### 6.3.4. Hoe verdampt de plant het water?

In figuur 61 geven we vergroot weer hoe het blad eruit ziet bij het huidmondje.



Figuur 61. Verdamping in het blad. Het water treedt uit het houtvat in de celwanden bij het huidmondje. Daar vindt de verdamping plaats. De RV in het blad is 100% en buiten iets lager bij dezelfde temperatuur. Binnen het blad bevinden zich meer watermoleculen dan erbuiten. GeBvolg is: afvoer en voortgaande verdamping.

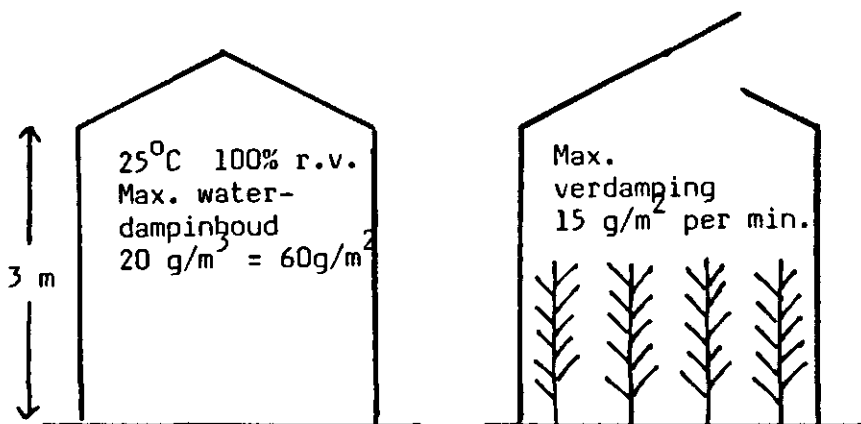
De cellen binnen het blad zijn verzadigd met water, het is als het ware nat filtreerpapier (zie 2.4.3.). De watermoleculen springen uit de celwand de ademholte in. De verdamping vindt dus plaats binnen de plant. Dat gaat door tot de lucht binnen het blad verzadigd is. De waterdamp kan namelijk niet ongehinderd naar buiten door de weerstand van de huidmondjes. Van de weerstand tegen de waterstroom in de plant zit namelijk 99% in de huidmondjes. We kunnen er daarom vanuit gaan dat de lucht binnen het blad altijd verzadigd is. Als we de temperatuur van het blad weten, kunnen we in de tabel aflezen hoeveel waterdamp er in de lucht binnen de plant zit. Als het blad afkoelt condenseert het water weer op de celwanden. Als we ook de temperatuur en de vochtigheid van de lucht om het blad weten dan kunnen we het verschil uitrekenen. Zie het voorbeeld in figuur 61. Het verschil noemen we dampdeficit, hier 2 g waterdamp per kg lucht. De diffusiedruk van binnen het blad naar buiten is groter dan andersom. Er treedt dus waterdamp uit het blad. Dit gaat door tot de lucht ook 15 g waterdamp bevat. Hierbij nemen we aan dat het blad energie aangevoerd krijgt om het water in damp om te zetten. Gebeurt dat niet, dan koelt het blad af tot bijvoorbeeld 18°C en dan kan er maar 13 g waterdamp in de lucht zijn (zie tabel 1), evenveel als bij 20°C en 87% RV. De verdamping stopt dus. We gaan er natuurlijk ook van uit dat de huidmondjes open staan, wat betekent dat de wateraanvoer niet beperkend is. Conclusie: het blad moet warmer zijn dan de lucht en/of de lucht buiten het blad moet droger zijn dan de lucht binnen het blad anders stopt de verdamping. We kunnen dan ook de plant niet "activeren". We kunnen soms wel de omstandigheden door stoken en/of luchten veranderen, waardoor er water uit de plant kan ontsnappen. De plant is passief.

### 6.3.5. Waterdampafvoer door luchtverversing

Tot nu toe hebben we ons beperkt tot de waterdamp in het blad en in de directe omgeving daarvan. Als er verder niets met de waterdamp in de lucht zou gebeuren, dan zou de verdamping al gauw stoppen. In



figuur 62 geven we een voorbeeld.



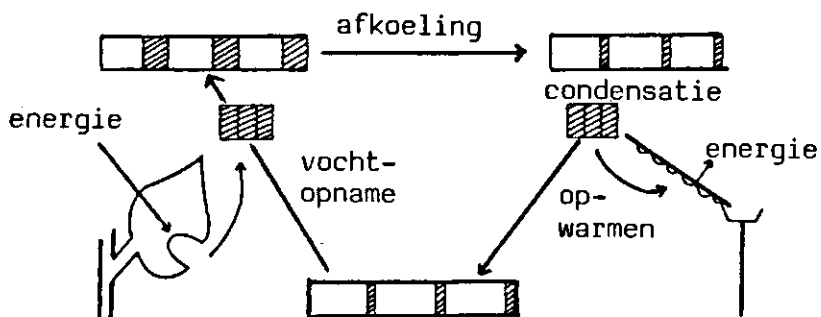
Figuur 62. Waterdampafvoer door luchtverversing. Bij volle zon is de verdamping ongeveer 15 g per m<sup>2</sup> per minuut. De maximale waterdampinhoud van een kas is bij 25° C circa 60 g per m<sup>2</sup>. Bij 75% RV is de ruimte dan na 1 minuut verzadigd. Een zeer snelle verversing met drogere lucht is dan nodig.

Bij 25° C kan de lucht in een kas maximaal circa 20 g waterdamp per kg<sub>3</sub> lucht bevatten. Dit is ook ongeveer 20 g per m<sup>3</sup> lucht, doordat 1 m<sup>3</sup> lucht ongeveer 1 kg weegt<sub>3</sub>. Als de kas 3 m hoog is, kan dus 3 x 20 = 60 g waterdamp per m<sup>2</sup> worden verdampt tot de lucht is verzadigd. De maximale verdamping door een gewas is circa 15 g per m<sup>2</sup> per minuut. Er is dan ook een zeer snelle luchtverversing nodig, want als de luchtvochtigheid 75% is, is er maar ruimte voor 1 minuut maximale verdamping. Ook bij een veel geringere verdamping is al veel afvoer nodig. Als we de lucht niet opzettelijk verversen zal dit echter toch gemiddeld elk uur een keer gebeuren door lekkage.

Bij luchtverversing moet de buitenlucht natuurlijk wel wat droger zijn anders helpt het niet. Is het in dit<sub>3</sub> voorbeeld buiten 20° C en 70% RV, dan is circa 10 g waterdamp per m<sup>3</sup> lucht aanwezig.<sub>3</sub> Bij opwarming van deze lucht tot 25° C kan er dus nog 10 g per m<sup>3</sup> bij voordat de lucht weer is verzadigd. De plant kan dan weer waterdamp afgeven. Als het koud is zullen we niet willen luchten, maar dan is er een andere mogelijkheid tot vochtafvoer.

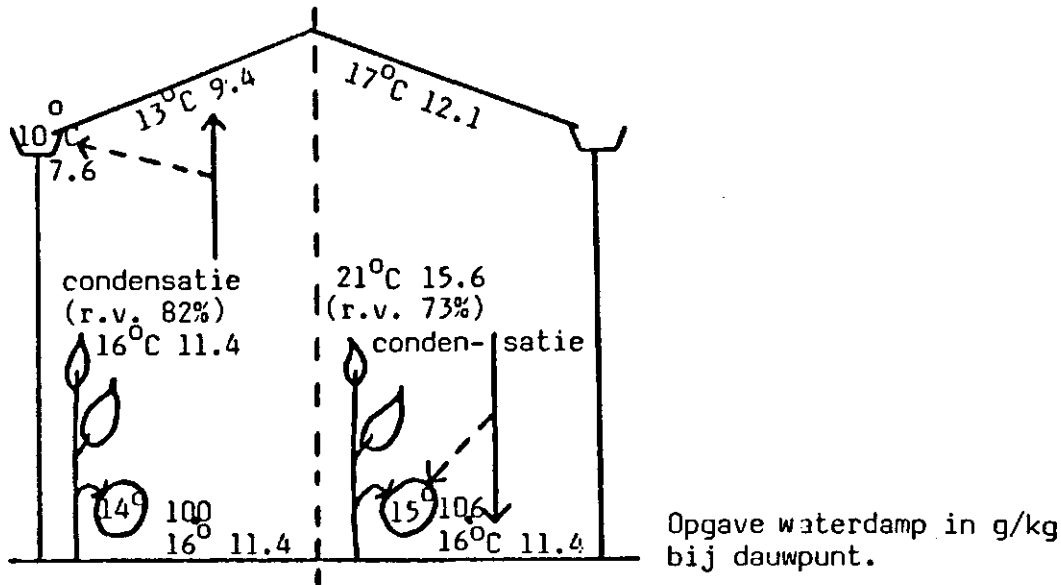
#### 6.3.6. Waterdampafvoer door condensatie

Naast luchtverversing is er nog een andere manier van waterdampafvoer, namelijk condensatie. Ook door condensatie van waterdamp in de kas kan de lucht worden gedroogd om ruimte voor de verdamping te maken. Bij luchtverversing gaat de waterdamp naar buiten met de opgenomen energie. Bij condensatie blijft het water binnen en de energie komt vrij op de plaats van condensatie (figuur 63).



Figuur 63. Waterdampafvoer door condensatie. Zolang er maar een plaats is in de kas, die koel genoeg is om condensatie te veroorzaken, kan de plant waterdamp blijven afgeven aan de lucht.

Daar moet de warmte worden afgevoerd naar buiten anders stopt de condensatie en dus de waterdampafvoer. Condensatie vindt dus plaats op de koudste plaats in de kas. De temperatuur van die koudste plaats bepaalt ook de RV in de rest van de kas. Hoe kan dat? De oorzaak ligt in de snelle verdeling van de waterdamp door de kas. Er is daardoor overal per m<sup>3</sup> ongeveer evenveel vocht aanwezig. De waterdampaanvoer uit de plant en de afvoer door condensatie veroorzaken wel een waterdampstroom in de kas, maar de concentratie is overal ongeveer gelijk. Wat gebeurt er nu? We geven een voorbeeld (figuur 64).



Figuur 64. Waar condenseert waterdamp? Condensatie op de koudste plaatsen. Het vochtgehalte daar (dauwpunt) is bepalend voor de hele ruimte. Verklaring: zie tekst.

Links in de figuur is de situatie in de vroege morgen geschetst. De goot heeft de laagste temperatuur, maar daarop kan niet genoeg waterdamp condenseren. Het vochtgehalte in de ruimte wordt bepaald

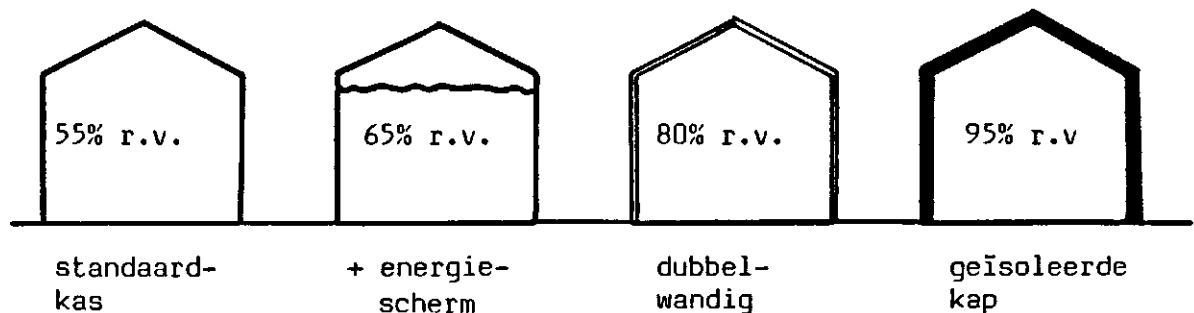
door de glastemperatuur van  $13^{\circ}$  C. Tegen het glas is de vochtigheid 9.4 g per kg (dauwpunt). Door de snelle uitwisseling is dit vochtgehalte in de hele kas zo hoog. Omdat de lucht  $16^{\circ}$  C is en 11.4 g waterdamp per kg kan bevatten, is de RV 82%. De vrucht blijft droog doordat het dauwpunt (10.0 g per kg) juist wat hoger ligt dan de luchtvochtigheid (9.4 g per kg).

Stoken we nu wat snel op, dan krijgen we de situatie in de rechterhelft van figuur 63. Nu bepaalt de grondoppervlakte de vochtigheid in de lucht, namelijk op 11.4 g per kg wat bij  $21^{\circ}$  C een RV oplevert van 73% omdat de lucht 15.6 g waterdamp per kg kan bevatten. Het glas droogt nu op want het is  $17^{\circ}$  C geworden en bij die temperatuur is 12.1 g waterdamp per kg mogelijk, terwijl er maar 11.4 g in de lucht zit. De plant blijft wel verdampen want die is snel opgewarmd. De waterdamp slaat nu neer op de grond. Ook de vrucht wordt nat. Die was wel wat opgewarmd, maar het dauwpunt (10.6 g per kg) is lager dan van de grond. De RV is een slechte maat in dit geval, want de absolute vochtigheid in de kas is gestegen van 9.4 tot 11.4 g per kg maar de RV is gedaald van 82 naar 73%, terwijl op de vrucht condensatie optreedt.

De koudste oppervlakte van de kas bepaalt dus de luchtvochtigheid. De capaciteit moet wel groot genoeg zijn om het waterdampaanbod te kunnen condensereren. Het koudste oppervlak mag desnoods water zijn, ook daarop slaat waterdamp neer. Men kan zo lucht drogen met koud water en in wezen gebeurt dat ook op nat glas.

#### 6.3.7. Potdichte kassen

In de tijd dat de energie erg duur was, is veel aandacht besteed aan het isoleren van kassen. Na daling van de energieprijzen is die aandacht weer verslapt. Toch blijft energie een zodanig grote kostenpost dat beperking van de energie-afvoer belangrijk blijft. Uit het voorgaande is duidelijk geworden dat de luchtvochtigheid in de kas afhangt van de temperatuur van het kasdek. Men kan de kas beter isoleren bijvoorbeeld met een energiescherm, dubbel glas en door isolatie van de goten met kunststof. Men is zelfs bezig geweest met een isolerende kap om de kas. Dat is vanwege de dalende energieprijzen weer op de achtergrond geraakt. De mate van isolatie heeft echter ingrijpende gevolgen voor de vochtigheid van de lucht.



Figuur 65. Energiebesparing en luchtvochtigheid. Hoe beter een kas geïsoleerd is, hoe hoger de wandtemperatuur wordt. Daardoor wordt de dauwpunt-temperatuur verhoogd en stijgt de luchtvochtigheid.

Hoe dichter de kassen, hoe minder uitwisseling met de buitenlucht mogelijk is. Een tweede factor is de wandtemperatuur. Hoe hoger die is (betere isolatie) hoe minder condensatie plaatsvindt en hoe hoger de luchtvochtigheid zal zijn bij gesloten scherm en dergelijke. We spreken, behalve bij dubbel glas, dus over de nacht. In figuur 65 geven we een schematisch voorbeeld.

De hogere luchtvochtigheid in dichtere kassen gaat dus gepaard met minder energie-aanvoer en dus zal ook de verdamping zeer gering zijn.

### 6.3.8. Plant en luchtvochtigheid

We willen nu de plant weer eens wat meer in het middelpunt plaatsen.

Als de gehele kas is gevuld met blad en de huidmondjes zijn geopend, dan is dat te vergelijken met een grote oppervlakte nat filtreerpapier. Als er zon is wordt door die energie water verdampt en stijgt de luchtvochtigheid. Het is daarom ook moeilijk om via de luchtvochtigheid het klimaat te regelen. Stel dat we vocht gaan afvoeren: de plant zal dan meer gaan verdampen, of de plant kan zo gauw geen water genoeg opnemen. In dit laatste geval heeft de verhoogde vochtafvoer wel een verlaagde luchtvochtigheid tot gevolg, maar brengt het de plant in een moeilijker situatie, onder andere door toenemende bladtemperatuur.

De plant komt in een heel andere situatie te verkeren als de temperatuur van de plant lager is dan de luchttemperatuur. Er kan dan water op de plant condenseren. Het blad zal meestal zo snel in temperatuur veranderen dat condensatie wordt voorkomen. Stengels en vruchten kunnen gemakkelijk te langzaam opwarmen en zo beneden de dauwpunttemperatuur komen. Bij hoge vochtigheden treedt dan condensatie op. Dit wordt meestal ongewenst geacht (schimmelaantasting en dergelijke). Om dit te voorkomen moeten temperatuurovergangen worden getemperd, bijvoorbeeld een hogere nachttemperatuur of een langzamere verhoging van de nacht- naar de dagtemperatuur. Het vochtgehalte wordt niet geregeld, maar de temperatuur wordt aangepast.

### 6.3.9. Regeling van de luchtvochtigheid?

We schreven al dat de luchtvochtigheid slecht als regelgrootheid is te gebruiken omdat de plant deze grootheid kan beïnvloeden. Klimaatregeling heeft echter meestal wel invloed op de luchtvochtigheid doordat we energie aan- en afvoeren: stoken en luchten.

Hoe groter de energiestroom die langs de plant gaat, hoe meer waterdamp wordt afgevoerd. Toen de energie nog goedkoop was, werd dikwijls door stoken energie aangevoerd bij open luchtramen. Hierdoor neemt de verdamping toe, wat echter niet wil zeggen dat de luchtvochtigheid ook hoger wordt. Eerder was het omgekeerde het geval door snelle afvoer.

Naarmate de energie duurder is zullen we proberen minder te stoken en te luchten. De planten zullen dus minder water verdampen en in doorsnee groeien bij een wat hogere luchtvochtigheid. De planten worden dan wat gevoeliger. Problemen hiermee treden eigenlijk alleen op bij zeer weinig licht en een hoge buitentemperatuur,

omdat dan bijna in het geheel niet behoeft te worden gestookt. Deze situatie komt vooral voor in de late herfst en dan probeert men de nadelen te ondervangen met kortdurende temperatuurverhogingen: temperatuurstoot. Het effect hiervan is echter tamelijk gering.

#### 6.3.10. Waterdamp en CO<sub>2</sub>

Tijdens de groei van de plant verdampt de plant tienmaal zijn gewicht aan water. Dat moet allemaal door de huidmondjes naar buiten. Er moet dus in zo'n geval intensief worden geventileerd om de waterdamp af te voeren. Als de plant goed functioneert is in deze situatie ook de vraag naar CO<sub>2</sub> het grootst. Er moet dan ook veel CO<sub>2</sub> worden aangevoerd. Per uur groeit dan circa 4 gram droge stof per m<sup>2</sup>. Het benodigde koolzuurgas moet door dezelfde huidmondjes naar binnen. De maximale diffusie-capaciteit moet dus zeer groot zijn. Dit lukt alleen maar als de huidmondjes goed open staan.

Het gevaar dreigt echter dat de plant de huidmondjes sluit, doordat de wortels het benodigde water niet kunnen opnemen. Het koolzuurgas kan dan niet naar binnen en de fotosynthese stagneert. Dit gaat ten koste van de groei. Betere verzorging van de wortels (substraat-teelt) kan dus een betere groei betekenen.

Als de plant slap gaat door watertekort kan dat beschadiging van het bladgroen ten gevolge hebben. De fotosynthese wordt dan voor langere tijd verminderd, namelijk tot weer nieuw bladgroen is aangemaakt in de jongere bladeren.

Soms hangen CO<sub>2</sub> en waterdamp op een andere manier samen. Dit is het geval als bij CO<sub>2</sub>-dosering de verbrandingsgassen in de teeltruimte blijven. Naast CO<sub>2</sub> komt dan immers ook waterdamp in de lucht. De hoeveelheid waterdamp is echter zo gering dat dit nagenoeg nooit nadelige gevolgen zal hebben.

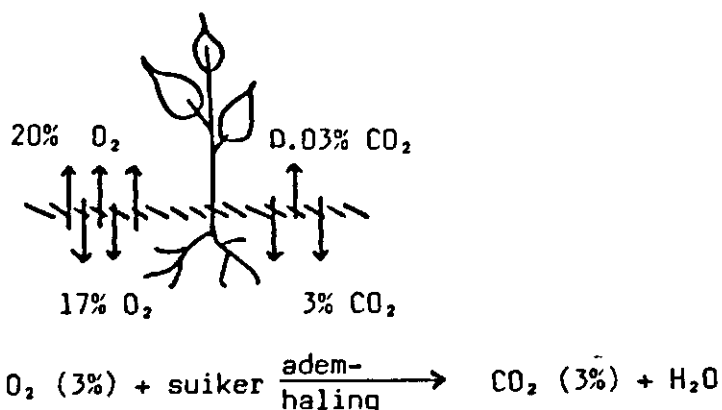
#### 6.4. Zuurstof in de lucht

Na het koolzuurgas en de waterdamp willen we nog iets zeggen over de zuurstof in de lucht om de plant. We denken dan wel in de eerste plaats aan de wortels en aan de gaswisseling in de grond. Bovengronds hebben we geen problemen met het zuurstofgehalte. Er zit 20% zuurstof in de lucht. De plant heeft dan ook geen moeite om voldoende zuurstof voor een goede groei op te nemen.

##### 6.4.1. Uitwisseling lucht - grond

Het gasmengsel in de grond wijkt gemakkelijk af van de samenstelling zoals die bovengronds wordt aangetroffen. Dat komt door de grote weerstand tegen gasverplaatsing in de grond. Bovengronds hebben we te maken met stroming. In de grond komt de toestand meer overeen met die binnen het blad. Daar vindt uitwisseling plaats voor diffusie (zie 6.1.3.). Wel zijn de poriën in de grond gemiddeld groter dan in het blad. Een groot verschil met de bovengrondse situatie is ook dat er geen CO<sub>2</sub> nodig is. Er wordt alleen CO<sub>2</sub> gevormd bij de ademhaling van alle levende wezens in de grond. Dat betekent ook dat zuurstof wordt opgenomen. In de grond zal het CO<sub>2</sub>-gehalte dan ook altijd veel hoger zijn dan in de lucht. De grond levert dus CO<sub>2</sub> voor de fotosynthese van het blad. Hoe meer

organisch materiaal in de grond, hoe meer leven en dus hoe meer CO<sub>2</sub>, maar hoe minder zuurstof. Het kan zover komen dat er ongeveer evenveel CO<sub>2</sub> als zuurstof in de grond is. De grond kan dus CO<sub>2</sub> leveren aan de lucht, maar de lucht moet zuurstof leveren aan de grond. Er is dan ook een blijvende uitwisseling nodig. De diffusiesnelheid van het koolzuurgas naar de lucht zal groter zijn dan die van de zuurstof naar de grond. In de grond is immers al gauw enige procenten CO<sub>2</sub> aanwezig (figuur 66).



Figuur 66. Gasuitwisseling met de grond. De gaswisseling in de grond vindt plaats door middel van diffusie. Voor een goede uitwisseling moet de grond een open structuur hebben. In de grond wordt veel zuurstof gebruikt voor ademhaling. Daardoor is het O<sub>2</sub>-gehalte lager en het CO<sub>2</sub>-gehalte hoger dan in de lucht.

Bij 3% is dat al 100 maal zoveel als normaal in de lucht (0.03%). De verhouding bij zuurstof is bijvoorbeeld 20% in de lucht tegen 17% in de grond, dus maar ruim een zesde extra. Het helpt niet veel om door middel van onderdruk in de grond het gastransport te bevorderen, want dat heeft geen invloed in de kleine poriën.

#### 6.4.2. Invloed van de structuur

Omdat de gasuitwisseling tussen lucht en grond op diffusie berust, is de capaciteit klein. Daarom moet men er voor zorgen dat de grond altijd een voldoende open structuur heeft. Bij grof zand zal dit geen problemen geven, maar vooral op zavelgronden zal de bovenlaag gemakkelijk dichtslempen. Bij veel gieten spoelen de kleideeltjes de poriën tussen de grovere deeltjes dicht. Dit gebeurt alleen maar in het bovenste laagje maar het sluit wel de grond ter plaatse tijdelijk luchtdicht af. De oppervlakte moet dan eerst weer opdrogen en scheuren voordat de diffusie weer voldoende is. Dit kan te lang duren waardoor de wortels afsterven door zuurstofgebrek. Het gevaar is het grootst in de zomer bij grote gewassen. Er is dan veel water nodig zodat gemakkelijk verspoeling optreedt. Door de hoge temperaturen is extra veel zuurstof nodig wegens de snelle ademhaling. Bovendien kan het water bij hoge temperatuur juist minder zuurstof bevatten. De plant kan echter geen uur zonder zuurstof en lage gehalten beperken de wortelactiviteit terwijl de plant veel water nodig heeft. Waarschijnlijk is het daarom ook beter om 's avonds te gieten, de plant heeft dan wat meer tijd voor aanpassing.

Als wortels in rust zijn komt het zuurstofgehalte er niet zo op aan. Een fruitboom kan 's winters onder water worden gezet, maar gaat daarvan niet dood als de wortels vroeg genoeg weer droog komen. Zetten we echter een groeiend gewas onder water dan zal het binnen 24 uur zware schade oplopen. Toch kan wel worden geteeld in water maar dan moeten speciale voorzorgen worden genomen om een goede beluchting te waarborgen.

#### 6.4.3. Kunstmatige wortelmilieus

In veel gevallen wordt niet meer normaal in de grond geteeld. Er wordt steeds meer gebruik gemaakt van kunstmatige wortelmedia. Dat kan nog vrij sterk overeenkomen met de teelt in grond, als bijvoorbeeld potgrond wordt gebruikt. Dit is wel een kunstmatig mengsel, maar de belangrijkste afwijking is eigenlijk de verkleining van het volume (potplanten bijvoorbeeld). Daarom moeten hoge eisen worden gesteld aan het medium en de doorluchting ervan. Het moet duidelijk poreus zijn, zodat de zuurstof kan doordringen tot de wortels. Bij de teelt in watercultuur is dat geheel anders, de wortels komen dan niet met lucht in aanraking. De zuurstof wordt in het water opgelost en via het water langs de wortels gevoerd. Het water vormt een extra weerstand voor zuurstofoverdracht waardoor het systeem kwetsbaar is. Men zoekt dan ook veiliger methoden. Men maakt bijvoorbeeld gebruik van een dun waterlaagje (voedingsfilm) waarin door de grote oppervlakte ook zuurstof uit de lucht oplost. Op kritieke momenten blijft het echter moeilijk om de wortels van voldoende zuurstof te voorzien.

Men is daarom nog een stapje verder gegaan en heeft een combinatie gemaakt van een laagje water met daarin een "broodje" steenwol. De wortels kunnen dan de zuurstof weer opnemen via de lucht in de poriën van de steenwol. De keuze voor steenwol is min of meer willekeurig. Het is waarschijnlijk wel mogelijk om door onderzoek tot ontwikkeling van een beter substraat te komen en op die manier een betere water/zuurstofverhouding tot stand te brengen.

#### 6.4.4. Zuurstof bovengronds

Door het hoge zuurstofgehalte geeft de zuurstofvoorziening bovengronds weinig problemen. De plant heeft blijkbaar overal voldoende aanvoermogelijkheden, ook waar geen huidmondjes aanwezig zijn, zoals in stengels en vruchten. Een enkele keer kan het in erg omvangrijke weefsels toch fout gaan als er veel zuurstof nodig is. Een voorbeeld is "buikziek" bij peren. Waarschijnlijk is tijdelijk zuurstofgebrek in de kern van de vrucht de oorzaak.

We kunnen soms ook gebruik maken van zuurstofgebrek. De ademhaling wordt erdoor geremd. Als we plantendelen bewaren, denk aan fruit, dan blijven de vruchten langer goed naarmate de ademhaling geringer is. Dat gebeurt al door de koeling maar men kan bovendien de zuurstof wegnemen en  $CO_2$  daarvoor in de plaats brengen. De ademhaling wordt daardoor nog verder gedrukt en de vruchten kunnen langer worden bewaard.

## 7. DE WATERHUISHOUDING VAN DE PLANT

Na bespreking van de invloed van het licht, de temperatuur en de lucht om de plant, komen we nu toe aan de waterhuishouding van de plant. Water heeft zeer veel functies in het leven. Als er iets met de waterhuishouding van de plant niet in orde is, heeft dat invloed op een groot aantal processen in de plant, zodat de groei wordt gewijzigd.

De hoofdfuncties van water zijn kort samengevat:

### Bouwstof

Bij de fotosynthese wordt  $\text{CO}_2$  verbonden met  $\text{H}_2\text{O}$  tot suiker en zo chemisch gebonden in de droge stof van de plant. Naast de droge stof bevat de plant circa 90% water.

### Koelmiddel

Als het blad warm wordt, verdampt het water. Dit kost veel energie waardoor verdere temperatuurverhoging wordt voorkomen.

### Drukregeling

De plant kan actief een interne druk opbouwen met het water dat door de wortels wordt opgenomen. Door middel van deze druk worden alle cellen op spanning gehouden.

### Transportmiddel

Alle stoffen die in de plant over grotere afstanden worden vervoerd, worden opgelost in water en zo getransporteerd.

In de eerste hoofdstukken hebben we over al deze zaken reeds het een en ander gezegd. We zullen daarnaar in dit hoofdstuk soms verwijzen. Sommige dingen komen helemaal niet meer aan de orde, zoals bijvoorbeeld het gebruik van water als bouwstof voor de fotosynthese. We geven in dit hoofdstuk een bespreking van het belang van de waterhuishouding met het oog op de teelt van de gewassen.

### 7.1. Plantkoeling

In paragraaf 3.4.2. is beschreven wat het effect is van de verdamping op de planttemperatuur. Als een blad warm wordt, gaat het water verdampen. Daardoor wordt verdere temperatuurstijging voorkomen.

Eigenlijk zouden we moeten proberen om niet zoveel warmte in verdamping te laten opgaan. Het blad zou dan warmer worden en we zouden minder behoeven te stoken. Nu gebruiken we zeer veel energie om de plant op te warmen, terwijl de plant zich daartegen onmiddellijk gaat verzetten door water te verdampen. In de praktijk is deze verdamping echter niet te voorkomen, want het berust op natuurkundige wetten (zie 6.3.4.). Een hogere planttemperatuur zal dus alleen bereikbaar zijn als we de opname beperken maar dat remt de



groei af. Enigszins geremde gewassen kunnen dan ook wel iets vroeger zijn door een hogere snelheid als gevolg van een wat hogere temperatuur. De vervroeging zal echter altijd voorkomen in combinatie met opbrengstvermindering door groeiremming.

Als de aangevoerde energie niets kost (zon) kunnen we de planttemperatuur wel ongehinderd met de luchttemperatuur laten oplopen. Als er zeer veel zon is, moet er zelfs zeer veel water verdampen om de energie af te voeren anders zou het blad te heet worden. De koelcapaciteit van een vol gewas in een kas is tweemaal zo groot als de maximumcapaciteit van een zware stookinstallatie. Vandaar dat in een kas vol gewas, een relatief koel klimaat kan heersen.

## 7.2. Celspanning

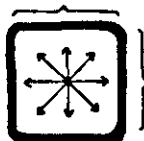
Een volgende functie van water die nadere toelichting vraagt is de drukregeling. In de plant, komt die tot stand door middel van de celspanning. In paragraaf 3.3.4. is hierover al het een en ander gezegd bij de beschrijving van de worteldruk. Door deze verhoogde druk komt de gehele plant onder spanning te staan.

### 7.2.1. Traject van de celspanning

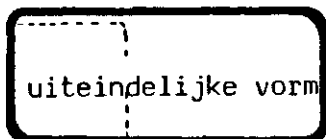
De celspanning komt tot stand als er niet veel verdamping is en het water in de grond een duidelijk lagere osmotische waarde heeft dan in de plant. Door de halfdoorlatende wanden verplaatst zich dan water naar de cellen met een hogere concentratie (zie pagina 35, figuur 15).

Naarmate de concentratie in de cellen hoger is door zoutopname in de plant, zal de zuiging aan het water sterker zijn. Doordat volwassen cellen niet meer elastisch zijn, ontstaat een druk in de plant in de richting van de cellen die nog niet helemaal vol zijn. Dit gaat door tot de cellen helemaal op spanning zijn. De druk kan oplopen tot 10 atmosfeer (bar). De jonge cellen zijn nog flexibel en zullen onder die omstandigheden worden uitgerekt (celstrekking). Doordat de structuur van de celwand niet overal gelijk is, zal dit veelal in de lengterichting gebeuren (figuur 67).

meer flexibel



minder flexibel

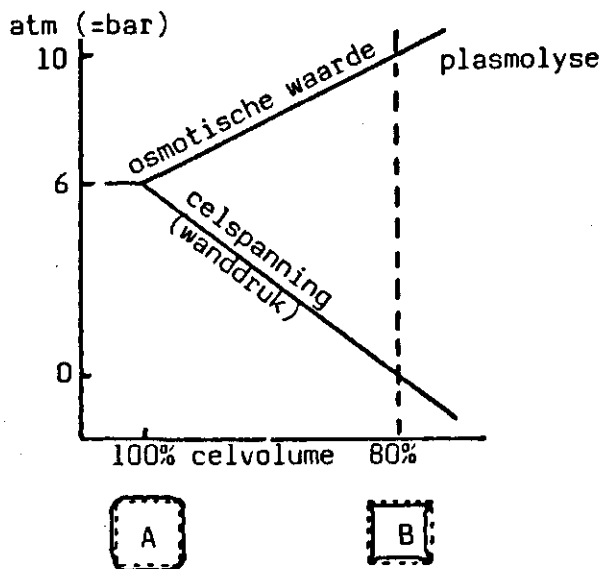


uiteindelijke vorm

Figuur 67. Celstrekking. Doordat de wanden niet gelijk van structuur zijn, zal de cel in de ene richting sterker groeien dan in de andere, zodat een langwerpige cel ontstaat.

Is de cel uitgroeid dan is de rek eruit en zal de interne druk

kunnen oplopen want de wand kan niet meer meerekken. Als de zoutconcentratie hoog genoeg is kan zo een druk ontstaan van bijvoorbeeld 6 atmosfeer (figuur 68).



Figuur 68. Verloop van celspanning en osmotische waarde. Uitgangspunt: cel op maximale spanning (A) = 100% volume. Osmotische waarde 6 atmosfeer en celspanning 6 atmosfeer, in evenwicht met de wanddruk. Volgt uitdroging, dan neemt de celspanning af door waterverlies. De cel krimpt tot 80% (B), de osmotische waarde stijgt tot 10 atmosfeer. Verdere uitdroging geeft onderdruk. Later eventueel gevolgd door plasmolyse.

Er kan geen schoon water worden aangezogen, want de cel is vol. Wordt de plant nu opgewarmd dan gaat er water verdampen. De wortel werkt echter meestal wat te traag, er verdampt meer dan er wordt aangevoerd, dus valt de druk weg. De cellen blijven altijd in geringe mate rekbaar. Ze krimpen dan in (figuur 68) tot hun minimale vorm. Er is geen druk meer (0 atm). De cel is dan circa 20% van zijn volume verloren. Dergelijke grote verschillen komen binnen één dag in de cel voor. Bij voortgaand waterverlies volgt zelfs onderdruk. De plant gaat slap. Door het waterverlies neemt de concentratie in de cel steeds toe en stijgt tot een osmotische waarde van 10 atm. Zou het waterverlies doorgaan dan zou plasmolyse volgen en eventueel afsterving.

### 7.2.2. Grenzen aan de celspanning

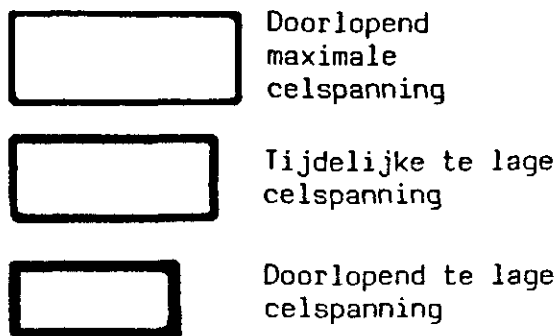
In het voorgaande zagen we dat de celspanning zich over een breed traject kan bewegen. Dit traject heeft als bovengrens de volledig opgepompte cel en aan de onderkant een cel die onder onderdruk staat en nog juist niet verdroogt. De opgepompte cel kan niet voller worden. De spanning kan hoger worden naarmate tevoren meer zouten waren opgenomen. Immers hoe hoger de concentratie hoe groter de zuigkracht aan water. Dit kan fout gaan als de celwand onder de druk bezwijkt. Dit gebeurt eerder als de celmembranen niet al te best van kwaliteit zijn (weinig licht). Er kan dan water uit de cel

lekken (glazigheid). Bij de bespreking van de fysiogene afwijkingen komen we hier op nog terug.

De benedengrens is de verdrogende cel. De druk is dan weggevallen. Toch kan er dan nog meer water uit de cel (in het blad) worden gezogen als de wortel geen water opneemt. Het kan ook zijn dat juist de wortelcel uitdroogt doordat de grond droog en zout is. De cel verliest dan zoveel water dat de protoplast loskrimpt van de celwand. Zolang de verbindingen met de protoplasten van de buurcellen in stand blijven, kan zich dat weer herstellen zodra water wordt aangevoerd. Breken de verbindingen dan is de cel verloren. Het verschil in waterinhoud van de plant tussen helemaal op druk en juist nog niet slap is circa 20%. In werkelijkheid zijn de verschillen meestal kleiner. Als de verdamping ophoudt is er dus minder dan 20% van de plantinhoud aan water nodig om de plant weer op spanning te krijgen. Een vol gewas tomaten kan bij volle zon per dag 6 liter water verdampen per m<sup>2</sup>. Als er 10 kg gewas aanwezig is kan de achterstand maximaal 2 liter zijn. Meestal is het veel minder zodat de plant zichzelf 's nachts gemakkelijk weer op spanning kan brengen.

### 7.2.3. Celspanning en produktie/kwaliteit

De grootte van de cel en dus de grootte van de organen van de plant hangt af van de mate van celstrekking. De strekking wordt veroorzaakt door de druk tegen de wand die ontstaat door wateropname. Als de druk altijd hoog is wordt de cel maximaal uitgerekt. Dit kan alleen gebeuren als de wateropname vrij groot is en de verdamping matig. Na verloop van tijd is de cel uitgegroeid en heeft de celspanning geen invloed meer. Hoe lager de temperatuur, hoe langer de cellen "jong" en dus elastisch blijven. Bij lagere temperaturen zal meestal ook de verdamping minder zijn en is dus de kans op grote cellen het grootst (figuur 67). De cellen die niet op spanning hebben gestaan blijven te klein. Er worden echter wel bouwstoffen voor gemaakt, want de fotosynthese gaat door. Het gevolg is een kleinere cel met meer bouwstoffen. Het is daardoor een stevigere cel met dikkere celwanden. De kwaliteit van de cel is beter (figuur 69).



Figuur 69. Celspanning en produktie/kwaliteit. Bij doorlopend maximale celspanning is de produktie maximaal, maar het produkt is soms slecht houdbaar. Bij doorlopend lage celspanning neemt de produktie af, maar het gewas kan meer verdragen.

Daardoor is ook het weefsel steviger. De plant is minder gevoelig voor schokken.

Kleinere cellen betekent ook kleinere planten en dus minder opbrengst per m<sup>2</sup>. Er is dan ook een tegenstelling tussen kwaliteit en produktie. Hoe groter de produktie, hoe gevaarlijker dat is voor de kwaliteit. Het zal van het produkt afhangen hoe nadelig dat is. Als we even aan snijbloemen denken, kan een wat grof en gevoelig gewas in kwaliteit wel meevallen. Zo'n gewas kan namelijk ook na de oogst nog water opnemen. Denken we aan groenten dan valt de kwaliteit bij maximale groei meestal tegen. Bij hoge produkties zijn de produkten meestal minder houdbaar in de handelskanalen. Een duidelijk voorbeeld uit de produktie van tomaten: toen eens een nieuw ras werd ingevoerd vond men de vruchten wat te klein, de kwaliteit was echter uitstekend. Men ging toen de teelt aanpassen zodat de celspanning hoger bleef en de vruchten groter werden. De produktie steeg, maar de kwaliteit werd duidelijk minder.

#### 7.2.4. Beïnvloeding van de celspanning

Uit het voorgaande blijkt wel dat het van belang kan zijn om de celspanning tijdens de teelt te beïnvloeden. De beïnvloeding kan van twee kanten gebeuren. In de eerste plaats door veranderingen in de worteldruk en in het andere geval door veranderingen in het watterverlies uit het blad.

Als er zeer veel verdamping is, kan er nooit een hoge druk in de plant ontstaan, want de plant staat als het ware open. Gedurende de nacht is er echter nooit veel verdamping, dus dan kan interne druk worden opgebouwd en overdag ook, als er maar niet veel verdamping is. In de praktijk bereiken we dit door weinig te ventileren. Natuurlijk is dit alleen mogelijk als er niet veel zon is. We zouden ook de zon kunnen afschermen, maar dat is meestal te nadelig voor de groei.

Van de andere kant kan de celspanning worden beïnvloed via de opname door de wortels. De snelheid waarmee de worteldruk wordt opgebouwd hangt af van de capaciteit van de pompwerking, dat wil zeggen van de omvang van het wortelstelsel. Een plant met minder wortels zal minder druk kunnen maken. Natuurlijk moet de bodemoplossing ook niet te zout zijn, zodat het water gemakkelijk kan worden opgenomen. Verder moet de ademhaling vlot verlopen. Dat wil zeggen: voldoende zuurstof, temperatuur, celkwaliteit, enzovoort (zie 3.6.1.).

Om na een dag met veel verdamping de plant zo snel mogelijk weer op spanning te hebben, moeten we zorgen voor een gemakkelijke wateropname. In de grond wordt het overdag rond de wortels droog, het duurt dan soms een aanmerkelijk deel van de nacht voordat de planten weer op spanning zijn. Bij substraatteelt gaat dit veel vlugger, de plant zal dus gemakkelijker groeien, of zo men wil, men kan op substraat veel meer remmingen toepassen dan in de grond omdat men sneller kan bijsturen.

### 7.3. Wateropname en verdamping

Bij de celspanning is al ter sprake gekomen dat de waterhuishouding van de plant zeer snel wisselt. Door de hoge osmotische waarde zuigen de cellen water aan waardoor de plant op spanning blijft. Dit vraagt echter maar weinig water. De plant gaat pas veel water opnemen als de verdamping groot wordt en dan valt de worteldruk weg. We willen nu zien wat de invloed is van de grond, de conditie van de wortels, het transport in de plant en de afvoer door verdamping. Tenslotte willen we nog iets zeggen over de mineralenhuishouding.

#### 7.3.1. Wateropname uit de grond

Grond is een traag medium, ook met betrekking tot de waterhuishouding. We kunnen de grond wel in een korte tijd nat maken, maar het duurt lang voordat de grond weer droog is. Bovendien bestaat nog de kans dat de zuurstofvoorziening uit de hand loopt als we veel water geven in een korte tijd.

Willen we nu de groei gaan regelen via de opname, dan moeten we de grond laten uitdrogen tot een toestand waarbij de plant voldoende geremd groeit. Het is echter nagenoeg onmogelijk om de grond in die toestand te houden. Als we gieten, is de grond te nat, gieten we niet dan verdroogt de plant. Dikwijls gaat men dan iets proberen met zout, maar daarvan wordt dan later dikwijls weer hinder ondervonden.

De groei kan eigenlijk alleen maar bevredigend worden gestuurd, als de wortels in een zeer klein volume groeien. Dan neemt namelijk de groei af, ook bij een zeer ruime watervoorziening. Dit geldt bij potplantenteelt en min of meer bij substraatteelt van komkommers en tomaten. In het laatste geval houdt men de planten langer in de opkweekpot.

Als de plant veel water verdampt, wordt er meer water opgenomen dan zouten. De grond wordt dus niet alleen droger maar ook zouter. Hierdoor kan een plant op een zonnige dag na de middag soms veel moeite hebben met de wateropname. De plant ondervindt dus een tegenkracht in de grond. Deze bestaat uit adhesie tussen gronddeeltjes en water en de zoutconcentratie die ook de opname bemoeilijkt. Beide kunnen worden uitgedrukt in atmosfeer. We zeggen dat de grond een zuigkracht heeft van 1 atm als de plant een kracht van meer dan 1 atm moet opbrengen om water te kunnen opnemen. 1 atm = een waterkolom van 10 m = 1.000 cm =  $10^3$  cm. Men drukt de zuigkracht van de grond dan uit als pF 3. We gaan hierop niet verder in, maar u weet nu wat men bedoelt als u de term "pF" een keer tegenkomt. Een zuigspanning van 0.1 atm = 100 cm =  $10^2$  cm = pF 2. Dan is de grond te nat en treedt gemakkelijk zuurstofgebrek op. Als de grond te droog is, is de zuigspanning circa 10 atm = 10.000 cm =  $10^4$  cm = pF 4. De planten gaan dan slap.

#### 7.3.2. Wateropname door de wortels

De wortels moeten alles via het water opnemen. Dat geldt niet alleen voor de mineralen, maar ook voor de zuurstof. Wortels kunnen dan ook leven in vrij water. De zuigspanning in een watercultuur bestaat dan alleen uit de zouten die in het water zijn opgelost.

Het water staat in vrij contact met de cellen in de wortel. De wortelharen hebben namelijk geen waterdichte opperhuid zoals het blad. Wortels zijn dus ook niet beschermd tegen uitdroging. In een vochtige grond zijn alle holten verzadigd met waterdamp zodat de wortels vrij door de ruimte kunnen groeien. Als de grond uitdroogt gaan de wortelpunten dood. De rest van de wortel is verkurkt en zal dus niet uitdrogen, maar de plant kan daarmee ook geen water opnemen. Na uitdroging moet de plant weer nieuwe wortels maken (zie 3.6.1.).

Wortels hebben via de wateropname grote invloed op de waterhuishouding in de plant. Als er veel verdamping is moeten ze het water snel kunnen leveren. Als er geen verdamping is moeten ze de interne druk opbouwen. Hierbij speelt de openingstoestand van de huidmondjes een grote rol.

### 7.3.3. Watertransport in de plant

Als het water uit het blad verdampt en daardoor in de wortel water wordt opgenomen, moet het dus de gehele plant passeren. Het transport van wortel naar blad gaat via de houtvaten (zie 3.3.2.). Het water ondervindt natuurlijk weerstand in de plant tussen de grond en de lucht. Als dit niet zo was zou er bijna constant een stroom water door de plant gaan, want de lucht is normaal droger dan de grond. Als de grond droger wordt, zou de plant onmiddellijk verdrogen. De plant is echter beveiligd. Niet zozeer aan de kant van de wortel, maar meer in het blad. Het blad is luchtdicht door de opperhuid, dikwijls met een extra waslaag. De huidmondjes zijn dan de regelbare uitlaat.

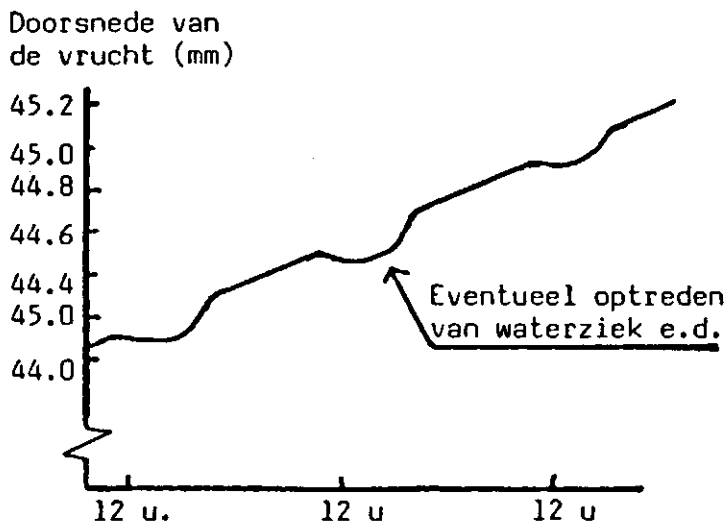
Niet al het water gaat regelrecht van de wortels naar het blad. Er zijn mogelijkheden tot zijdelings transport, waardoor zout uit de houtvaten direct in de zeefvaten overgaat en zo de weefsels ter plaatse ten goede komt. Als regel zal de verdeling van de opgeloste stoffen in de plant vanuit het blad plaatsvinden via de zeefvaten. Daarbij treedt wel verschil op in mobiliteit tussen de verschillende elementen. Calcium is bijvoorbeeld weinig mobiel en komt dus moeilijk terecht waar weinig verdamping is.

### 7.3.4. Vochtbuffer in de plant

Een plant bestaat voor ongeveer 10% uit droge stof. De rest is water. Als een plant op maximale spanning staat, kan er maximaal 20% van de waterinhoud verdampen zonder schade te veroorzaken (zie 7.2.2.). 's Morgens begint de plant meestal op maximale spanning. De verdamping komt sneller op gang dan de opname dus spreekt de plant zijn waterbuffer aan en stuurt de huidmondjes dicht. Is de grond bijvoorbeeld koud dan gaat de gehele buffervoorraad verloren en de plant gaat slap. Deze schommeling in de waterhuishouding van de plant is prachtig te demonstreren aan de omvang van een vrucht, zoals weergegeven in figuur 70.

De groei verloopt volgens een bepaald patroon. Overdag neemt het volume van grote vruchten niet toe, het neemt eerder af. 's Nachts wordt de achterstand weer ingehaald. Bij kleine vruchten is hiervan veel minder te bemerken. Als bij een komkommerplant in korte tijd veel vruchten worden geoogst, valt een groot deel van de waterbuf-

fer weg. Dit kan betekenen dat de plant overdag eerder moeite krijgt met de achterstand van de opname te opzichte van de verdamping. Soms ondervinden gewassen daardoor een grote terugslag in de groei. Veel planten onttrekken overdag water aan vruchten en soms kan dat tot schade aan de vruchten leiden, bijvoorbeeld waterziek bij tomaat.



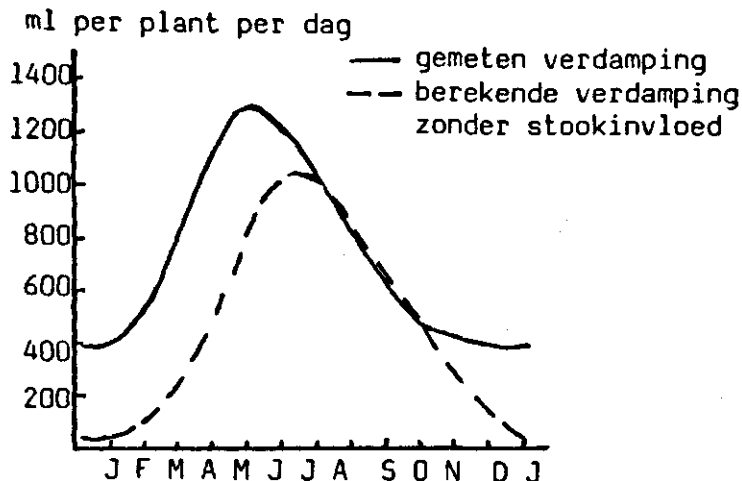
Figuur 70. Vochtbuffer in de plant. Gedurende de middag wordt vocht aan de vruchten onttrokken. 's Nachts wordt het vochtgehalte hersteld en groeit de vrucht verder.

Niet alleen aan de vruchten wordt soms water onttrokken, maar ook aan andere organen die het water minder goed kunnen vasthouden. Dit geldt bijvoorbeeld voor de jonge blaadjes binnen in de koppen van komkommers. Ze verdampen niet veel want de zon beschijnt het iets grotere blad. Daardoor is ook de calciumvoorziening wat minder goed en is de kwaliteit van de membranen ook minder. Als dan de concentratie in de cellen, doordat minder suiker wordt gevormd wegens de beschadwing door het buitenste blad, ook laag is, kunnen de cellen hun vocht niet vasthouden. De groeitop verdroogt: brandkoppen.

### 7.3.5. Stoken en verdamping

De maximale verdamping per  $m^2$  hangt af van de bladoppervlakte. De kas moet tot circa 1.5 m hoogte met blad zijn gevuld om de maximale hoeveelheid energie in verdamping om te zetten. Dikwijls wordt nu de vraag gesteld of energie bespaard kan worden door beperking van de verdamping. In principe zou dat moeten kunnen omdat we in het vorige hoofdstuk hebben beweerd dat groei tot op zekere hoogte onafhankelijk is van verdamping. Als we gaan bezuinigen mag de planttemperatuur echter niet dalen want dan verloopt de ontwikkeling van het gewas langzamer. Dus minder stoken kan niet. Men denkt het dan te bereiken door minder gewas met kleiner blad. Minder blad vangt echter minder licht en dat vermindert de groei. Juist in de winter is minder blad gevaarlijk, terwijl vooral in de winter veel energie valt te besparen. De kansen liggen dus niet gunstig. Als een kas eenmaal vol gewas is gegroeid, maakt een beetje meer of

minder blad niets meer uit. Hoogstens zal de waterdampafvoer in een vol gewas wat moeizamer verlopen. Omdat de verdamping afhangt van de energiestroom die wordt toegevoerd aan het blad, kunnen we aan de hand van de energiestroom de verdamping voorspellen. Hoe meer zon hoe meer verdamping, maar ook hoe harder wordt gestookt, hoe meer water verdampt. Als er weinig licht is wordt de invloed van het stoken verhoudingsgewijs groot. We geven dat weer in figuur 71 voor stooktomaten.



Figuur 71. Stoken en verdamping. De onderbroken lijn geeft aan hoeveel water zou verdampen door zonne-energie. De doorgetrokken lijn geeft de gemeten verdamping weer voor stooktomaten.

Duidelijk is dat de verdamping onder glas bij stoken in januari al even groot is als zonder stoken in maart. In de zomer neemt de stookinvloed zowel relatief als absoluut af. Het stoken veroorzaakt ook 's nachts verdamping. Midden in de winter verdampt 50% van het water 's nachts. De nachten zijn veel langer dan de dagen, dus per uur verdampt er overdag meer water. De nachtverdamping neemt in absolute zin wat af doordat de nachten korter worden. In de zomer is de nachtverdamping minder dan 10% doordat de dagelijkse verdamping zo sterk stijgt.

### 7.3.6. Mineralen en waterhuishouding

In deze publikatie hebben we de bemesting bewust buiten beschouwing gelaten, omdat dit onderwerp te ver buiten de fysiologie van de plant valt. Toch moeten we zo nu en dan iets zeggen over de mineralen in de plant, omdat de zoutconcentratie binnen de plant beïnvloed kan worden door de mineralenvoorziening.

Als de plant het water met de daarin opgeloste zouten zonder meer zou opnemen, dan zou de plant in het blad waar het water weer verdampt, radicaal verzilten. Bij een concentratie in de grond van bijvoorbeeld 2 g per liter, zou een tomatenplant die over heel zijn leven 300 liter water verdampt, 600 g zout opnemen op circa 2.5 kg droge stof. In werkelijkheid komt er niet meer dan circa 150 g zout in voor. De rest werd bij de opname "uitgefilterd" doordat de plant actief kan bepalen wat opgenomen wordt (zie 3.5.2.). Als er erg



weinig verdampt zou de plant mineralen te kort kunnen komen, bijvoorbeeld midden in de winter. In gestookte teelten zal dat niet zo gauw het geval zijn omdat er altijd nogal wat water verdampt (figuur 71), zodat de kans op een absoluut mineralentekort niet groot is. Als er weinig licht is zijn de cellen wel slecht van kwaliteit door gebrek aan bouwstoffen. De membranen (zie pagina 12, figuur 4) zijn dan gemakkelijk wat lek, waardoor de cel de waterhuishouding niet goed kan regelen. Hierbij speelt calcium een belangrijke rol doordat het in de plant weinig mobiel is. Het helpt echter niet om meer calcium aan de wortels toe te dienen, omdat het toch niet komt waar het nodig is. Het stimuleren van de verdamping kan de calciumvoorziening misschien iets verbeteren. Er wordt dan wel meer calcium in de houtvaten opgenomen maar de herverdeling via de zeefvaten blijft een moeilijk punt. Zodra er meer licht is verloopt alles weer beter.

De mineralenvoorziening in de plant wordt ook beïnvloed door beregenen over de plant. Er worden dan namelijk mineralen uit het blad gespoeld. Dit geeft geen problemen want de verdamping is dan meestal groot genoeg om de voorraad weer aan te vullen. Bovendien ontdekt de plant zich op die manier van een hoeveelheid minder gewenste zouten.

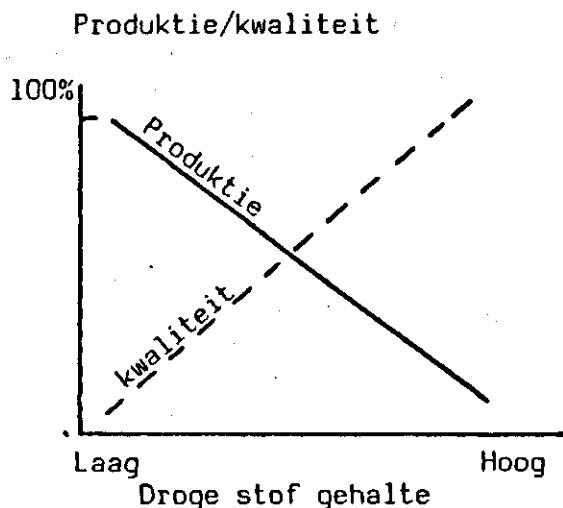
#### 7.4. Waterhuishouding en teelt

Via de celspanning heeft de waterhuishouding een grote invloed op de groei en de kwaliteit van de weefsels. Dat heeft zijn gevolgen voor de teelt. Zo zal men kunnen proberen door middel van de waterhuishouding de groei te regelen, zoals dat ook kan met licht, al is kunstlicht erg duur. We beïnvloeden de groei ook met temperatuur en  $CO_2$  en die zijn al goedkoper. Beïnvloeding van de teelt door middel van de waterhuishouding is ook mogelijk en nog goedkoper. Vandaar dat men meestal hier het eerst aan denkt. Anderzijds hangt ook een aantal afwijkingen in de teelt zeer nauw samen met de waterhuishouding in de plant.

##### 7.4.1. Waterhuishouding en gehalte droge stof

In dit hoofdstuk hebben we al gesproken over de samenhang tussen celspanning en groei (zie 7.2.3.). We gaan er nu wat nader op in met het oog op de teelt. Hoe de celspanning gedurende de teelt zal zijn hangt af van de verhouding tussen wateropname en -afgifte door de plant. Hoe ruimer het water beschikbaar is bij beperkte verdamping, hoe meer de plant de droge stof "verdunt" (zie figuur 3), hoe lager dus het droge-stofgehalte wordt. Andersom: bij beperkte opname en ruime verdamping wordt weinig verdund en is het droge-stofgehalte hoog. De cellen zijn kleiner (figuur 69), het blad is kleiner, de lichtvangst minder en daardoor blijft de groei achter. Hoe hoger het droge-stofgehalte, hoe meer de groei is geremd. De cellen zijn echter steviger en minder gevoelig voor slechte omstandigheden. De kwaliteit van het produkt is meestal beter. Groeiremming door verminderde fotosynthese, zoals bijvoorbeeld optreedt bij lichtgebrek, vermindert ook de produktie, maar verbetert de kwaliteit zeker niet. Het droge-stofgehalte daalt dan. Zolang alleen de massa blad belangrijk is, bijvoorbeeld bij de

teelt van postelein, is een laag gehalte het beste. Bij sla gaat het ook om blad, maar bij te welige groei wordt de krop te los en te bros en moet de droge stof dus wat minder worden verdund. Het telen zal meestal een compromis moeten zijn tussen de maximale produktie en de beste kwaliteit (figuur 72). De beste kwaliteit zal meestal te weinig opbrengst geven.



Figuur 72. Produktie-omvang en kwaliteit. Naarmate de groei meer is geremd, wordt het droge-stofgehalte hoger, de produktie neemt af, maar het produkt wordt beter verhandelbaar. Bij het telen moet de groei zo ver worden geremd dat de vereiste kwaliteit wordt behaald. Verdere remming verlaagt de produktie meer dan nodig is.

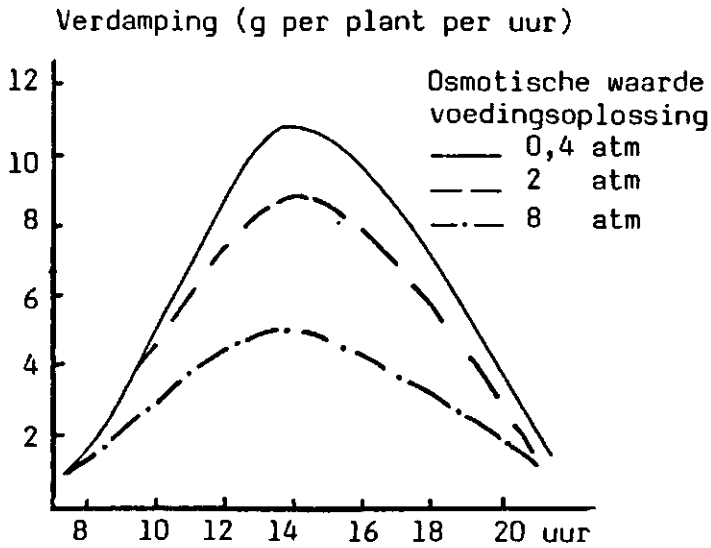
In de praktijk is de vraag hoe de groei via de waterhuishouding kan worden gestuurd. Wanneer in de kasgrond wordt geteeld, is het erg moeilijk om de groei te regelen met meer of minder water. Het is niet goed te doseren. Als water wordt gegeven ontstaan steeds groeischokken. Men kan dat wat afdempen met een hoge zoutconcentratie, maar dan nog blijft het moeilijk. Beter gaat het in kunstmatige systemen. Veilig is de remming door middel van een klein wortelvolume. De groei blijft dan beperkt ook bij veel water.

#### 7.4.2. Invloed op de groei

Hierboven hebben we een bepaald aspect van de groei besproken. Er is wel meer van te zeggen. Allereerst wordt reeds de zaadkieming beïnvloed door de waterhuishouding. Droog zaad blijft in rust, maar zodra water wordt toegelaten, wordt het zaad actief. Het water moet gemakkelijk opneembaar zijn. Zout water is fysiologisch droog en de kieming wordt er dan ook door vertraagd in vergelijking tot schoon water.

Ook na de kieming is het zout in het water van belang. In figuur 73 is te zien dat zout water, "droog" water is. Naarmate de zoutconcentratie buiten de wortel hoger wordt neemt de verdamping af. De huidmondjes gaan dan dicht en dus neemt de fotosynthese af, zodat uiteindelijk de groei wordt beïnvloed. Dit komt niet alleen door minder bouwstoffen (minder fotosynthese) maar ook door de geringere

celspanning waardoor het blad te klein blijft en de lichtvangst afneemt.

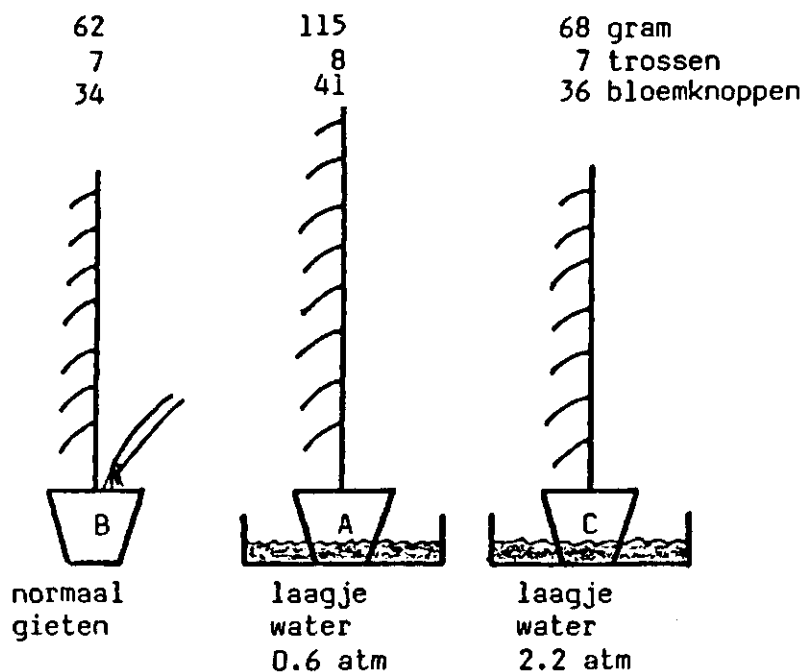


Figuur 73. Fysiologische droogte en verdamping. Als het water minder beschikbaar is, neemt de verdamping af. Dit leidt direct tot minder fotosynthese en indirect tot minder groei doordat het blad te klein blijft en minder licht opvangt.

Het bovenstaande laat zien dat er in de praktijk bijna altijd een duidelijke koppeling is tussen verdamping en groei. Dat geldt echter alleen als de plant onder vrij droge omstandigheden wordt geteeld. Als de wateropname schommelt tussen 80 en 100% van de maximale opname zal de koppeling veel minder zijn. Beïnvloeding treedt duidelijk op als de opname achterblijft bij de verdamping en dat moet dan ook nog langere tijd duren. Als een plant alleen maar midden op de dag een uur te droog wordt, betekent dat alleen dat de fotosynthese 1 uur wordt geremd door sluiting van de huidmondjes. Meestal is het zo dat de plant daarvan verder weinig gevolgen ondervindt.

#### 7.4.3. Invloed op de vroegheid

Als de plant droogte moet meemaken zal dat, gezien het bovenstaande, betekenen dat de cellen kleiner worden. De gehele plant wordt dan kleiner. Dat wil nog niet zeggen dat er dan ook minder cellen en minder bladeren en vruchten behoeven te zijn. Als een plant erg welig is zal namelijk door wat beperking in de wateropname inderdaad alleen maar een wat minder welig gewas ontstaan met dezelfde snelheid van blad- en bloemaanleg. De vroegheid wordt soms misschien bevorderd doordat de vruchten iets sneller en beter groeien aan een wat schraler gewas. Zodra echter een duidelijke groeiremming optreedt, gaat het groeipunt ook langzamer blad en bloemen maken. De ontwikkeling van de plant gaat langzamer en de produktie komt dus later. Duidelijk zijn deze effecten te zien in figuur 74 bij tomaat.



Figuur 74. Groeiremming en snelheid (tomaat). Groeiremming door droogte (B) en door zout (C) geeft verlating. Het maakt geen verschil uit of dit gebeurt door droogte of door zout.

De planten die onbeperkt water konden opnemen waren het zwaarst en het verst ontwikkeld. Als wat minder water werd gegeven, waren de planten niet alleen kleiner, maar ook minder ver ontwikkeld. In deze proef werd anderzijds getracht de groeiremming door zout even groot te houden als door droogte gebeurde. Het effect is in beide gevallen gelijk, de plant reageert op droogte en op zout dus ongeveer gelijk. In beide gevallen geeft groeivermindering ook verlating en dit is een algemeen verschijnsel. Of de verlating nadelig is of niet hangt natuurlijk af van het verloop van de prijzen van de produkten. Als de prijzen snel dalen is vroegheid erg belangrijk. In de herfst is dat zelden het geval en hoeft dus geen waarde gehecht te worden aan vroegheid. Groeiremming wordt dan toegepast om de planten steviger te maken zodat ze beter bestand zijn tegen de later volgende slechte groeiomstandigheden.

#### 7.4.4. Watertoediening

We gaan uiteraard niet in op allerlei technische aspecten van het watergeven. Er zijn echter in de diverse systemen wel punten die zo belangrijk zijn voor de plant, dat we er iets over willen zeggen. Het is namelijk voor de plant van groot belang hoe het water wordt gegeven: hoe vaak en hoeveel per keer? Oudere regeninstallaties geven zeer veel water in een korte tijd en meestal nog ongelijk verdeeld ook. Dit geeft gemakkelijk structuurbederf en verslamping. Er hoeft niet snel opnieuw gegoten te worden. Dit veroorzaakt een onregelmatige watervoorziening en schoksgewijze groei. Bovendien zal de maximale vochtbehoefte (veel zon en wind) dikwijls

samenvallen met een vrij droge grond. Voor een optimale groei moet veel regelmatig worden gegoten. In de praktijk is dat goed te realiseren met druppelbevloeiing. Elke plant wordt regelmatig bevochtigd en er treedt geen structuurbederf op. Er zal echter altijd overmaat moeten worden gegeven omdat ook de plant die het meeste gebruikt, genoeg moet hebben. Volledig naar behoefte watergeven kan alleen in watercultuur, maar dan worden de bemestingsproblemen weer veel groter doordat er nagenoeg geen buffer meer is. In de praktijk van de teelt zien we echter dat met watercultuur (bijvoorbeeld voedingsfilm) wel wordt geëxperimenteerd, maar dat het geen ingang van betekenis vindt. Blijkbaar zijn de risico's te groot ook al is de watervoorziening gegarandeerd. Er wordt veel meer geteeld op steenwol wat al weer een zekere buffer geeft. In proeven konden grote planten, bijvoorbeeld tomaten, worden geteeld in een wortelruimte van 1 liter zand waardoor permanent een geschikte voedingsoplossing werd gespoeld. Meer is bij een goede verzorging niet nodig.

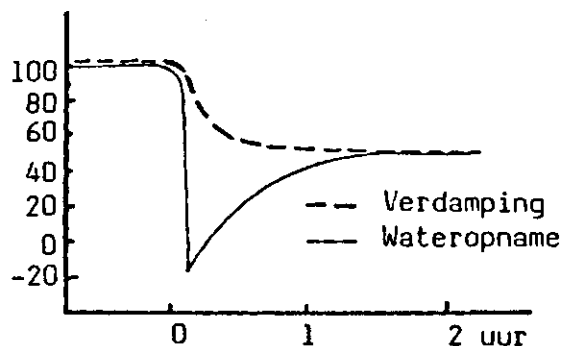
#### 7.4.5. Fysiogene afwijkingen

Bij de teelt van planten komen vrij veel afwijkingen voor die worden veroorzaakt door de groeiomstandigheden, zonder dat er een parasiet aan te pas komt. De afwijkingen zijn het gevolg van overschrijding van een bepaalde grens waarbij de levensverrichtingen van de plant niet meer op de normale manier kunnen plaatsvinden: er ontstaat schade. In zeer veel gevallen hangt dit samen met de waterhuishouding. Vandaar dat we dit onderdeel bij dit hoofdstuk bespreken. De verbanden zijn soms indirect. Als de wortels bijvoorbeeld zuurstofgebrek krijgen dan is dat veroorzaakt door verslapping van de grondoppervlakte door gieten. De wortels kunnen echter moeilijk water opnemen doordat de ademhaling wordt geremd. Doordat water zoveel functies heeft in de plant zal de waterhuishouding haast altijd betrokken zijn bij fysiogene afwijkingen. Gezien bovenstaande omschrijving is het bevriezen van planten ook zo'n fysiogene afwijking. Door kristalvorming in de cellen is de waterhuishouding volledig verstoord en ze gaan dood. De grens van de temperatuur is voor de betreffende plant overschreden. Dus spelen niet alleen de omstandigheden maar ook de plant een rol. Er zijn immers planten die best een paar graden vorst kunnen verdragen. Denk aan niet-gestookte sla onder glas in de winter. Dit maakt weer duidelijk dat de toestand waarin de plant verkeert ook van belang is. Als we namelijk sla in de winter opkweken bij hoge temperatuur en veel vocht en we zetten deze planten bij dezelfde lage temperatuur dan vriezen ze wel dood, of ze worden op z'n minst ernstig beschadigd. Bij fysiogene afwijkingen hebben we dan ook nagenoeg altijd te maken met twee belangrijke factoren. Aan de ene kant moet de plant, of een deel ervan, gevoelig zijn, maar aan de andere kant is meestal een schok in de groeiomstandigheden de aanleiding tot schade. Gevoelige planten worden niet beschadigd als nooit schokken optreden en bij zeer stevige planten moeten de schokken wel erg groot zijn om schade te veroorzaken. Als de overgangen niet te groot zijn zal de plant zich zonder schade aanpassen aan zijn nieuwe omgeving.

#### 7.4.6. Aanpassingen in de plant

De plant kan zich aanpassen aan gewijzigde omstandigheden. Sommige aanpassingen kosten weinig tijd, andere veel meer. Een plant is snel aangepast waar het de osmotische waarde van het celvocht betreft. Bij een lage osmotische waarde kan de cel moeilijk water vasthouden en is dus gevoelig voor vochtonttrekking. In een dag tijd kan de plant zijn interne concentratie sterk verhogen. Dit gebeurt in eerste instantie al door de produktie van oplosbare suikers en bijna even snel door de opname van mineralen. Als een droogteschok niet te groot is, kan de plant die zonder schade overwinnen en zich aanpassen. We zien dat in figuur 75.

Wateropname en verdamping (%)



Figuur 75. Aanpassing osmotische waarde. Op tijdstip 0 werd de plant overgebracht van een oplossing van 1 atmosfeer naar een oplossing van 6 atmosfeer. De wateropname daalt snel tot 0 en de wortels geven zelfs water af. Dan volgt zoutopname en daarna herstelt de wateropname zich. De verdamping daalt minder ver en dus verliest de hele plant water. Na twee uur heeft het evenwicht zich veel lager weer hersteld.

Door een zoutshok werd in watercultuur vocht aan de wortels onttrokken. De plant verloor water via de wortels, maar nam daarna zoveel zouten op dat daarop weer wateropname volgde. Wel stelde het evenwicht zich daarna in op een lager niveau van verdamping. Dit was een kwestie van uren.

De aanpassing gaat meer tijd kosten als de weefselkwaliteit een rol speelt. Als de membranen van het aanwezige weefsel niet sterk zijn, bijvoorbeeld door lichtgebrek, dan is de cel in principe wat lek. Dit kan niet goed meer worden verholpen. De aanpassing moet komen van de vorming van nieuw weefsel met betere cellen. Dat kost tijd. In de praktijk noemen we deze aanpassingen "afharden". Dit heeft groeiremming tot gevolg en is een aanpassing als aangegeven in figuur 72.

Aanpassingen in omgekeerde zin komen natuurlijk ook voor en maken de plant dan gevoeliger voor schokken. Dit is het geval bij de vele maatregelen die worden getroffen om energie te besparen. Globaal komt het er op neer dat de plant bij dezelfde temperatuur wordt geteeld maar in een vochtiger milieu. De weefsels worden wat minder stevig. Om daarvan geen schade te ondervinden, moet worden gezorgd

voor minder schokken in de teeltomstandigheden. Afwijkingen als gevolg van schokken zullen altijd wel blijven voorkomen. Ze kunnen worden ingedeeld in twee groepen namelijk veroorzaakt door te hoge of door te lage celspanning.

#### 7.4.7. Afwijkingen door hoge celspanning

We willen enkele duidelijke voorbeelden noemen van fysiogene afwijkingen die het gevolg zijn van te hoge celspanning. Er zijn namelijk te veel afwijkingen om ze alle te kunnen beschrijven.

Een van de meest sprekende afwijkingen als gevolg van te hoge celspanning is het barsten van weefsels, bijvoorbeeld vruchten van tomaat en meloen. De oorzaak is tweeledig. Enerzijds is de celspanning plotseling verhoogd door stagnerende verdamping: bijvoorbeeld een koude nacht na een periode met warm weer. De wortels veroorzaken veel druk doordat de temperatuur hoog is. Aan de andere kant moet de vruchtwand zo stug zijn dat de verhoogde druk niet kan worden opgevangen door rek. Komkommervruchten barsten namelijk onder identieke omstandigheden niet. Een soortgelijk verschijnsel is het afspringen van de bloemknoppen bij freesia. Naast de hoge celspanning is hier de oorzaak dat het verstevigingsweefsel in de stengel nog niet is aangelegd, door de snelle stengelstrekking. Onder soortgelijke omstandigheden gaan komkommerbladen zeer sterk gutteren. Er treedt water uit de bladranden door daar aanwezige openingen. Met dit water verliest de plant veel mineralen. Dit verschijnsel leidt nogal eens tot afsterving van bladranden.

Bij sla treedt als gevolg van hoge worteldruk water uit de bladcellen, zodat de intercellulaire ruimten met water worden gevuld (glazigheid). Duurt dit lang dan treedt weefselversterf op. Stimulering van de verdamping (vooral 's nachts) en remming van de wateropname voorkomt de genoemde afwijkingen.

Bijna altijd gaat plantgevoeligheid door andere factoren samen met fysiogene afwijkingen. Gebrek aan licht geeft naast een zwak weefsel (geen bouwstoffen) ook een geringe verdamping en slecht calciumtransport. Dit werkt extra gevoeligheid in de hand, doordat de membranen slecht van kwaliteit zijn.

#### 7.4.8. Afwijkingen door lage celspanning

Ook de afwijkingen door lage celspanning worden in de hand gewerkt door plantgevoeligheid.

Het tegenovergestelde van het barsten van de vruchten is het slapgaan van de plant. Dit ontstaat doordat alle interne druk wegvalt. De verdamping neemt dan ook sterk af zodat de plant gemakkelijk te warm wordt. De cellen kunnen zoveel water verliezen, dat plasmolyse optreedt. Zover komt het lang niet altijd maar een blad dat goed slap is geweest, heeft bijna altijd intern schade opgelopen ook al komt het later weer in zijn oude vorm terug. Dikwijls zijn namelijk de bladgroenkorrels vervormd zodat zij ongeschikt geworden zijn voor fotosynthese.

Bladverbranding treedt ook dikwijls op onder veel minder extreme omstandigheden bijvoorbeeld bij tomaten en komkommers in januari en februari. De hoofdoorzaak ligt dan in de grote plantgevoeligheid. De celmembranen zijn zo slecht dat de cellen zelfs bij geringe

droging hun vocht verliezen en afsterven. Een ander verschijnsel dat samenhangt met vochtonttrekking is neusrot bij tomaat en andere vruchten. De punt van de vrucht verdroogt. Hierbij spelen zuurgraad (calciumvoorziening), zoutgehalte en tijdelijke verdroging een rol. De cellen in de punt van de vrucht zijn slecht van calcium voorzien en daardoor niet goed in staat weerstand te bieden tegen vochtonttrekking door andere plantendelen. Ook waterziek bij tomaat is een afwijking door verdroging. De houtvaten in de vruchtwand verdrogen door vochtonttrekking. Daardoor ontstaat onregelmatige voeding van de vruchtwand, gevolgd door ongelijke rijping. Het wordt in de hand gewerkt door een hoge stikstof-/kali-verhouding. Ook rand in sla en sluitkool vallen onder deze categorie en zo zouden er nog vele voorbeelden te noemen zijn.



## 8. TELEN IN KASSEN

In het voorgaande is reeds een groot aantal onderwerpen behandeld. We zijn begonnen met de rol die de energie speelt bij de groei. Daarna werd beschreven hoe de belangrijkste fysiologische processen binnen de plant verlopen en hoe ze met elkaar samen hangen. Het grootste deel van deze brochure was echter gewijd aan de invloed van de groeifactoren. Achtereenvolgens werden besproken: licht, temperatuur, gaswisseling en waterhuishouding.

We zullen nu de verhandeling afsluiten met een beschouwing over de toepassing van de plantenfysiologische kennis in de teelt. Bij het telen van gewassen maken we gebruik van de kennis over het gewas en van de beheersbaarheid van de teeltomstandigheden. We weten bijvoorbeeld hoe een plant reageert op warmte en door stoken proberen we de plant te sturen in de richting die we willen. Hierbij spelen kosten een rol. De economie is veelal richtinggevend voor de maatregelen die in de teelt worden getroffen. We kunnen daarop natuurlijk slechts oppervlakkig ingaan.

### 8.1. Samenhang tussen de groeifactoren

Het is duidelijk dat het geen zin heeft CO<sub>2</sub> toe te dienen in een ongestookt gewas dat bevroren is, op een koude winterdag. Zo eenvoudig liggen de zaken echter lang niet altijd. Er moet dikwijls op worden gelet, dat een verbetering van een groeifactor niet nutteloos is zonder ook andere te verbeteren.

#### 8.1.1. Wet van het minimum

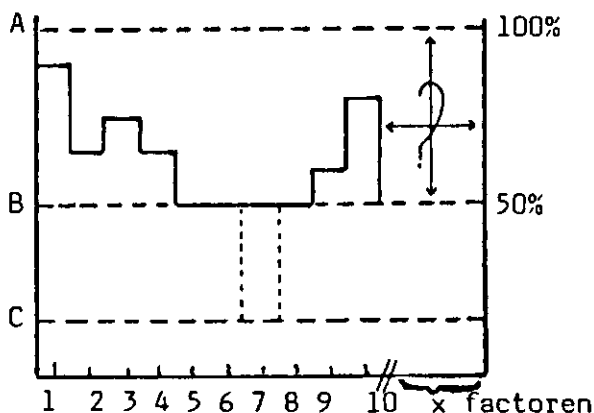
Een klassieke demonstratie van de samenhang van de groeifactoren, de wet van het minimum, is de ton met duigen van verschillende hoogte. De laagste is bepalend voor de inhoud van het vat. In tabel 3 geven we wat groeiresultaten die deze wet in beeld brengen.

Tabel 3. Gewicht (g per plant) van tomatenplanten verkregen onder verschillende groeiomstandigheden in twee opkweekproeven.

Groeiomstandigheden	Gewicht in december (g)	Gewicht in februari (g)
koel + droog	5	11
koel + water	6	16
warm + water	7	16
warm + water + kunstlicht	18	19

In december werd de groei van de planten sterk geremd door lichtgebrek, kunstlicht gaf dus een sterke groeiverbetering. In februari is er al weer zoveel licht dat weinig water de groei het meest remt en dus gaf watergeven het grootste voordeel. In figuur 76 geven we

een wat abstract voorbeeld van de "ton".



Figuur 76. De Wet van het minimum. A: maximale produktie als aan alle voorwaarden 1 tot en met X wordt voldaan. B: wat voor ons nu maximaal bereikbaar is. C: de praktijk ligt dikwijls nog veel lager. X: ontbrekende kennis.

De hoofdvraag is eigenlijk niet: welke factor is beperkend? Wat we eerst zouden willen weten is de maximale capaciteit van een teeltsysteem. We weten dat niet, we weten niet hoe goed het zou kunnen. We kennen bijvoorbeeld tien factoren. Als we ze allemaal ideaal instellen (neem even aan dat we dat kunnen) dan komt daaruit een produktie (B), bepaald door de factoren 5 - 8. We weten echter niet wat er aan onze kennis ontbreekt (x). We weten daarom ook nooit wat het maximum is (A). In de praktijk moeten we bijvoorbeeld door lichtgebrek wel genoeg nemen met veel minder dan we zouden kunnen bereiken (C), omdat kunstlicht te duur is.

Als voorlopige doelstelling nemen we aan dat het niveau A minstens tweemaal zo hoog is als wat we nu maximaal bereiken (B). Dat is niet zo erg optimistisch want in de afgelopen 25 jaar zijn praktisch alle produkties verdubbeld. Waarom zou dat in de komende 25 jaar niet nog eens kunnen gebeuren?

#### 8.1.2. Wat is de maximale capaciteit?

Je kunt de vraag naar de maximale capaciteit van een teeltsysteem van twee kanten benaderen, namelijk vanuit de groeiomstandigheden en vanuit de mogelijkheden van de plant. De plant is het belangrijkste. Duidelijk blijkt dat bijvoorbeeld in de akkerbouw. Verbetering van de groeifactoren is daar bijna niet mogelijk. Het moet komen van betere rassen. Zo heeft men maïs zover verbeterd dat het ook in ons klimaat goed kan groeien en heel Nederland staat er vol mee. Onder glas kunnen we wel wat aan de groeiomstandigheden doen, maar vanwege de kosten zijn de mogelijkheden beperkt. Grote verbeteringen moeten ook onder glas komen van een betere groei bij dezelfde omstandigheden, als gevolg van veredeling.

Dat er nog veel mogelijk is blijkt bij vergelijking van de opbrengsten van snij-anthuriums. Een aantal jaren geleden was de gemiddelde produktie (LEI) circa 25 bloemen per m<sup>2</sup> per jaar. Een goede teler kon dus het dubbele bereiken. In Aalsmeer lag toen een proef

met betere voorzieningen en betere rassen waar men bijna 100 bloemen per m<sup>2</sup> oogstte. De beste selectie uit deze proef maakte zoveel beter gebruik van de groeifactoren, dat de produktie opliep tot 128 bloemen en de beste plant daaruit bracht het tot 250 bloemen per m<sup>2</sup> per jaar. Dat was wel tienmaal zoveel als het produktiegemiddelde! Er kan dus nog veel gebeuren en wel speciaal bij gewassen waarvan we nog niet zoveel weten. Zo kan aan de hand van het aantal aangelegde bloemen in tomaten en komkommers worden uitgerekend dat de produktie nog kan verdubbelen.

## 8.2. Reacties van de plant

We zullen er in het algemeen naar streven om door middel van de groeiomstandigheden de produktie te verbeteren. We moeten er daarbij echter op bedacht zijn dat de plant zich dikwijls aanpast aan de gewijzigde omstandigheden. Op die manier wordt soms iets anders bereikt dan we ons ten doel hadden gesteld.

### 8.2.1. Aanpassingen in de groei

Bij de behandeling van de invloed van het seizoen op de groei (zie 4.5.2.) hebben we al laten zien, dat de plant in de winter heel anders gebruik maakt van het licht dan in de zomer. Als een plant in de winter licht te kort heeft en we gaan belichten, dan zal de groei verbeteren. De plant gaat echter bij toenemend licht steeds dikker blad maken. Per gram droge stof wordt de oppervlakte kleiner en dus de lichtbenutting slechter. Hetzelfde geldt voor de toepassing van CO<sub>2</sub>. Hoe meer CO<sub>2</sub> we gaan toedienen hoe minder effect dit heeft per gram CO<sub>2</sub>.

Als een plant te droog staat, doet water wonderen voor de groei. Gaan we steeds meer water geven dan zullen vele planten een toenemend percentage blad krijgen. Als we telen voor de bloemen of de vruchten, levert dat geen voordeel op. Ook bij temperatuurverhoging kunnen dergelijke effecten optreden. Verhogen we bij tomaat de temperatuur van 15 naar 25° C dan gaat de groei veel sneller. Door hoge temperaturen worden bijvoorbeeld 10% sneller trossen aangelegd, maar de vruchtgrootte daalt met 15%. Uiteindelijk verloopt de oogst dan langzamer.

Zo zal het effect van vele maatregelen dikwijls afnemen naarmate er meer van wordt toegepast.

### 8.2.2. Aanpassingen in de produktie

In het algemeen zal bij sterke stimulering van de groei de vruchtbaarheid niet worden bevorderd. We nemen de tomaat weer als voorbeeld. Men kan bij een vlotte groei tot 30% van elk blad wegnemen zonder dat dit produktie kost. Kennelijk is lang niet al het blad nodig voor de vruchtgroei. Anderzijds kan men bij tomaat 25% van alle trossen wegnemen, zonder dat de produktie daalt. In dat geval worden alle vruchten groter zodat toch de produktie gelijk blijft. Dergelijke aanpassingen komen in allerlei vorm in allerlei gewassen voor. Het houdt in dat de gevolgen van cultuurmaatregelen kunnen afwijken van wat we ermee voor ogen hadden. Vooral als het marktstadium van een produkt fysiologisch gezien ver ontwikkeld is, zijn

de kansen op aanpassingen groot. Zo is het bij de teelt van postelein en spinazie veel eenvoudiger te berekenen wat het gevolg van een maatregel is dan bijvoorbeeld bij tomaten waar we bijna de gehele cyclus van zaad tot zaad doorlopen hebben voor we van productie kunnen spreken. Er zijn dan meer aanpassingen te verwachten doordat de plant meerdere fasen doorloopt en doordat de teelt langer duurt.

### 8.2.3. Verschil plant - gewas

Bij het toepassen van verschillende teeltomstandigheden reageert een teelt die uit individuele planten bestaat, anders dan een vol gewas. Er is een groot verschil tussen een kas cyclamen en een gewas komkommers, dat de hele kas vult met blad.

In het eerste geval moeten we de groei per plant bekijken en in het tweede geval per  $m^2$ . Zetten we namelijk meer potten per  $m^2$ , dan worden de planten te slap en zijn niets meer waard, ook al is de gezamenlijke groei meer dan bij een ruimere stand. Bij gewassen die per kg worden verkocht, gaat het erom hoeveel kg produkt per  $m^2$  wordt geproduceerd. De meeste gewassen die worden geplant beginnen als individuele planten. Pas als ze groter worden vormen ze een gesloten gewas. Het is ook van belang een gewas in stand te houden. Als we een teelt opruimen en opnieuw beginnen, is de lichtbenutting tijdelijk zeer slecht. Het tussenplanten van een nieuw gewas tomaten voordat het oude is verwijderd, biedt de mogelijkheid meer energie vast te leggen in produktie.

Bij een vol gewas is de lichtbenutting immers beter dan bij afzonderlijke planten. Het licht dat de bovenste bladeren doorlaten, wordt onder in het gewas nog opgevangen (zie 4.4.2.). Er komt dus een groter deel van het licht ten goede aan de groei. Bij aparte planten valt te veel licht op de grond. De standdichtheid van planten moet worden aangepast aan de lichthoeveelheid. Zodra er meer licht komt dan voor een goede kwaliteit nodig is, kunnen ze dichter worden gezet.

### 8.2.4. Lichtverdunning

Bij de teelt van potplanten is het dikwijls niet voldoende om de planten dichter te zetten. De hoeveelheid licht is te groot voor een goede groei en nog dichter zetten zou de kwaliteit benadelen. Dit komt vooral voor bij schaduwplanten zoals onder andere Saintpaulia, Ficussoorten en Anthuriums. Er wordt dan zwaar geschermd. Men heeft echter ook geprobeerd om dergelijke planten in twee lagen te telen. Omdat de onderste dan te donker staan, zijn installaties met beweegbare tafels ontworpen. Dit werkt midden in de zomer natuurlijk wel goed maar in het winterhalfjaar is er niet teveel licht en kan de installatie niet benut worden. Om daarin verbetering aan te brengen wordt de onderste laag extra belicht met kunstlicht. Dit maakt de produktiekosten erg hoog zodat de kans dat dergelijke installaties rendabel gemaakt kunnen worden erg klein is. In het geval van schaduwplanten kan beter overwogen worden om 's zomers niet te krijten, maar een laag zonneplanten te telen boven de schaduwplanten.

In het algemeen kan weinig worden verwacht van dure installaties

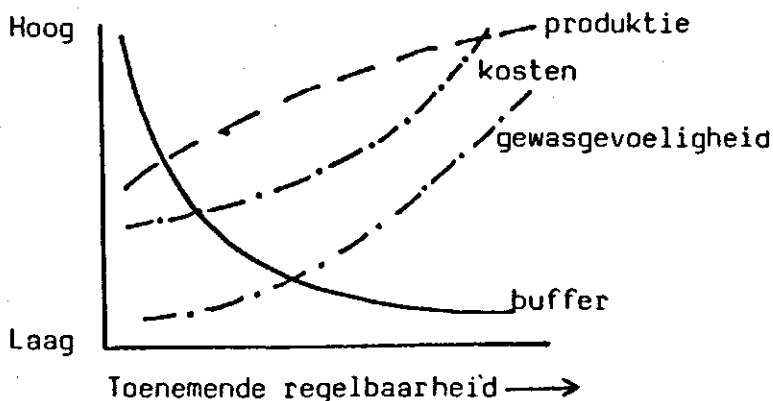
zoals belichtingsinstallaties, groeicellen, tweelageninstallaties, torenkassen of plantenrotoren. De hoge investeringen moeten in een te korte periode worden terugverdiend.

### 8.3. Beheersbaarheid van de groeifactoren

Bij de teelt onder glas kunnen we vrij veel doen aan beheersing van de groei. In volgorde van belangrijkheid: water, warmte, CO<sub>2</sub> en licht. Deze volgorde is bepaald door de economie. Water geven kost niet veel, stoken is duur, maar absoluut nodig en we hebben daarvoor CO<sub>2</sub> ter beschikking. Kunstlicht is meestal te duur om als beheersbare groeifactor te dienen. Wel kunnen we zorgen voor lichte kassen en een grotere plantafstand. Er is van tuin tot tuin veel verschil in de mate van beheersing van de teeltomstandigheden.

#### 8.3.1. Regelbaarheid - buffer

Als alles nauwkeurig is geregeld is er geen buffer meer. Als we het goed doen benutten we zo alle kansen, maar als we fouten maken worden die altijd gestraft. Is alles gebufferd dan missen we vele kansen maar we kunnen zonder bezwaar een foutje maken. De vraag is in hoeverre het verantwoord is buffering te vervangen door regelbaarheid. Technisch is er veel mogelijk maar teelttechnisch zijn er nogal wat beperkingen. Meer regelbaarheid moet meer productie opleveren. Als alles is gebufferd, bijvoorbeeld teelt in de grond bij een tamelijk gebrekkige watervoorziening en klimaatregeling, ontstaat een taai hard gewas. Het kan overal tegen, ook tegen fouten. Gaan we nu de omstandigheden in de kas goed regelen, dan komt dit meestal neer op grotere snelheden en gevoelige gewassen. Zie figuur 77.



Figuur 77. Regelbaarheid - Buffer. Naarmate de regelbaarheid toeneemt wordt de buffering geringer en de gewasgevoeligheid neemt toe. Het hangt af van de verhouding kosten/opbrengsten in hoeverre een betere beheersing rendabel is.

De buffering neemt af, de gevoeligheid wordt groter. De opbrengst wordt als het goed is ook hoger want we zorgen beter voor het gewas. De kosten stijgen ook, vooral naarmate we beter willen regelen. In het begin neemt de produktie sneller toe dan de kosten. Klimaatregeling en substraatteelt lijken rendabel te zijn. Willen

we helemaal niet meer afhankelijk zijn van de natuur dan moeten we in een geïsoleerde ruimte met kunstlicht gaan telen, maar dat is vooralsnog te duur. In de praktijk vallen bovendien de opbrengsten in weinig gebufferde systemen nogal eens tegen doordat we toch nog te veel fouten maken.

### 8.3.2. Substraatteelt

Bij de teelten onder glas is de laatste jaren door allerlei oorzaken de belangstelling voor het telen in kunstmatige wortelmilieus sterk toegenomen. Dit ligt ook wel voor de hand want we kregen steeds meer mogelijkheden om het bovengrondse klimaat te regelen. Het gevolg was dat de reactie van de grond eigenlijk te traag geworden was ten opzichte van de mogelijkheden die we bovengronds hebben. Toen daarbij kwam dat we moeilijkheden gingen krijgen met grondontsmetting was dat aanleiding om over te stappen op substraatteelten. De teelt komt op een hoger niveau van regeling en dus moet een hogere produktie het gevolg zijn, zij het met een wat gevoeliger gewas.

Ook bij de teelt in kunstmatige wortelmedia kan men zich afvragen in hoeverre het zin heeft er nog een zekere mate van buffering in aan te brengen. In puur water telen, dus geheel ongebufferd voor mineralen, is zeer moeilijk gebleken en wordt in de praktijk dan ook bijna niet toegepast. Kennelijk is de kans op fouten te groot. Het is blijkbaar verstandig een substraat te kiezen dat nog enige buffering vertoont op de zuurgraad en de spoorelementen. Een betere zuurstofvoorziening dan in watercultuur is ook belangrijk.

### 8.4. Telen is kiezen

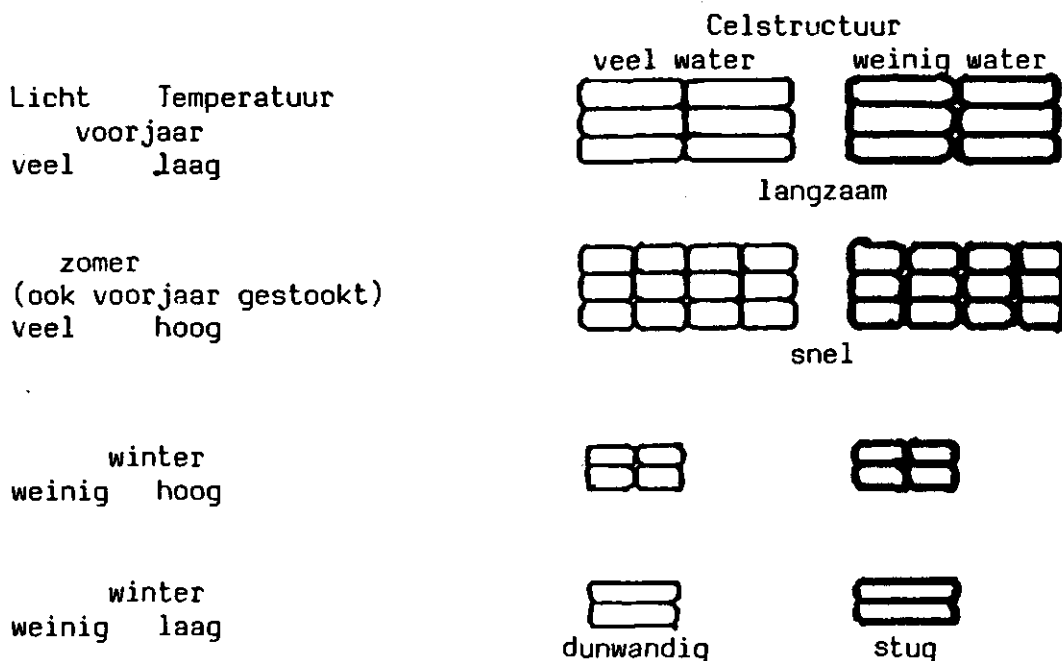
Er zijn vele methoden beschikbaar om de groei van planten te beïnvloeden. Op allerlei manieren kan men water geven, bemesten, verwarmen en CO<sub>2</sub> toepassen. De ondernemer moet beslissen welke combinatie van mogelijkheden hij zal kiezen, om tot het gewenste resultaat te komen. Daartoe is een goed inzicht in de effecten van de maatregelen vereist.

#### 8.4.1. Samenhang tussen water, warmte en licht

In figuur 78 is weergegeven hoe in principe licht, water en warmte op de groei inwerken.

Duidelijk is dat in de praktijk vooral het effect van licht het gewicht van de produktie bepaalt. Hoe meer licht, hoe meer bouwstoffen beschikbaar zijn. De temperatuur is erg belangrijk om te bepalen over hoeveel cellen die bouwstoffen moeten worden verdeeld. Bij hoge temperaturen verloopt de celdeling sneller dus worden de cellen kleiner, terwijl de ademhalingsverliezen wat groter zijn.

In de samenhang van licht en warmte hebben we ook te maken met de vraag wat het belangrijkste is: vroegheid of produktie-omvang. Een hogere temperatuur geeft meer snelheid en dus vroegheid. De cellen blijven kleiner, de produktie valt wat tegen. Dat moet dan worden goedge maakt door een hogere prijs voor een vroegere produktie. De waterhuishouding bepaalt voor een zeer groot deel de kwaliteit van de weefsels. Hoe minder water hoe stugger de plant en hoe ste-



Figuur 78. Warmte, water, licht. Veel licht geeft veel bouwstoffen. Veel warmte geeft veel cellen (snelheid). Weinig water geeft een stug gewas.

viger de cellen. Ze blijven echter klein. Maximale wateropname geeft de grootste cellen die meer licht vangen waardoor de groei sterk wordt beïnvloed. Bij geringe lichtintensiteiten blijven de cellen ook klein, maar door gebrek aan bouwstoffen kan de kwaliteit zeer bedenkelijk zijn. Dat maakt de plant in de winter gevoelig voor vele fysiogene afwijkingen.

#### 8.4.2. Vergelijking effect van licht, CO<sub>2</sub>, temperatuur en water

Binnen de mogelijkheden waaronder we telen kunnen we vergelijken wat het effect is van de verschillende groeifactoren. Als we niet belichten is het groeiverschil als gevolg van het lichtverschil tussen winter en zomer: 1 op 3 à 4. Denk bijvoorbeeld aan radijs. Midden in de winter duurt een teelt ruim 80 dagen en midden in de zomer ruim 20 dagen. Een tomaat kan 's zomers bloeien ruim drie weken na de opkomst van het zaad. 's Winters duurt het 10 weken. Het effect van stralingsverschillen is dus zeer groot. Maatregelen die meer licht tot gevolg hebben zijn altijd verantwoord als ze weinig extra kosten, bijvoorbeeld schoon glas en lichte kassen. Belichten is meestal te duur. Licht onderscheppen is al gauw nadelig en zal dus duidelijk voordelen op ander terrein moeten hebben. Dit verdient bij energie-besparende installaties goed te worden overwogen. Het toedienen van CO<sub>2</sub> heeft wat minder spectaculaire gevolgen dan lichtverschillen. Dát komt doordat het bij de natuurlijke concentratie (circa 300 dpm) al vrij goed groeit. Verhoging tot 1.000 dpm (0.1%) geeft een opbrengstverhoging van circa 25% en verlaging onder 300 dpm die in een kas altijd optreedt als niet wordt gedoseerd, kost zeer veel produktie. In totaal zal het

effect zelden meer bedragen dan 1 : 1.5. Dat is dus veel minder dan bij licht (1 : 3 à 4). Warmte is ook belangrijk voor de groei. Als we niet stoken gaan de meeste gewassen 's winters dood. Gaan we er echter vanuit dat we de temperatuur ongeveer optimaal houden, dan is het effect van temperatuurverschillen klein. Bij tomaten was gedurende de gehele winter het snelheidsverschil van een constant temperatuurverschil van 5° C, niet meer dan 1 : 1.2. In de praktijk hebben we meestal met nog kleinere verschillen te maken zodat we het effect van de temperatuur bijna kunnen verwaarlozen ten opzichte van de invloed van licht en CO<sub>2</sub>.

Tenslotte de waterhuishouding. Als we niet gieten komt er van een gewas meestal niets terecht. Gieten en bemesten zijn echter tegenwoordig technisch zo goed uitvoerbaar dat we ervan uit moeten gaan dat de vochthuishouding van een plant goed is geregeld. De gevaren zitten meer in de gevoeligheid van het gewas dan in watertekort. Vervanging van grond door een kunstmatig groeimedium kan wat verbetering geven doordat dergelijke systemen minder gebufferd zijn dan grond.

## 8.5. Niet uit een boekje!

We komen tot een afsluiting van de behandeling van de plantenfysiologie in de glastuinbouw. We hebben zoveel mogelijk kennis aangedragen en die zo gerangschikt dat het kan leiden tot een beter inzicht in het leven van de planten. Dit wil niet zeggen dat we recepten voor de plantenteelt kunnen geven. Telen gaat niet uit een boekje. Inzicht kan echter wel bijdragen tot doelmatiger beslissen en zo kunnen de resultaten worden verbeterd.

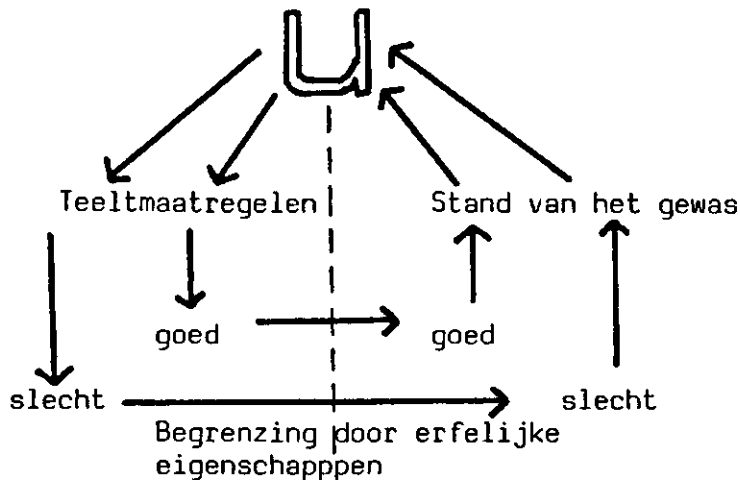
### 8.5.1. Beslissingen

Een tuinder moet in zijn onderneming elke dag een reeks beslissingen nemen, op allerlei gebied. Elke dag moeten ook beslissingen vallen inzake de gewassen. Hoe komt dat tot stand? Figuur 79 brengt dat in beeld.

We hebben u aan het hoofd van de teelt geplaatst. U kijkt hoe het gewas erbij staat en als het naar uw zin is verandert u niets. Is de stand niet goed, dan neemt u maatregelen om dat te verbeteren. U gaat bijvoorbeeld gieten als het te droog is en stoken als het te koud is, al of niet automatisch. Maar u moet beslissen hoe. Het werkt als een temperatuurregeling: u kijkt hoe het gewas staat (meting). U vergelijkt dat met wat u zou willen (set-point) en u gaat zo nodig corrigeren om de afwijking van het set-point weg te werken (ingreep). De plant is daarbij passief en kan niet zelf beslissen, of kiezen of uitrusten of zich vergissen. Hij reageert op de omstandigheden. Als hij niet goed groeit, vergist niet de plant zich, maar u! Als de omstandigheden goed zijn, groeit hij goed, hij kan niet anders! Als hij gisteren slecht groeide door slechte omstandigheden zal hij vandaag weer goed groeien als u dat verbetert. Hij kan niets onthouden en blijft niet namokken. Er is natuurlijk, nog afgezien van de economie, wel een grens aan uw mogelijkheden. U kunt de plant alleen beïnvloeden binnen de grenzen van zijn erfelijke eigenschappen. U kunt de optimumtemperatuur van uw gewas niet veranderen en de plant niet goed laten groeien bij te weinig licht



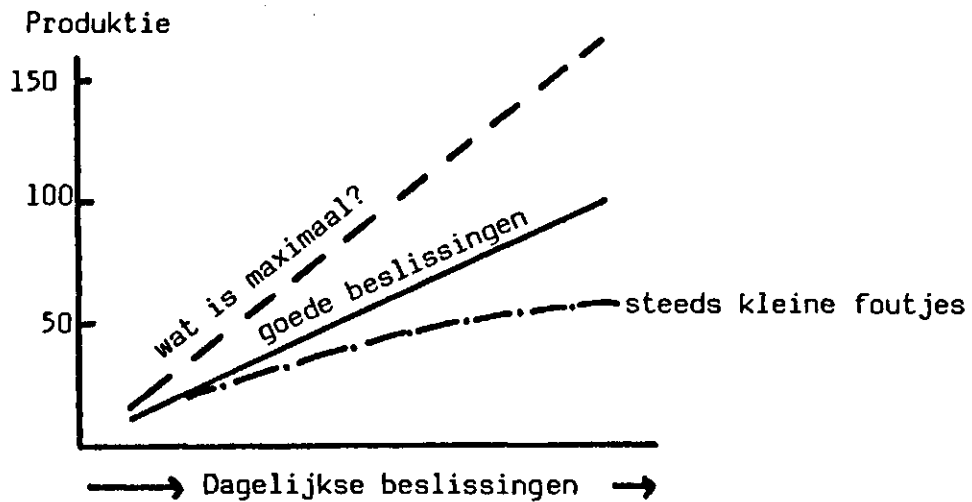
en als hij daglengtegevoelig is kunt u daaraan niets veranderen.  
De plant is passief: kan niet denken, zich vergissen,  
onthouden, beslissen.



Figuur 79. De beslissingen. Aan de hand van het gewas moet beslist worden welke teeltmaatregelen nodig zijn. Als dat goed gebeurt, groeit de plant goed, want hij is geheel passief.

#### 8.5.2. Resultaten

We zeiden al dat een teelt niet kan worden geleerd uit een boekje. Dat is maar goed ook want dan zou iedereen het kunnen! In de praktijk blijkt dat niet het geval te zijn. De één verdient royaal zijn brood met een teelt waarbij de ander het niet kan volhouden. Hoe komt dat? Het is niet concreet aan te geven waar het bij de één fout en bij de ander goed gaat. Toch zijn er produktieverschillen van 1 : 2 en het is daarbij de vraag hoeveel we nog daarboven zouden komen als we geen fouten meer maakten. Soms zijn de produktieverschillen te wijten aan een ongeluk. Meestal echter zit iemand doorlopend onder of boven het gemiddelde. Als iemand het elk jaar goed doet, dan komt dat doordat hij elke dag, elk uur goede beslissingen neemt. Een teelt bestaat eigenlijk uit een oneindig aantal stapjes. Als u een aantal daarvan naast het goede pad zet, wijkt u aan het einde van de teelt al ver af, zie figuur 80. De kunst is om te weten te komen waar u foutjes maakt. Hoe u die moet verbeteren is dan meestal niet zo moeilijk meer.



Figuur 80. De resultaten. Door een reeks goede beslissingen komt een goede produktie tot stand. Steeds kleine foutjes brengt het resultaat terug tot op de helft. Hoe groot kan de produktie zijn zonder fouten?

#### 8.6. Succes!

Tenslotte willen we u veel succes wensen met de teelten die u hebt gekozen. Deze publikatie is geschreven om u de gelegenheid te geven uw inzicht te verdiepen.

We hopen dat we daarin zijn geslaagd. Als dat zo is, dan mogen we aannemen dat u weer een aantal keren een beter verantwoorde beslissing neemt. Dan zal het resultaat van de teelt verbeteren en is onze inspanning beloond.