CURSUS PROEFTECHNIEK 1977 - 1979

SYLLABUS PLANTENFYSIOLOGIE IN DE GLASTUINBOUW

DOOR

ing. D. Klapwijk

22137416

Inhoud

	blz.
1. Enige opmerkingen vooraf	3
1.1 Overzicht van de inhoud	3
1.2 Gebruiksaanwijzing bij de syllabus	3
1.3 Literatuur	3
2. Energie in de plant	5
2.1 Energie en droge stof	5
2.2 Droge stof en water	6
2.3 Droge stof en water in de cel	7
2.4 Celgroei: deling en strekking	8
3. Levensprocessen in de plant	9
3.1 Fotosynthese (assimilatie)	9
3.2 Ademhaling	10
3.3 Groei en ontwikkeling	11
3.4 Wateropname in de cel	12
3.5 Worteldruk: Opname zonder verdamping	13
3.6 Wateropname door verdamping	14
3.7 Watertransport in de plant	15
3.8 Wortelaktiviteit en wateropname	16
3.9 Zoutopname en -transport	17
3.10 Verdamping en temperatuurregeling	18
3.11 Planttemperatuur	19
3.12 Verdamping en groei	20
4. De invloed van de milieufaktoren op de groei	21
4.1 Invloed van het licht	22
4.1.1 Formatieve werking van het licht	23
4.1.2 Fotoperiodische werking van het licht	24
4.1.3 Licht is energie	25
4.1.4 Lichtbenutting door één blad	26
4.1.5 Lichtbenutting in een gewas	27
4.1.6 Licht in de kas	28
4.1.7 Toepassing van kunstlicht	29
4.2 Invloed van de temperatuur op de plantengroei	30
4.2.1 Temperatuur en fotosynthese	30
4.2.2 Temperatuur en ademhaling	31
4.2.3 Verband temperatuur en ademhaling/fotosynthese	32
4.2.4 Samenhang tussen temperatuur en licht	33

		blz.
4.3	De lucht om de plant	34
	4.3.1 Luchtbeweging is transport	34
	4.3.2 Gaswisseling door diffusie	35
	4.3.3 Waterdamptransport via de huidmondjes	36
	4.3.4 Gewas en luchtvochtigheid	37
4.4	De waterhuishouding van de plant	38
	4.4.1 Zuigspanning in en om de plant	39
	4.4.2 Celspanning	40
	4.4.3 Celspanning en groei	41
	4.4.4 Wisselingen in celspanning	42
	4.4.5 Licht - temperatuur - water en groei	43

1. Enige opmerkingen vooraf

In dit hoofdstuk van de kursus kasklimaat wordt de plant behandeld. Van de plantkunde wordt echter alleen de plantenfysiologie gegeven, omdat in dit verband belangrijk is, hoe de plant reageert op veranderingen in de uitwendige omstandigheden. Voor een goed begrip is dan vooral de fysiologie belangrijk en behandeling van de andere hoofdstukken van de plantkunde - inwendige bouw, vormenleer, erfelijkheidsleer en systematiek - is dan niet nodig. Deze komen zo nu en dan zijdelings aan de orde.

1.1 Overzicht van de inhoud

Uit de inhoudsopgave is af te lezen welk schema is gebruikt voor de behandeling van de plantenfysiologie. Eigenlijk wordt steeds dezelfde stof gegeven maar achtereenvolgens tegen drie verschillende achtergronden.

In hoofdstuk 2 komt aan de orde wat de plant eigenlijk is. Dit gebeurt vanuit het gezichtspunt van de energie. De plant produceert door middel van energie droge stof. Deze droge stof komt in de plant alleen maar voor in samenhang met water.

In hoofdstuk 3 volgen de levensprocessen in de plant. Nagegaan wordt hoe de droge stof wordt gevormd en verbruikt voor leven en groei in samenhang met de waterhuishouding van de plant.

In hoofdstuk 4 wordt de invloed van de milieufaktoren op de plantengroei beschreven. Hierbij komt aan de orde hoe de teler door middel van licht, temperatuur, lucht en water ingrijpt op de groei van de plant.

1.2 Gebruiksaanwijzing bij deze syllabus

Deze syllabus is speciaal voor de kursus "kasklimaat" samengesteld. De inhoud is in veel opzichten sterk geschematiseerd. Daardoor is het onvermijdelijk dat dingen worden beweerd, die op zichzelf genomen niet volledig zijn. Ook worden soms belangrijke onderdelen geheel buiten beschouwing gelaten. Er is echter onvoldoende tijd beschikbaar om alles uit te werken. Daarom is een keuze gemaakt en worden de onderwerpen, die in dit verband het belangrijkst zijn, behandeld.

Deze syllabus bestaat uit een serie schema's met verklarende tekst. Ter illustratie worden tijdens de lessen aanvullende gegevens verstrekt, waarvan naar behoefte aantekeningen gemaakt kunnen worden. Deze syllabus is dus niet geschikt om zonder toelichting gebruikt te worden. De stof wordt echter toegankelijk gemaakt via verwijzingen naar het boekje "Kasklimaat, groei en groeibeheersing onder glas", D. Klapwijk, 1971. Agon Elsevier, Amsterdam. Op alle schema's die daarvoor in aanmerking komen zijn de pagina's van het boekje vermeld, die er betrekking op hebben. Het boekje zelf is zodanig geschreven, dat het wel zonder toelichting te lezen is.

1.3 Literatuur

Een eenvoudige samenvatting van de plantenfysiologie voor de glasteelten wordt gegeven in het boekje van D. Klapwijk. Voor hen die zich

wat nader op de hoogte willen stellen van allerlei plantenfysiologische gegevens worden hieronder enkele titels van vrij goedkope boeken gegeven:

Afzelius, B	Biologie van de cel,	Aula 267
Alberda, Th , e.a.	De Groene Aarde,	Aula 250
Naltsch, W	Algemene Botanie,	Aula 366

Vooral Alberda geeft ruime informatie, die gericht is op de landbouw. Naltsch en Afzelius zijn wat algemener van opzet en meer op de plantenfysiologie gericht.

2 Energie in de plant

In dit hoofdstuk komt aan de orde wat de plant eigenlijk is. De plant wordt bezien in verhouding tot de energie. Want alleen door middel van energie kan een plant CO_2 en water verbinden tot droge stof. Bovendien kan de plant de energie er later weer uit vrijmaken. Voor alle levensprocessen is energie nodig en in alle plantedelen is energie opgeslagen. Het leven van de plant speelt zich af in samenhang met water, wat in grote hoeveelheden in de plant voorkomt, maar bovendien in nog grotere hoeveelheden door de plant wordt opgenomen en weer verdampt.

2.1 Energie en drogé stof

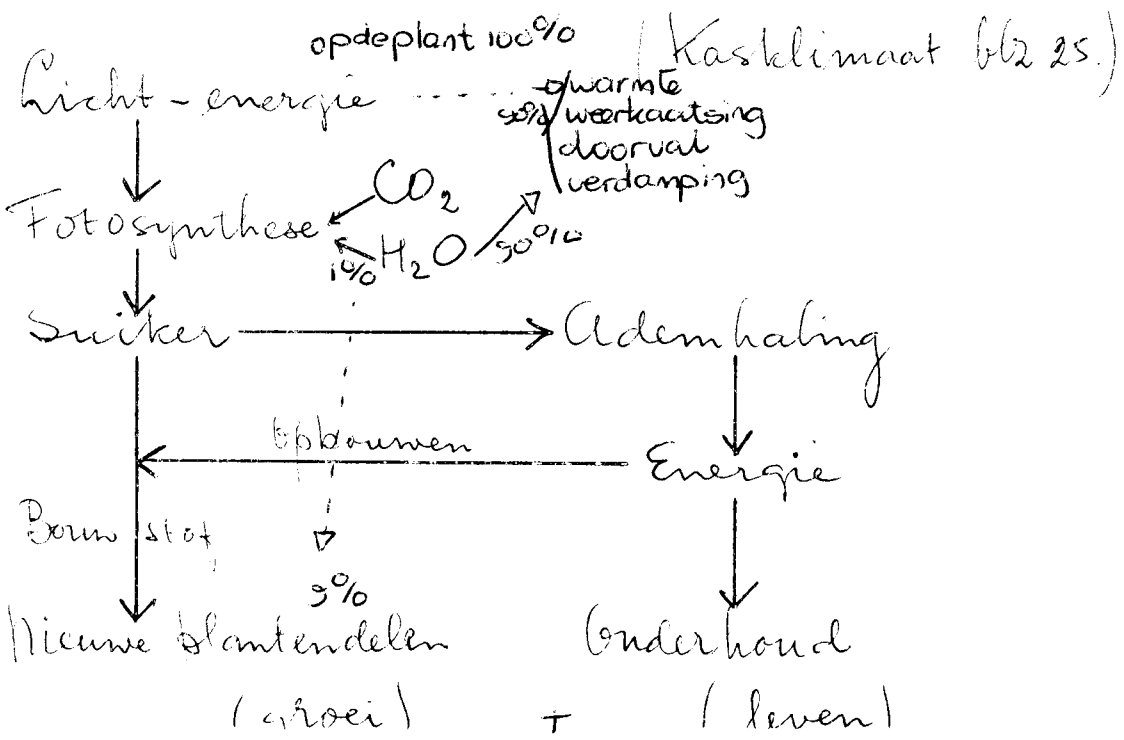
Groei is gewichtsvermeerdering van de plant. Deze komt tot stand door produktie van droge stof als gevolg van omzetting van CO_2 in suiker, onder invloed van de lichtenergie. Dit proces noemt men fotosynthese.

Suiker is grondstof voor de ademhaling. Door de ademhaling komt de energie weer vrij. Zonder ademhaling is geen leven mogelijk. Voor elke vorm van leven is energie nodig. Een belangrijk aspekt van leven is groei. Dit is het vormen van nieuwe plantedelen. Suiker is hiervoor de grondstof. Maar via de ademhaling levert suiker eveneens de energie die nodig is om suiker via een zeer groot aantal stappen om te vormen tot plantedelen.

Groei is vastlegging van energie in droge stof.

Optimale groei is de vorming van de grootst mogelijke hoeveelheid nuttige droge stof. De nuttigheid is echter ekonomisch bepaald. Weinig groei in de winter kan voordeliger zijn, dan wachten op meer groei in het voorjaar. Aan de geringe hoeveelheid energie moeten de overige omstandigheden worden aangepast.

Energie - schema



2.2 Droge stof en water

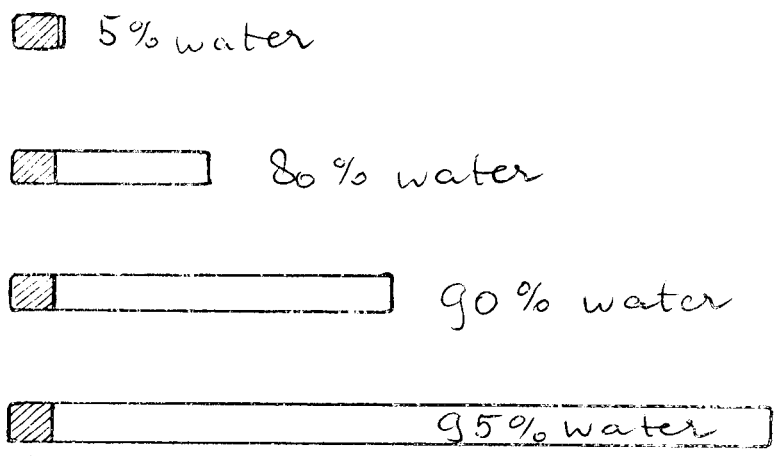
Onder invloed van lichtenergie wordt door de plant uit CO_2 en H_2O droge stof geproduceerd. De plant bestaat echter gemiddeld voor slechts 10% uit droge stof. De rest is water, dat niet chemisch aan de plant gebonden is. Door aanpassing kan de plant het grootste deel van dit water missen zonder dat afsterving volgt.

Zeer jong zaad bestaat bv. voor 90% uit water. Gedurende het rijpingsproces neemt het vochtgehalte af. Men kan rijp zaad rustig laten drogen tot het 5% water bevat. Het gaat dan niet dood. Men kan het dan weer weken tot 50% vocht en het snel terugdrogen zonder dat het kiempje eronder behoeft te lijden.

De droge stof wordt na de vorming als het ware door de plant met water verdund. Hoe sterker de verdunning is, hoe groter de plant zal zijn bij dezelfde hoeveelheid droge stof. Een grotere plant vangt meer licht op en daardoor gaat de toekomstige groei nog sneller. Een snelle fotosynthese moet dus gepaard gaan met een snelle verdunning. Snel-groeiende planten hebben daardoor een laag gehalte aan droge stof.

Droge Stof en Water

(Kasklimaat blz. 119)



De hoeveelheid droge stof is gelijk

Hoe groter de verdunning

hoe groter het blad.

Daardoor meer fotosynthese = snellere groei

2.3 Droge stof en water in de cel

Aan de hand van een schematische voorstelling van een plantecel is duidelijk te maken, waar in de plant droge stof en water voorkomt.

De cel heeft een (dode) celwand, bestaande uit cellulose (celstof), wat op filtreerpapier lijkt. Daarbinnen bevindt zich de levende inhoud - protoplast - die is omgeven door een membraan - halfdoorlatende wand -. Hiermee kan de plant de doorlaat van allerlei stoffen regelen. Elk orgaan binnen de cel is door een membraan omgeven. Het belangrijkste orgaan binnen de cel is de kern, van waaruit het gehele planteleven geregeld wordt.

De plant is echter geen verzameling kunstig op elkaar gestapelde cellen zonder verband, maar alle cellen staan met elkaar in verbinding. Alle protoplasten staan via plasmodesmen met elkaar in kontakt.

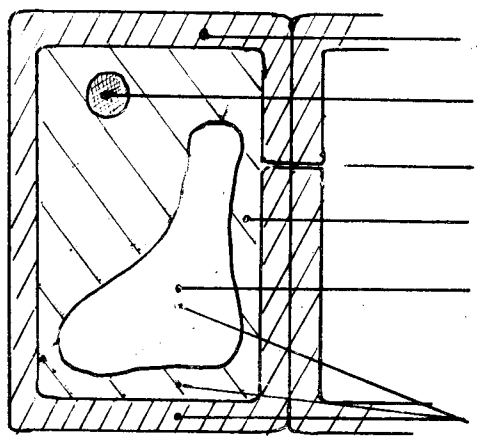
In de protoplast bevinden zich de bladgroenkorrels, waarin de fotosynthese plaatsvindt. De gevormde suiker is de grondvorm voor alle droge stof. Het is oplosbaar en dus transporteerbaar naar andere cellen b.v. in de wortels. Het kan als zetmeel tijdelijk worden opgeslagen. Het dient uiteindelijk als "brandstof" voor de ademhaling, of als grondstof voor de "nieuwbouw".

De levende delen bestaan uit eiwit-achtige stoffen. De protoplast zet naar buiten de dode celwand af. De celwand - filtreerpapier - bevat zeer veel water, maar ook de protoplast zit vol met water. Daarbinnen bevindt zich de vakuole, die gevuld is met een waterige oplossing.

In oude planten komt naar verhouding veel meer dode droge stof voor in allerlei steunweefsels met celwandverdikkingen. Bovendien wordt in grotere planten het aantal "groene" cellen relatief steeds kleiner, doordat naar verhouding steeds meer droge stof nodig is voor wortels en stengels.

Droge stof en water in de cel

(Kasklimaat blz. 115)



Fotosynthese

Grondstof ← suiker - oplosbaar (ademhaling)
zetmeel - tijdelijk onoplosbaar

Droge stof ← eiwit - protoplast, kern - leeft
cellulose - celwand - dood

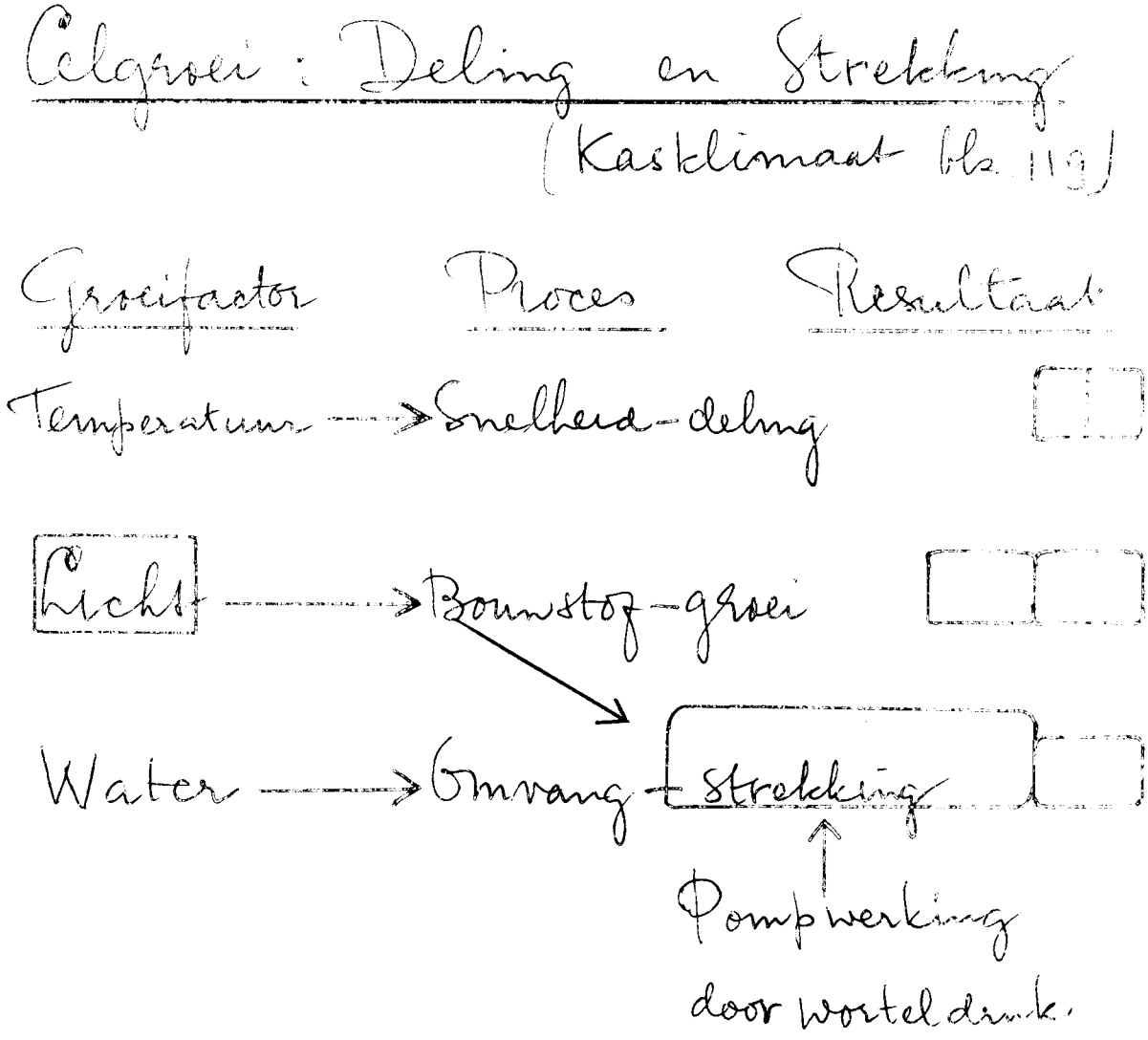
2.4 Celgroei: deling en strekking

De plant bestaat uit cellen. Het gedrag van al deze cellen bepaalt het gedrag van de totale plant. De omstandigheden hebben invloed op de celdeling en celgroei en zo op de groei van de gehele plant.
De hoofdgroeifaktoren zijn: licht, warmte en water. CO_2 is ook onontbeerlijk, maar komt altijd in de lucht voor. Daardoor is de mogelijkheid van groeibeïnvloeding door CO_2 kleiner dan van warmte, licht en water. Bij het water zijn de opgeloste zouten inbegrepen.

Licht is de belangrijkste groeifaktor, omdat het de energie levert die nodig is voor de droge stofproduktie. De droge stof is nodig om de celvergroting na de deling tot aan de uiteindelijke vorm tot stand te brengen.

De temperatuur bepaalt de snelheid van de deling en dus van de vorming van nieuwe bladeren en bloemen. Door temperatuurverhoging wordt in het algemeen de groeicyclus verkort.

Door worteldruk worden de cellen opgepompt tot hun max. male maat. Door zout in de voedingsoplossing wordt dit effekt beperkt. Hoe gemakkelijker een plant water kan opnemen, hoe groter de cellen worden. Een tomateplantje kan gedurende de eerste dag na opkomst zichzelf oppompen tot driemaal het begingewicht zonder dat daarbij veel droge stof wordt gevormd.



licht = de belangrijkste groeifactor

CO_2 inhoud is zwakker dan
temp en water

3 Levensprocessen in de plant

Na een algemeen overzicht waarin behandeld werd wat een plant eigenlijk is, volgt nu behandeling van de belangrijkste levensprocessen. Gesteld werd dat de plant uit droge stof bestaat die gevormd is door fotosynthese. Wat hiervan na ademhaling overblijft kan gebruikt worden voor groei. Deze droge stof wordt in de plant verwerkt (verdund) met zeer veel water.

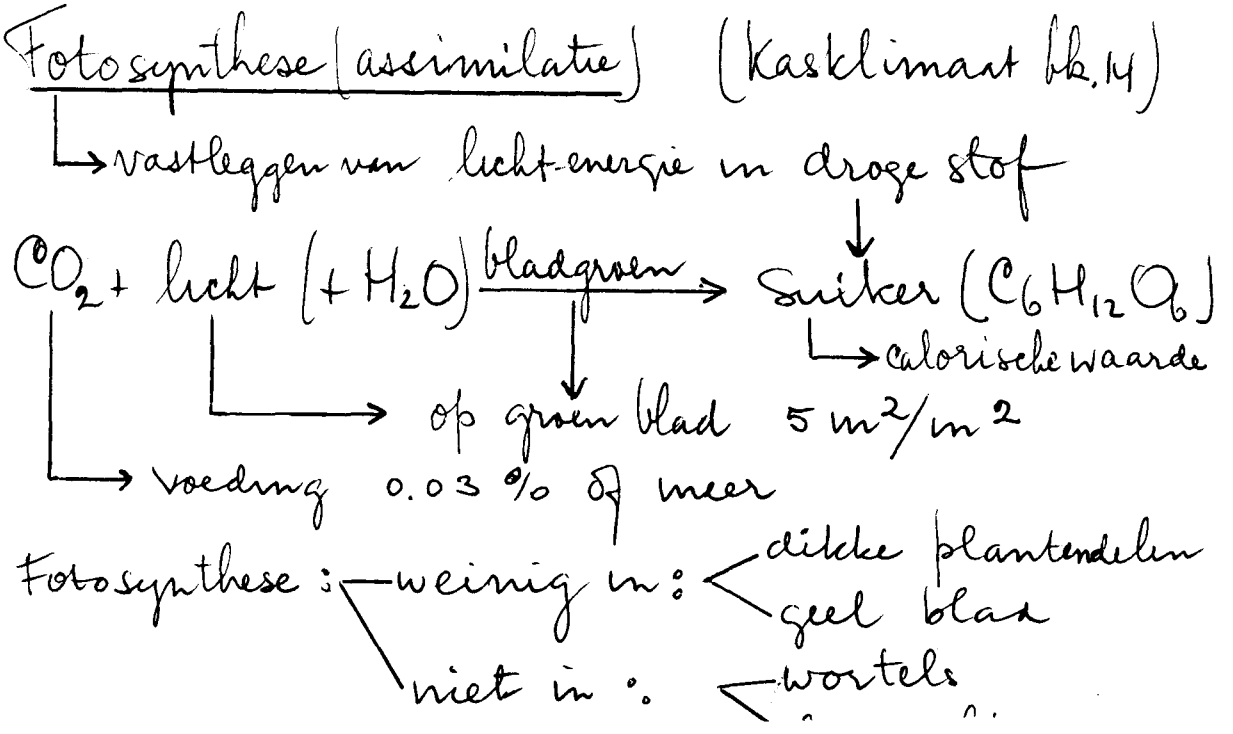
In het volgende deel zal nu aandacht worden gegeven aan: De levensprocessen ademhaling en fotosynthese en hun samenhang ten opzichte van de groei, opname en verdamping van water en hoe reageert de groei er op.

3.1 Fotosynthese (assimilatie)

Onder invloed van de lichtenergie wordt CO_2 gereduceerd tot suiker ($C_6H_{12}O_6$). Dat de energie in droge stof aanwezig is, blijkt wel wanneer dit verbrand wordt. Dan komt de energie weer vrij in de vorm van warmte (kalorieën).

Voor de omzetting van licht in chemische energie is bladgroen nodig. Voor een goede lichtonderschepping is ca 5 m^2 blad nodig per m^2 grondoppervlakte. Dikke plantedelen - stengels en vruchten - bevatten weinig of geen bladgroen en assimileren verhoudingsgewijs weinig. Geel blad assimileert niet (voedingsziekten, veroulering, bont blad). Rood blad bevat wel bladgroen al overheerst een andere kleurstof.

Onder gunstige groeiomstandigheden is de natuurlijke CO_2-koncentratie van 0.03% onvoldoende. Afhankelijk van ekonomische faktoren kan dit verhoogd worden. De gevormde suiker dient als grondstof voor nieuwe plantedelen en tevens als brandstof voor de ademhaling. De energie die bij ademhaling vrijkomt, wordt gebruikt om de suiker om te zetten tot nieuwe plantedelen.



3.2 Ademhaling

Door ademhaling maakt de plant de energie weer vrij uit de suiker door oxydatie. Voor alle levensverrichtingen is energie nodig. Dus altijd en in alle cellen. Daarom moet 24 uur lang in elke cel suiker aangevoerd worden. Daarom moet ook in alle cellen O_2 worden aangevoerd. Bovengronds geeft dit laatste niet veel moeilijkheden. Ondergronds kan de O_2-aanvoer soms stagneren, bijvoorbeeld door verslemping.
Fotosynthese : alleen overdag, alleen in het blad.
Ademhaling : dag en nacht in alle weefsels.

De fotosynthese moet dus per tijdseenheid en per gram blad veel sneller verlopen dan de ademhaling.

Het deel van de geproduceerde suiker, dat niet nodig is voor de ademhaling, kan voor groei worden gebruikt. 's Zomers is dat overschot zeer groot. 's Winters bij zeer donker weer kan het zelfs negatief zijn. Kruidachtige plantedelen beschikken niet over reserves. Bij tekorten in jonge delen wordt dit aangevuld uit ouder blad wat dan afsterft.

Fotosynthese vindt alleen overdag plaats, maar suiker is ook 's-nachts nodig. Er is dus kortdurende opslag nodig, bijvoorbeeld in de vorm van zetmeel. Langdurige opslag kan plaatsvinden in reservevoedsel als zaad, bollen, knollen, wortels, wortelstokken.

Fotosynthese vindt alleen in het blad plaats, maar de suiker is overal nodig voor de ademhaling. Dit vraagt een uitgebreid transport door heel de plant. Dit vindt van cel tot cel plaats via de plasmodesmen en over grotere afstanden via de zeefvaten. Dit zijn levende cellen met doorboorde tussenschotten. Het water wordt van de wortel naar het blad getransporteerd via houtvaten. Dit zijn dode cellen zonder tussenschotten.

Ademhaling (Kasklimaat blz 18, 26)

→ Vrijmaken van energie uit suiker

$$\text{Suiker} + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O + \text{Energie}$$

Nodig voor alle levensprocessen in alle cellen en altijd (dag en nacht)

	Zomer	Winter	Winter + mist
Fotosynthese	100	15	5
Ademhaling	15	8	7
Groei	85	7	−2

3.3 Groei en ontwikkeling

Als de plant toeneemt in omvang noemt men dat groei. Kleine cellen worden groot en de plant legt steeds nieuw blad aan.

Gaat de plant over in een volgend stadium in de cyclus zaad, kieming , jeugdfase, bloemaanleg, bloei, zaad, dan spreekt men van ontwikkeling.

Het één staat nooit los van het ander. Maximale groei is alleen mogelijk, als alle faktoren gunstig zijn. Als er veel licht is, moet er veel CO_2 zijn voor een snelle fotosynthese. De temperatuur moet dan ook hoog zijn, omdat energie nodig is en dus een snelle ademhaling vereist wordt voor de verwerking van de suikers. Voor een maximale verdunning (grote cellen) is dan ook een ruime vochtvoorziening vereist.

In de praktijk zal een snelle groei bij hoge temperatuur maar zelden samengaan met een grote verdunning (welig gewas). De oorzaak hiervan is dat bij veel licht en een hoge temperatuur de waterhuishouding al gauw beperkend wordt. Uit onderstaande gegevens blijkt dat een plant zeer snel kan groeien. De vermenigvuldigingsfaktor (procentuele groei) wordt snel kleiner, maar de absolute toename (in grammen) neemt toe.

Groeisnelheid (opkweek tomaat)

Kasklimaat blz. 31

Leeftijd na opkomst dagen	Gewicht p.pl. (g)	Gewichtstoename relatief	Gewichtstoename $g.dag^{-1}$	Blad %
0	0,02			90
18	18,7	900 x	1	50
36	305	16 x	16	39

Tempo	relatief	absoluut
0 - 18 dagen	50 % per dag	1 g per dag
18 - 36 dagen	17 % per dag	16 g per dag

Tijdens de teelt treden allerlei groeiremmingen op. Een eerste groeiremming, waarmee vele gewassen in aanraking komen, is bijvoorbeeld stekken, verspenen en een beperkend potvolume. Soms zijn remmingen niet te vermijden, zoals in ongestookte kassen waar de groeiomstandigheden slecht kunnen zijn en waar weinig geregeld kan worden. Ook afharden is een groeiremming, die nodig kan zijn. Beperking van de groei wordt dikwijls toegepast om een gewenste kwaliteit te verkrijgen.

3.4 Wateropname in de cel

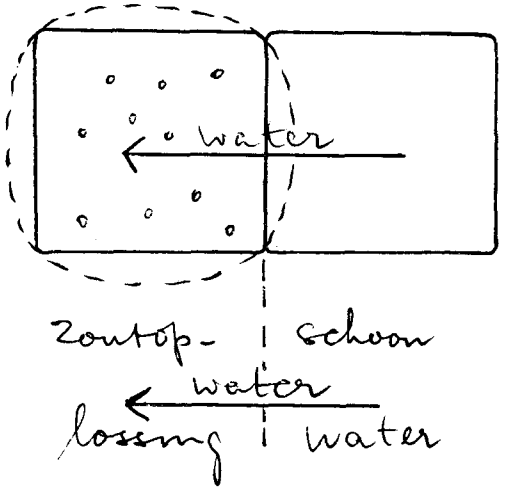
Wateropname in de cel vindt plaats via de membranen (semi-permeabel). Binnen deze membraan bevindt zich de levende celinhoud. Membranen maken deel uit van het leven en de cel kan door de membranen regelen, wat wordt doorgelaten.

Water kan bijna vrij passeren, maar de plant regelt zelf het zouttransport en dus de koncentratie. Wateropname in de cel wordt zo een osmotisch proces. Hoe hoger de koncentratie is, hoe meer water de cel binnenstromen wil. De stroming houdt op als de tegendruk van de wand even groot is, als de zuigkracht van de oplossing bedraagt.

De celwanden bestaan uit dood materiaal (filtreerpapier) en laten het water vrij passeren. Binnen de plant kan zich dus water verplaatsen via de celwanden en via de houtvaten (dood) zonder dat de plant daaraan iets kan regelen.

Wateropname in de cel

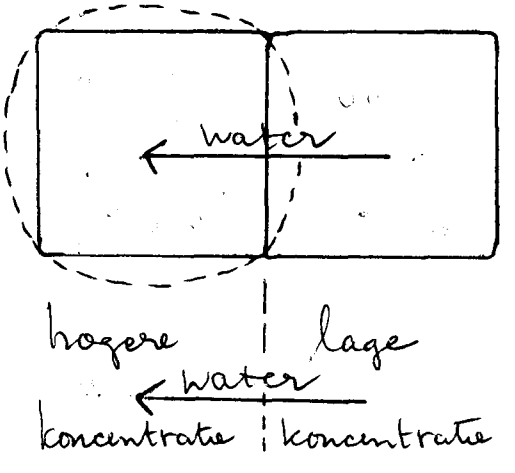
(Kasklimaat blz 115)



Celmembraan: halfdoorlatend (semi-permeabel)

Wél doorlatend voor: water

Doorlatendheid voor zouten: Regelbaar



Hogere koncentratie
↓
Water-aanzuiging
↓
Druk-verhoging
(meet: atmosfeer)

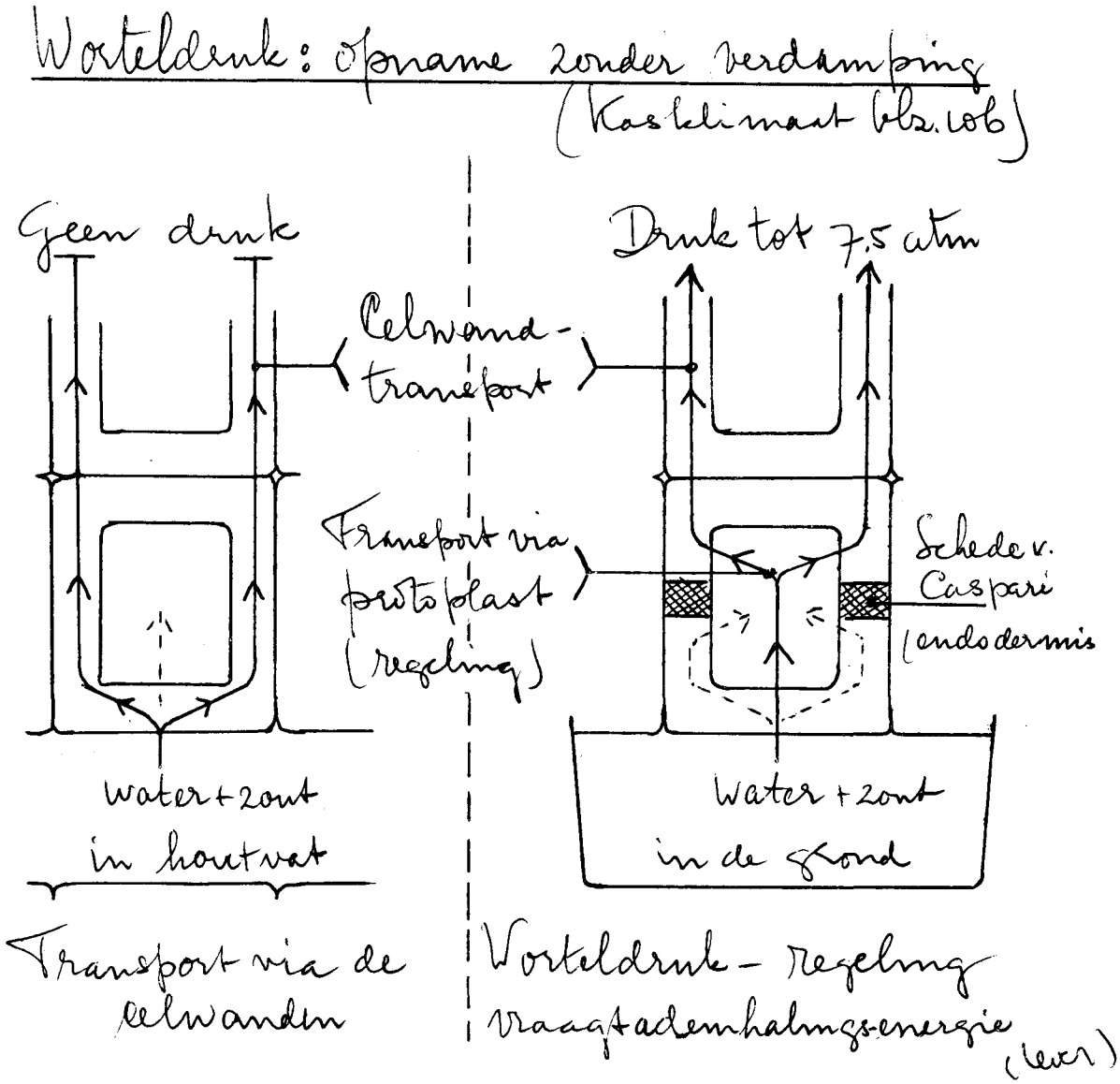
Celwanden (filtreerpapier) zijn geheel doorlatend

3.5 Worteldruk: Opname zonder verdamping

De plant kan aan beide uiteinden het watertransport regelen: in de wortels en in het blad (huidmondjes). In de wortel komt een gesloten cellaag voor, waarvan de wanden ondoorlatend zijn voor water (Schede van Caspari, endodermis). Het water moet hier de levende celinhoud passeren; daardoor is regeling mogelijk.

De protoplast van de endodermis-cellen bepaalt, of water èn zout worden opgenomen door osmose. De cel geeft ook water met zouten af naar boven toe. Daardoor kan de wateropname dus voortgaan. De plant kan zodoende boven de wortels een druk ontwikkelen van 2,5 tot 7,5 atm of meer. Dit wordt zichtbaar, wanneer water wordt afgescheiden door guttatie. Wanneer men planten afsnijdt ziet men soms een grote hoeveelheid bloedingssap uittreden.

Deze druk ontstaat alleen als de plant niet verdampt ('s-nachts), want deze worteldrukopname is van zeer geringe omvang. De opname stopt als de plant op spanning is. De opgebouwde druk zorgt er voor, dat de jonge cellen worden opgepompt tot hun maximale volume. In de praktijk leidt dit soms tot beschadiging van bros weefsel (scheuren en barsten). Aktieve wortels (vochtige, warme grond) versterken de worteldruk.



3.6 Wateropname door verdamping

Slechts een zeer klein deel van de totale wateropname door de plant komt tot stand middels de worteldruk. Verreweg het grootste deel van de wateropname wordt veroorzaakt door verdamping. De lucht bevat minder water dan de cellen van de plant. Als de huidmondjes open zijn zullen de watermolekulen zich naar de lucht verplaatsen. Als het blad water verliest wordt het droger, daardoor wordt de koncentratie hoger en wordt water aangevoerd uit de buurcellen. Bij voortgaande verdamping neemt niet alleen de koncentratie toe, maar ontstaat in de bladcellen soms zelfs onderdruk.

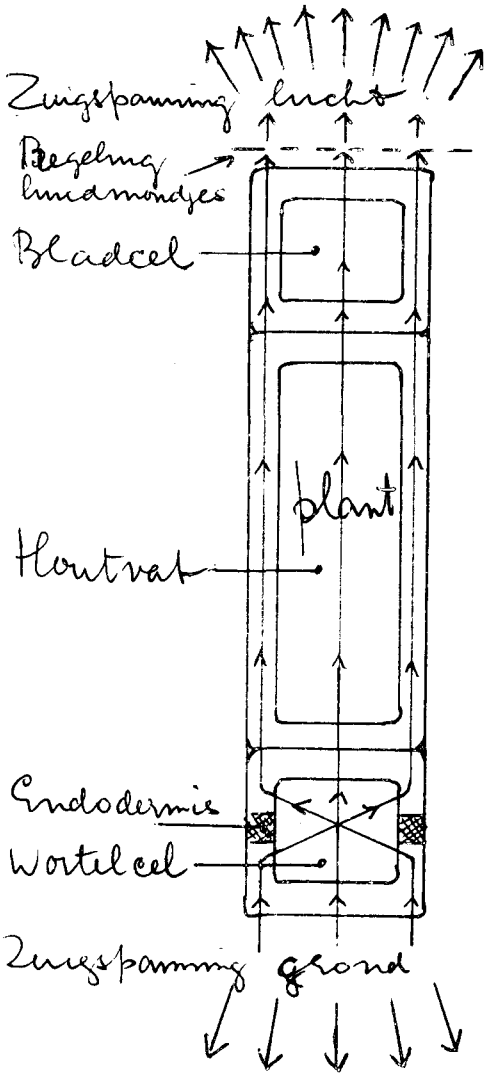
Het totaal van osmotische zuiging (koncentratieverhoging) en onderdruk in de cellen noemt men zuigspanning.

Deze zuiging zet zich voort van cel tot cel naar de houtvaten van de bladnerven en zo tot in de wortel. Daar volgt met enige vertraging wateropname. De grond oefent ook zuigspanning uit. Deze moet uiteraard lager zijn dan die van de plant, anders droogt de plant uit.

De plant bevindt zich tussen de zuiging van lucht en grond. Als de plant relatief te veel water verliest aan de lucht of te weinig opneemt uit de grond, valt de spanning binnen de plant weg en gaat de plant slap. Reeds veel eerder gaan de huidmondjes dicht en wordt de assimilatie geremd.

Wateropname door verdamping

(Kasklimaat blz. 103)



Zuigspanning in de lucht

↓

Verdamping uit het blad

↓

Zuigspanning in de plant

↓

Opname door de wortels

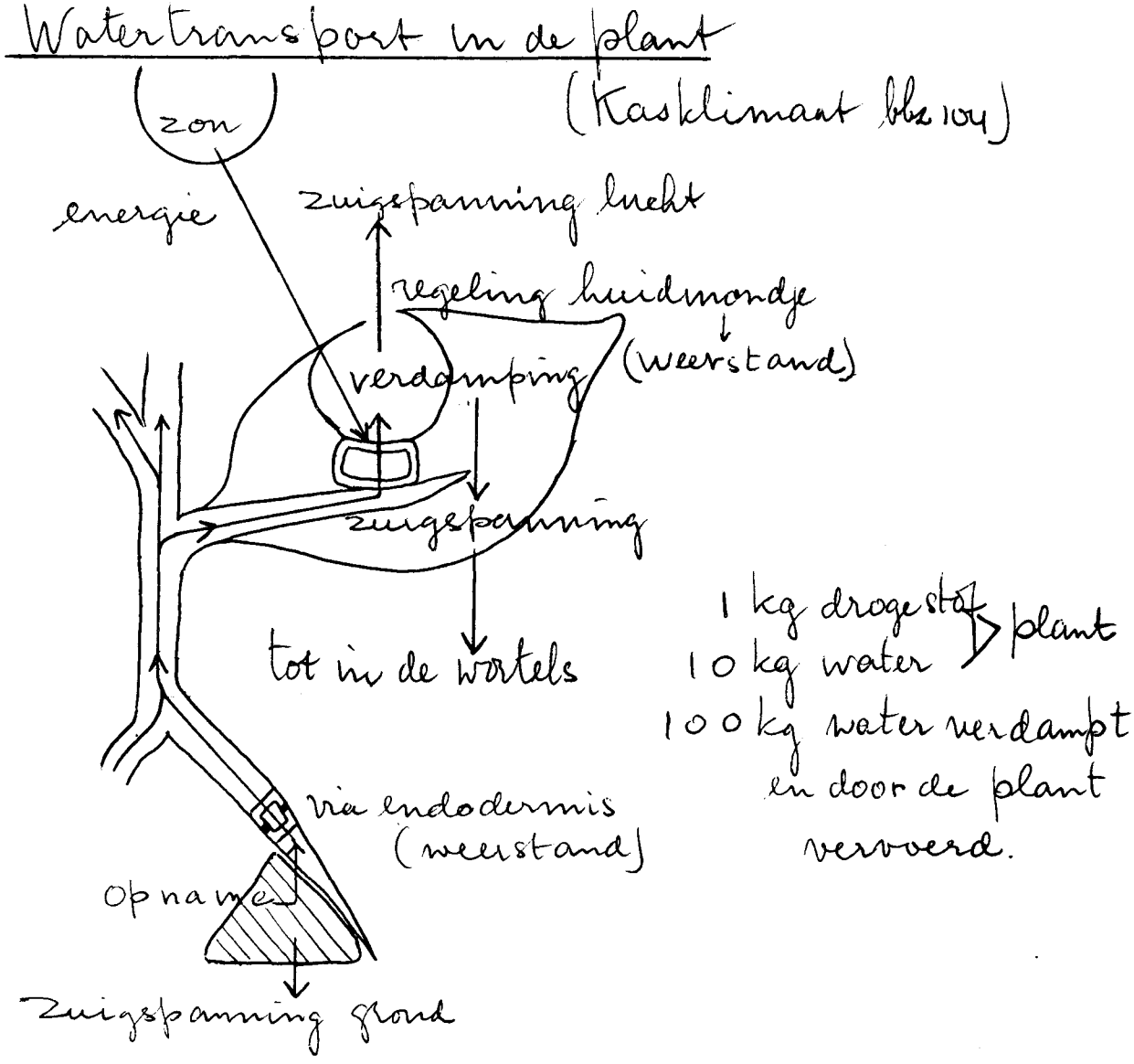
3.7 Watertransport in de plant

Als de plant water verliest door verdamping, dan kan de plant dit verlies beperken door sluiting van de huidmondjes. Dit gebeurt wanneer de celspanning afneemt, doordat de verdamping groter is dan de opname.

De direkte verdamping via de opperhuid is gering. Het waterverlies vindt dus plaats via de ademholte achter de huidmondjes. Het water verdampt daar uit de celwanden. Het behoeft dus niet de levende celinhoud te passeren. Naar deze celwanden wordt het water via de celwanden van de buurcellen aangevoerd uit de houtvaten van de nerven.

Het verdere watertransport van wortel naar blad verloopt via de houtvaten. Dit zijn open buizen met een zeer geringe weerstand. In de wortel wordt het water alleen in de haarwortels opgenomen door de wortelharen. De rest van het wortelstelsel is dus alleen transportleiding.

De weerstanden tegen watertransport in de plant bevinden zich voor 99% in het blad (huidmondjes) en in de wortels (endodermis). Bij een goed funktionerende plant is de weerstand bij de huidmondjes ongeveer 10 maal zo groot als in de wortel. Het watertransport is zeer omvangrijk. Globaal bevat een plant per kg droge stof al 10 kg water. Maar hiervoor moet meestal 100 l water of meer verdampt worden.



3.8 Wortelaktiviteit en wateropname

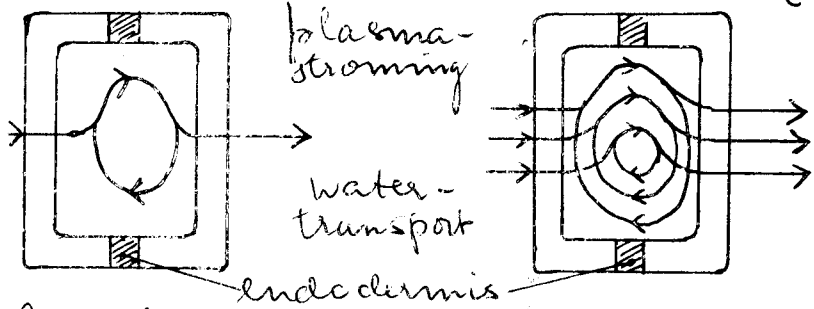
De wortelkapaciteit is afhankelijk van de omvang van het wortelstelsel en de aktiviteit ervan. Reeds werd opgemerkt, dat alleen via de wortelharen water kan worden opgenomen. Slechts een zeer klein deel van het totale wortelstelsel is dus in staat water uit de grond op te nemen. Bovendien is doorlopend wortelgroei nodig, omdat de wortelharen meestal een levensduur hebben van hoogstens enkele weken. In watercultuur e.d. kan dit langer zijn. Dan heeft de plant dus minder wortels nodig.

Het is natuurlijk ook van zeer groot belang hoe aktief de aanwezige wortels zijn. De wateropname wordt voor een groot deel bepaald door de stroming van het plasma in de endodermis. Hoe sneller dat stroomt, hoe meer water vervoerd kan worden. Een snelle stroming vraagt een hoge temperatuur, omdat er veel ademhaling voor nodig is.

De opnameaktiviteit wordt dus allereerst beperkt door een lage temperatuur. Verder zijn een groot aantal beperkingen te noemen: slechte zuurstofvoorziening, vochttekort, te zout, te zuur, wortelziekten, snelheid van het vochttransport in de grond. In wat zware grond wordt de opname dikwijls geremd, doordat het water zich in de grond langzamer naar de wortel verplaatst dan de opnamekapaciteit vraagt. Er ontstaan dan midden op de dag droge kokertjes rond de wortels.

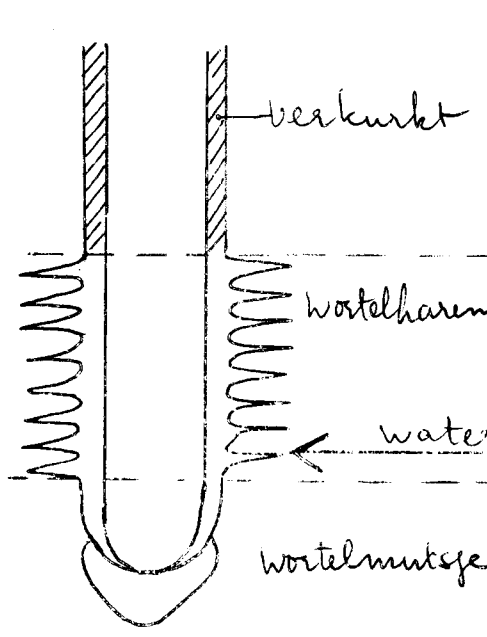
Wortelaktiviteit en wateropname

(Kasklimaat blz 102)



snelle circulatie
meer water-transport
vraagt ademhalings-energie

Ademhalingsremming = aktiviteitsbeperking



Alleen wortelharen nemen water op (levensduur 3 wkn)
Doorlopende wortelgroei nodig

water transport in de grond naar de wortel

3.9 Zoutopname en -transport

Door middel van het water neemt de plant zouten op. Als de verdamping een snelle opname veroorzaakt, worden de zouten voor een groot deel met het water mee naar binnen gesleurd. De plant gaat echter altijd min of meer selektief te werk, via de membranen van de protoplast in de endodermiscellen. Daar moet het water immers de levende celinhoud passeren.

Vooral in de endodermis, waar water met de erin opgeloste zouten de celmembranen passeert, kan de plant selektie toepassen. Dit kost echter energie. Daardoor kan de plant zelfs opgeloste stoffen vervoeren naar plaatsen, waar de koncentratie ervan veel lager is. Op die manier wordt ook de suiker uit het blad, waar de koncentratie het hoogst is, weggevoerd. De energie, die ervoor nodig is, wordt geleverd door de ademhaling.
De selektiviteit blijkt uit onderstaande cijfers.

%	Na	K	Mg	Ca
aangeboden	25	25	25	25
in de plant (tomaat)	4	44	25	27
in een zouttolerante plant	20	39	31	10

De zouttolerante plant neemt veel meer Na op. K wordt door beide planten sterker opgenomen dan de andere elementen. Als de plant genoodzaakt was alles op te nemen, zoals het in net bodemvocht voorkomt, dan zouden we bij elke bemesting grote fouten maken en de groei verstoren. Doordat de plant bij de opname veel zelf regelt, komt het er met de bemesting niet zó erg op aan.

Binnen de plant treedt echter ook duidelijk regeling door de plant op. Alle plantedelen bevatten lang niet dezelfde hoeveelheden van de verschillende elementen. De wortel bevat in het algemeen minder zouten dan de rest van de plant.

Samenstelling in %	K	Ca	Mg	P
Wortel	3	3	4	5
Blad	18	70	53	17
Zaad	11	4	18	42

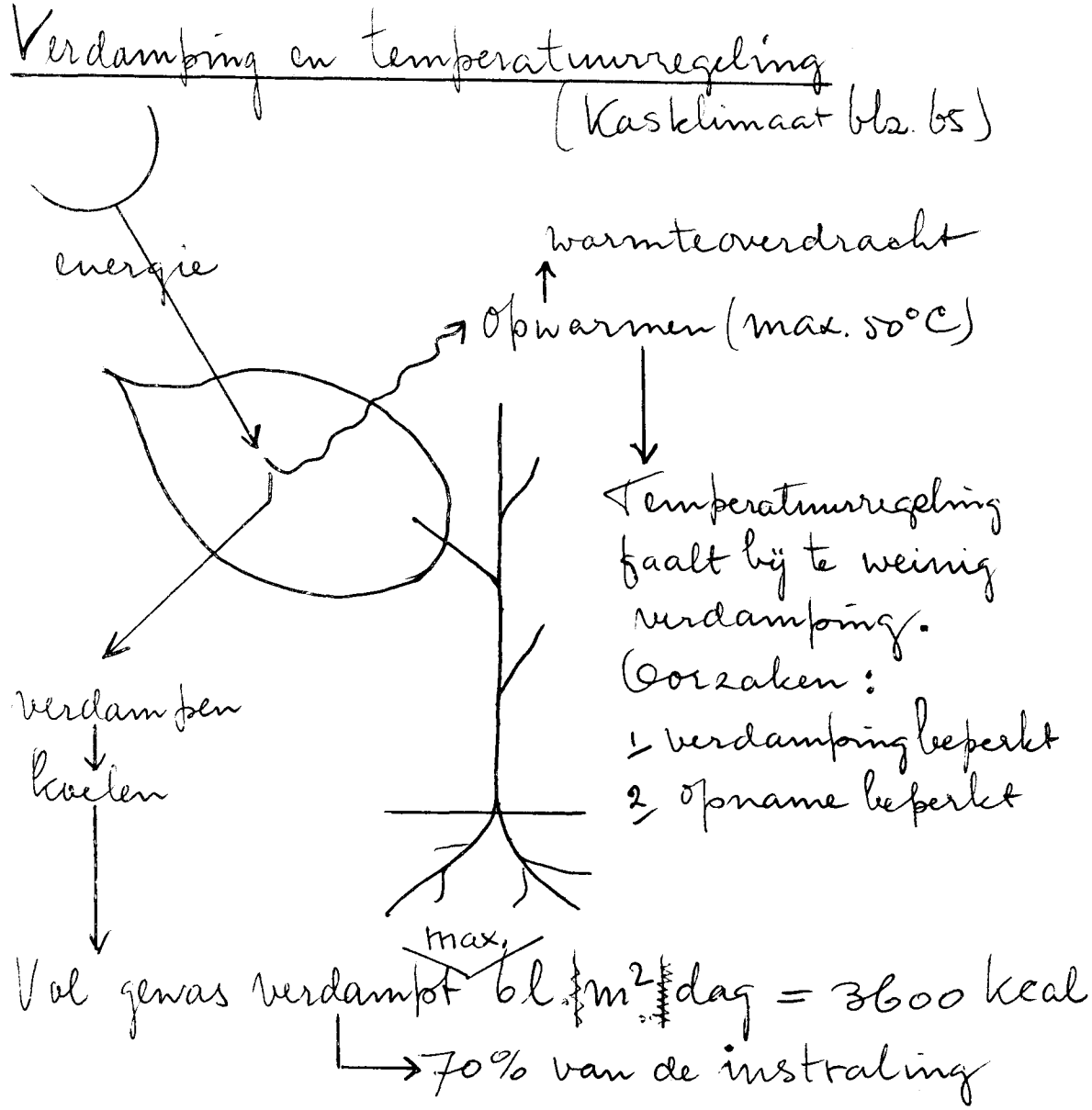
De plant beschikt over de mogelijkheid tot regeling in het zeefvatentransport, omdat de zeefvaten uit levende cellen bestaan. De slecht oplosbare kalk komt voor een groot deel met de opwaartse waterstroom in het blad terecht en wordt daar niet afgevoerd. Hetzelfde geldt in mindere mate ook voor Mg. K wordt kennelijk wel afgevoerd. P zit voor een belangrijk deel in het zaad.

3.10 Verdamping en temperatuurregeling

Als de zon schijnt neemt het blad energie op. Als er verder niets gebeurde zou het blad steeds warmer worden, totdat het zou afsterven bij ca 50°C. Als het blad warmer wordt ontstaat er echter een temperatuur-verschil met de omringende lucht. Daardoor moet het blad warmte overdragen aan de lucht. Er ontstaat dan een natuurkundig evenwicht, waarbij de opgevangen straling wordt gekompenseerd door de afgegeven warmte.

Bij een sterke instraling zou dit evenwicht zich echter bij een veel te hoge temperatuur instellen. Fotosynthese, ademhaling en groei zouden dan niet goed kunnen verlopen. Er moet dus nog meer warmte worden afgevoerd. In het blad is veel water aanwezig in de celwanden, en door temperatuurverhoging gaat dit water in de ademholte verdampen.

Verdamping kost zeer veel energie ($2{,}5 \cdot 10^6$ J). De energie wordt nu verbruikt voor verdamping en de temperatuurverhoging van het blad wordt daardoor tegengewerkt. De plant kan slechts regelend reageren op een relatief te grote verdamping door sluiting van de huidmondjes. Bij te geringe vochtopname of te geringe verdamping (hoge rv) kan het blad dan nog wel te warm worden. Onder zeer gunstige verdampings-omstandigheden kan het blad zelfs wel wat kouder worden dan de omringende lucht.

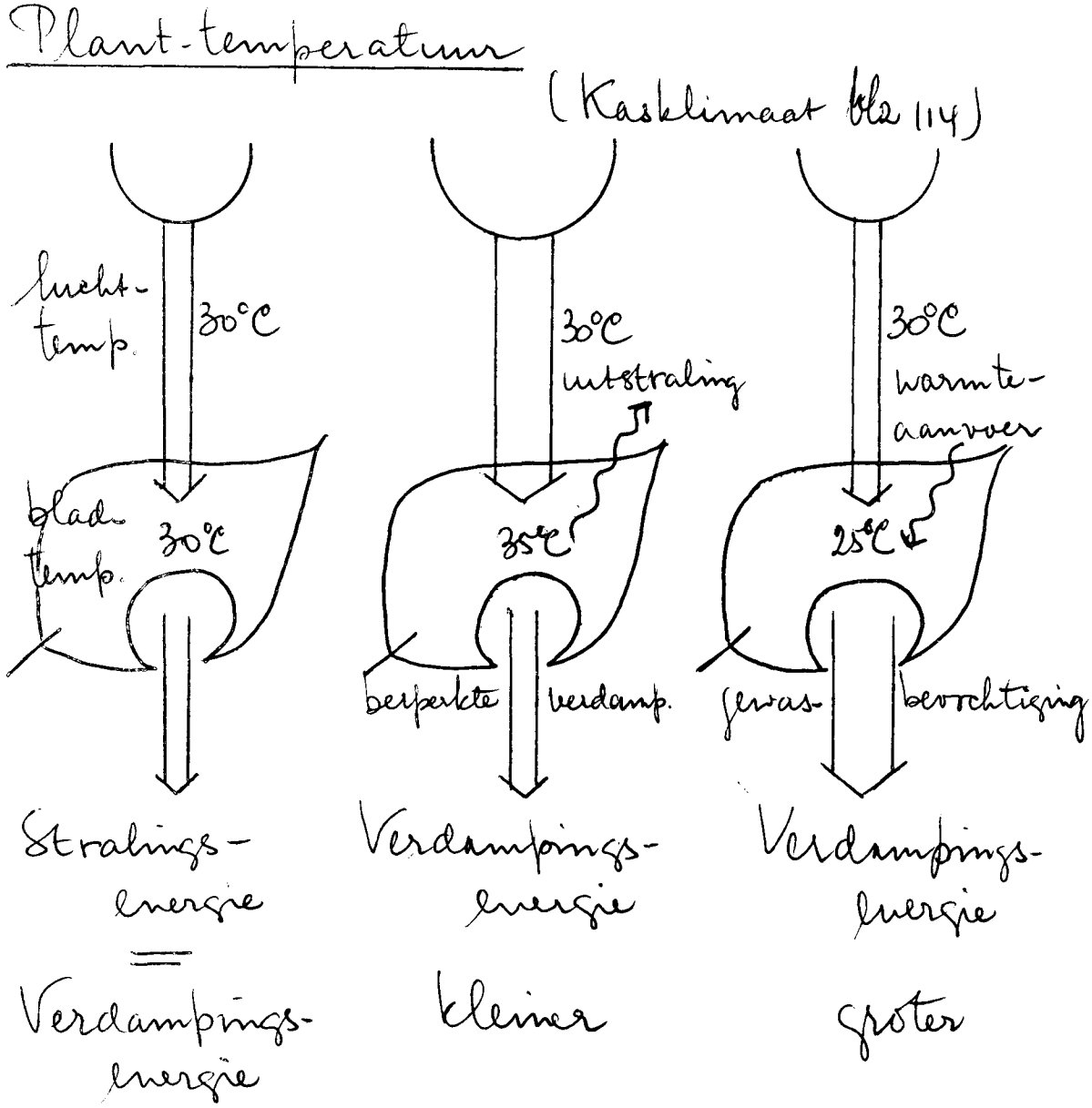


3.11 Planttemperatuur

Door de verdampingskoeling wordt de bladtemperatuurstijging beperkt. Het niveau, waarop de bladtemperatuur uiteindelijk in evenwicht komt met de omringende lucht, wordt bepaald door de luchttemperatuur, de instraling en de wateraanvoer.

De uiterste temperatuur, die een blad kan verdragen, ligt op ca 50 °C. De bladtemperatuur zal pas nadelig voor de groei worden bij temperaturen ruim boven 30 °C. Als de lucht 30 °C is en er is niet al te veel instraling, dan zal er niet zo gauw een grote afwijking tussen lucht- en bladtemperatuur optreden. Neemt de straling sterk toe, dan zal dit door verdamping moeten worden opgevangen. Daar dit lang niet altijd het geval is, kan gemakkelijk een sterke temperatuurstijging optreden . Een hulpmiddel kan zijn om in een dergelijk geval het blad nat te maken, zodat extra veel water verdampt kan worden.

Men moet er zich steeds terdege van bewust zijn, dat een luchttemperatuur gemeten met een thermometer, vrij sterk kan afwijken van de bladtemperatuur. Een hogere bladtemperatuur zal daarbij vaker kunnen voorkomen dan een lagere.



3.12 Verdamping en groei

Zowel verdamping als fotosynthese worden gestimuleerd door veel lichtenergie. Beide processen vinden in hoofdzaak plaats in het blad. Er is echter ook een groot verschil.

Fotosynthese kan alleen plaatsvinden onder invloed van licht-energie en de groeimogelijkheden zijn bepaald door de gevormde suikers.

Bij verdamping kunnen ook andere energievormen - warmte door stoken - stimulerend werken en de groei wordt niet bepaald door de verdampte hoeveelheid water.

Als de rv erg laag wordt zal de verdamping toenemen, zolang de plant over voldoende water kan beschikken. Als de lichthoeveelheid gelijk blijft, zal de fotosynthese-snelheid onder de wisselende verdampingssnelheden niet veranderen. Groei is daarom in principe onafhankelijk van verdamping.

Er zijn twee grenzen aan deze onafhankelijkheid. Als er helemaal geen verdamping is (rv 100%, weinig energie), dan stopt ook het vervoer binnen de plant en blijft de groei achter bij de mogelijkheden, die de fotosynthese biedt. Aan de andere kant zal de opname van water meestal beperkend gaan werken, als er door zeer veel energie zeer veel verdamping mogelijk is. De plant wordt dan te warm, de huidmondjes sluiten zich. Daardoor kan minder CO_2 binnen de plant komen en wordt de groei beperkt.

Verdamping en groei (Kasklimaat blz 39)

I a Fotosynthese → Grondstof
b Ademhaling → Energie

Droge stof — Groei

II a Verdamping → Waterverlies
b Wateropname → Aanvulling

Water — Celspanning

I + Max. fotosynthese → Max. grondstof
II Opname > Verdamping → Max. celspanning

Maximale groei

Groei kan onafhankelijk zijn van verdamping

4 De invloed van de milieufaktoren op de groei

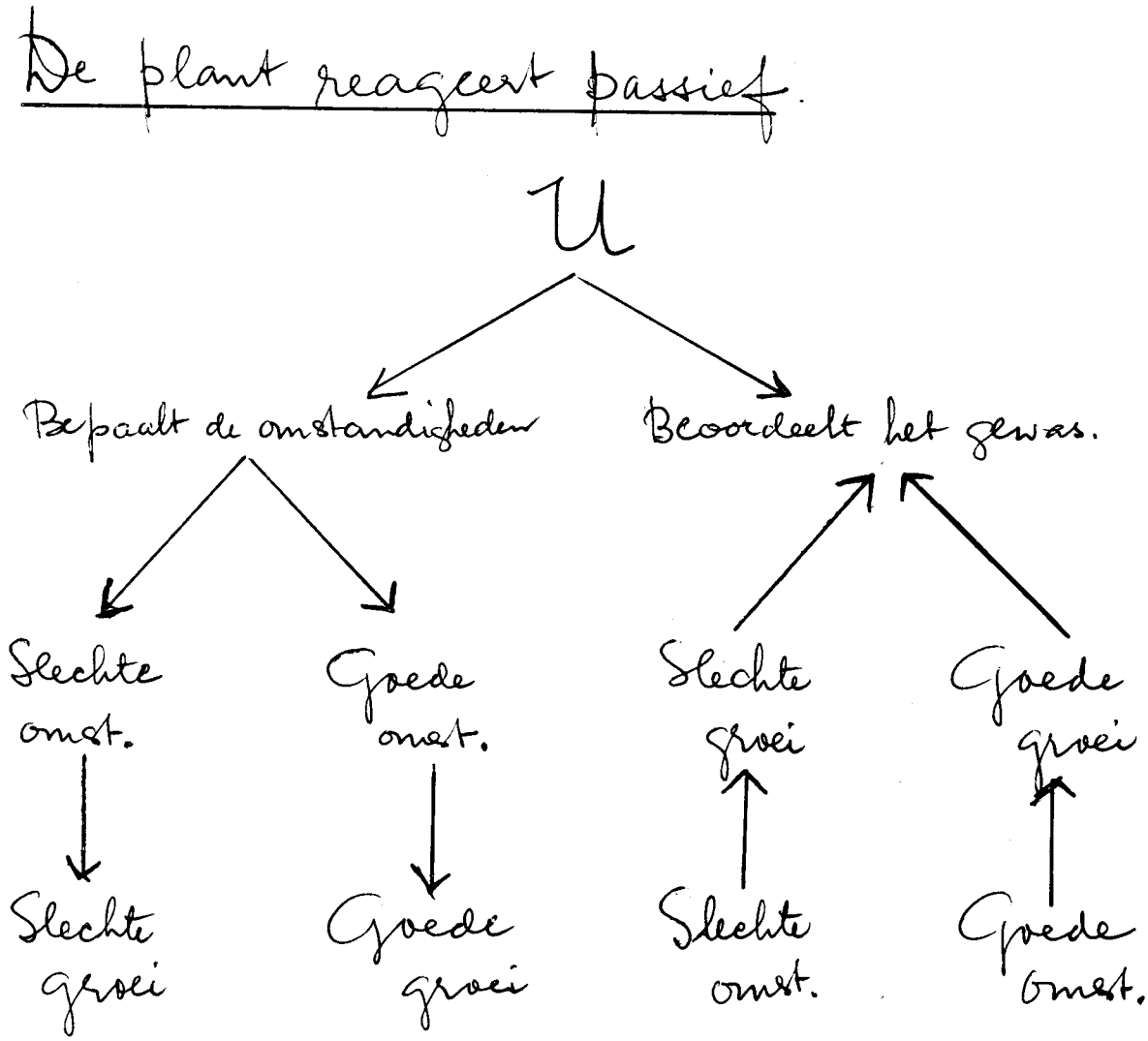
Tot nu toe is de stof behandeld vanuit de plant. In het eerste deel werd de plant beschreven tegen de achtergrond van de vastlegging van energie in droge stof en de wateropname die daarmee gepaard gaat.

In het tweede deel zijn de verschillende levensprocessen na elkaar aan de orde geweest.

In het laatste deel zullen de milieufaktoren worden behandeld in hun invloed op de verschillende groeiprocessen.

In dit deel komt dan ook aan de orde, hoe de plant reageert op de omstandigheden. De plant reageert passief. Een plant kan niet denken en geen beslissingen nemen. Ook heeft de plant geen geheugen en kan zich niet verplaatsen. De enige mogelijkheid is aanpassing aan de zich wijzigende milieufaktoren: licht, temperatuur en water. De aanpassingen vinden op korte termijn plaats. Een plant is bv. slechts zo lang traag, als de temperatuur laag is. Zodra de temperatuur verhoogd wordt, neemt de aktiviteit toe.

De omstandigheden bepalen zo de groei. U maakt de omstandigheden, dus beïnvloedt U de groei. Groeit het gewas goed, dan waren de omstandigheden goed. Groeit de plant slecht, dan waren de omstandigheden slecht. Als U denkt dat U de plant goede omstandigheden gegeven hebt, maar de groei is toch slecht, dan vergiste U zich en niet de plant!



4.1 Invloed van het licht

Ook al kan men, behalve bij kunstlicht, niet veel invloed op de lichthoeveelheid uitoefenen, toch moet men allereerst zorgen voor zo weinig mogelijk verliezen van het beschikbare licht. Bovendien is het van belang op de hoogte te zijn van de invloed van het licht op groei, omdat andere groeifaktoren moeten worden aangepast aan het licht.

Bovendien heeft het licht meer funkties dan alleen de energetische werking ten opzichte van de fotosynthese en de verdamping.

Funkties van het licht zijn:

1. Formatieve werking. Vormbepaling en lengtegroeireakties bij zeer lage intensiteit.
2. Fotoperiodische werking. Daglengte-invloed. De lichtduur is van belang, ook bij lage intensiteit.
3. Energie-werking. De hoeveelheid licht is bepalend.

4.1.1 Formatieve werking van het licht

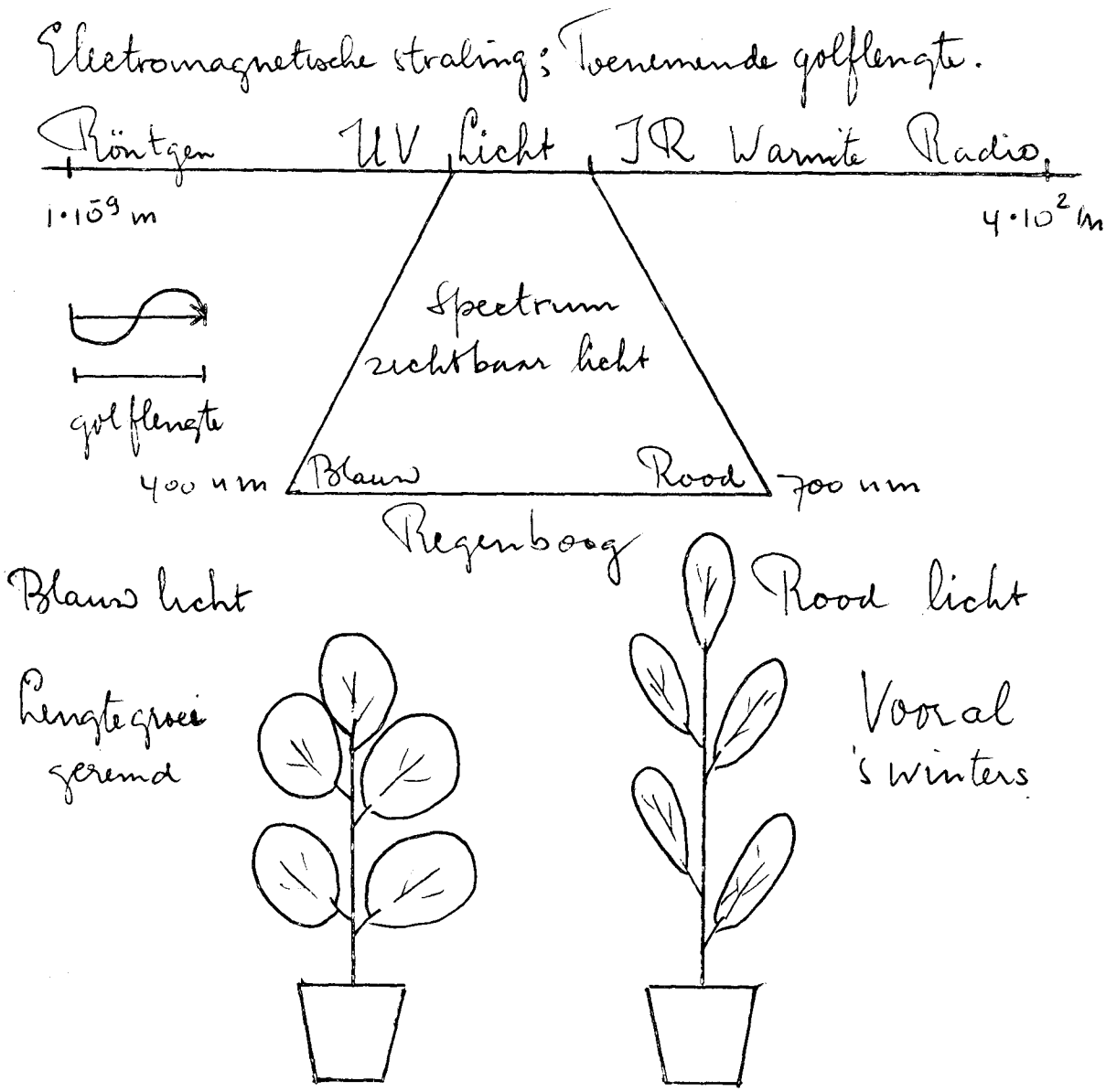
Wanneer er geen licht is blijft een kiemplant zich strekken tot het zaad uitgeput is. Dit gebeurt onder invloed van het hormoon auxine en de wateropname. Door licht van een bepaalde kleur wordt reeds bij zeer lage intensiteiten dit hormoon afgebroken. Daardoor ontstaat groeiremming. Dit is ook de reden dat planten, die dicht op elkaar staan, moeten worden uitgezet, wanneer men rekking wil voorkomen.

De lichtkleur heeft invloed op de lengtegroei. Als er alleen blauw licht is, blijven de planten kort. Is er alleen rood licht, dan treedt veel lengtegroei op.

Onder natuurlijke omstandigheden is er 's-winters en 's-zomers elke morgen en avond veel rood licht. Planten rekken 's-winters meer dan 's-zomers, doordat gedurende de zomerdag voldoende blauw licht wordt opgevangen om de invloed van het rood te kompenseren.
's-Winters is dit niet het geval.

Bij de toepassing van kunstlicht moet bij de keuze van de lampen dus ook op de kleur worden gelet.

Formatieve werking van het licht
(Kaskelimaat blz 48)



4.1.2 Fotoperiodische werking van het licht (Kasklimaat blz. 39)

In de cyclus van zaad tot zaad is de fotoperiodische werking van het licht vooral van belang bij de bloemaanleg en de bloei. De daglengtewerking van het licht vindt reeds plaats bij zeer lage lichtsterkten: ca 100 lux is reeds voldoende, wanneer het de juiste kleur heeft.
Twee hoofdstadia zijn in het plantenleven te onderkennen:
a. Jeugdfase; niet beïnvloedbaar, geen bloemaanleg mogelijk
b. Bloei-induktie; kan al of niet daglengte-gevoelig zijn.

De planten zijn dan ook in twee groepen te verdelen, die wel of die niet in een bepaald stadium gevoelig zijn voor de fotoperiode (lichtduur, daglengte).
Ongevoelige planten noemt men daglengte neutraal (DN).
De gevoelige planten kunnen weer in twee groepen worden verdeeld:

Planten die bloeien bij een lange dag (LD)
Planten die bij korte dag bloeien (KD)

Binnen een soort kunnen bepaalde rassen al of niet gevoelig zijn, bijvoorbeeld chrysant. Soms is de daglengte-gevoeligheid ook gekombineerd met de invloed van andere milieufaktoren. Zo moeten sommige planten een koude- of droogteperiode doormaken, voordat ze bij daglengte-verandering tot bloei overgaan.
Fotoperiodiciteit wordt verder niet behandeld.

De invloed ervan is echter veel algemener dan alleen maar bloemaanleg. Als een plant overgaat tot bloemaanleg (chrysant) stopt de vegetatieve groei. Als we er voor zorgen, dat dit met alle planten op hetzelfde moment gebeurt, dan heeft dit belangrijke gevolgen voor de teelt.

Er wordt geen nieuw blad meer gevormd. De plant heeft alleen volgroeid blad. De gevoeligheid voor klimaatwisselingen neemt af. Het staken van de bladgroei heeft dikwijls tot gevolg dat de wortelgroei sterk afneemt. Dit heeft weer invloed op de wateropname. De gehele instelling van het kasklimaat kan veranderen, doordat het bloeistadium andere eisen stelt.

De stofproduktie gaat zich geheel richten op de vorming van bloem en vrucht. Van vele planten sterft daarna het bovengrondse deel af.

4.1.3 Licht is energie

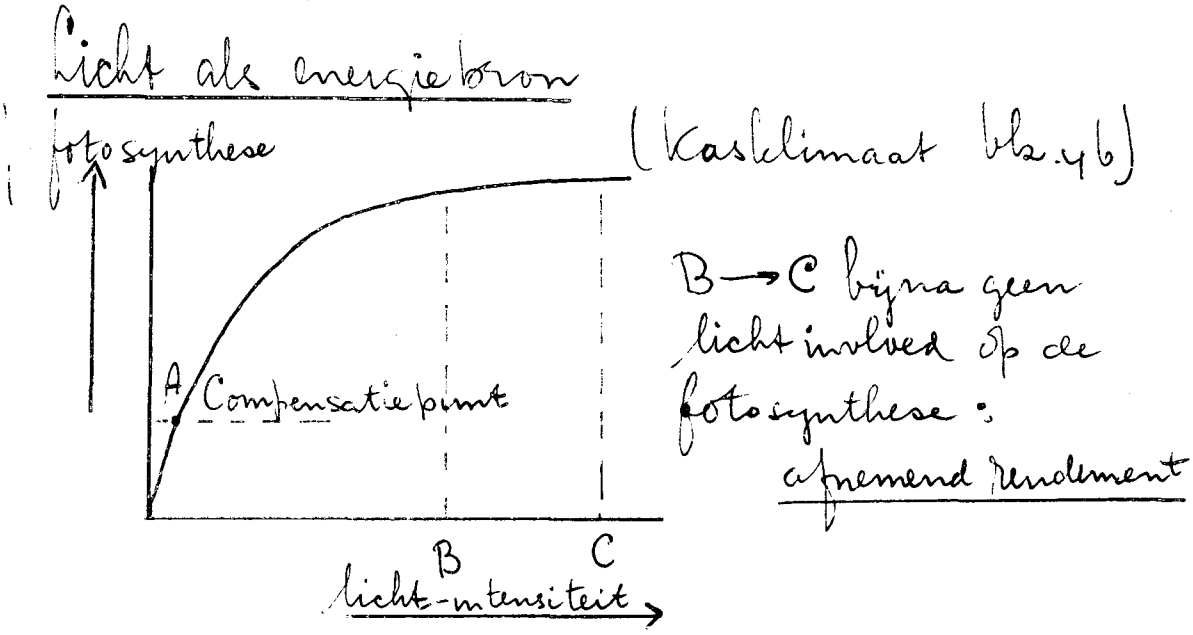
Bij de vormbepalende en daglengte-invloed van het licht speelt de hoeveelheid licht een ondergeschikte rol. Slechts de kleur is bepalend voor de invloed; de hoeveelheid doet er bijna niet toe.

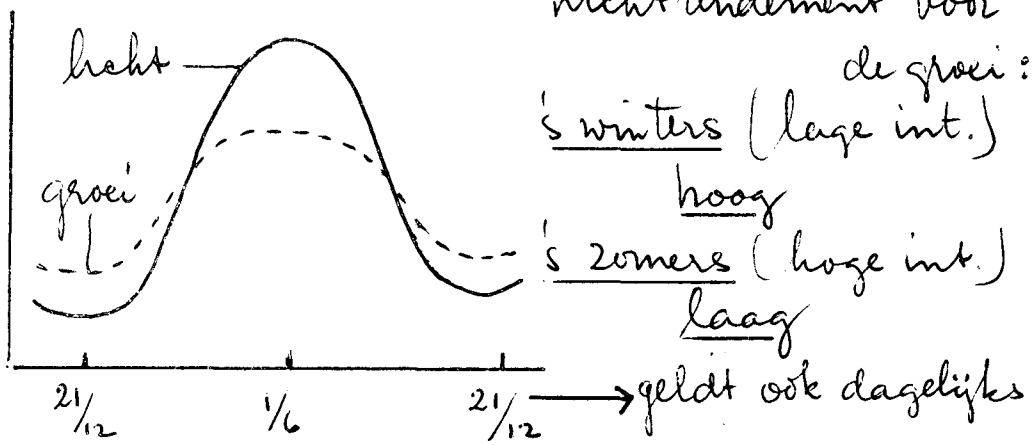
Als we licht als energiebron beschouwen, speelt de licht-hoeveelheid wel een zeer belangrijke rol. Er moet een hoeveelheid licht zijn, die overeenkomt met ca 1500 lux, voordat er van fotosynthese sprake is. De mate van fotosynthese is voor een groot deel evenredig met de lichtintensiteit. Bij de lagere intensiteiten is het rendement het hoogst.

Als er al veel licht is (B), zal de fotosynthese niet veel of in het geheel niet stijgen, als het licht toeneemt tot C. Voor ademhaling wordt een bepaalde hoeveelheid suiker verbruikt.

Men spreekt bij A van het kompensatiepunt, omdat bij die lichthoeveelheid de hoeveelheid suiker, die gevormd wordt door de fotosynthese, even groot is als de hoeveelheid suiker, die nodig is voor de ademhaling.

Dat bij hoge intensiteiten het rendement tegenvalt, blijkt ook uit de groei midden in de zomer. Onder zeer gunstige omstandigheden is die aanmerkelijk minder dan men op grond van de lichthoeveelheid zou mogen verwachten. Dit geldt 's-zomers voor elke dag waarop het licht boven een bepaalde waarde uitkomt (C), waarboven de groei niet meer toeneemt.



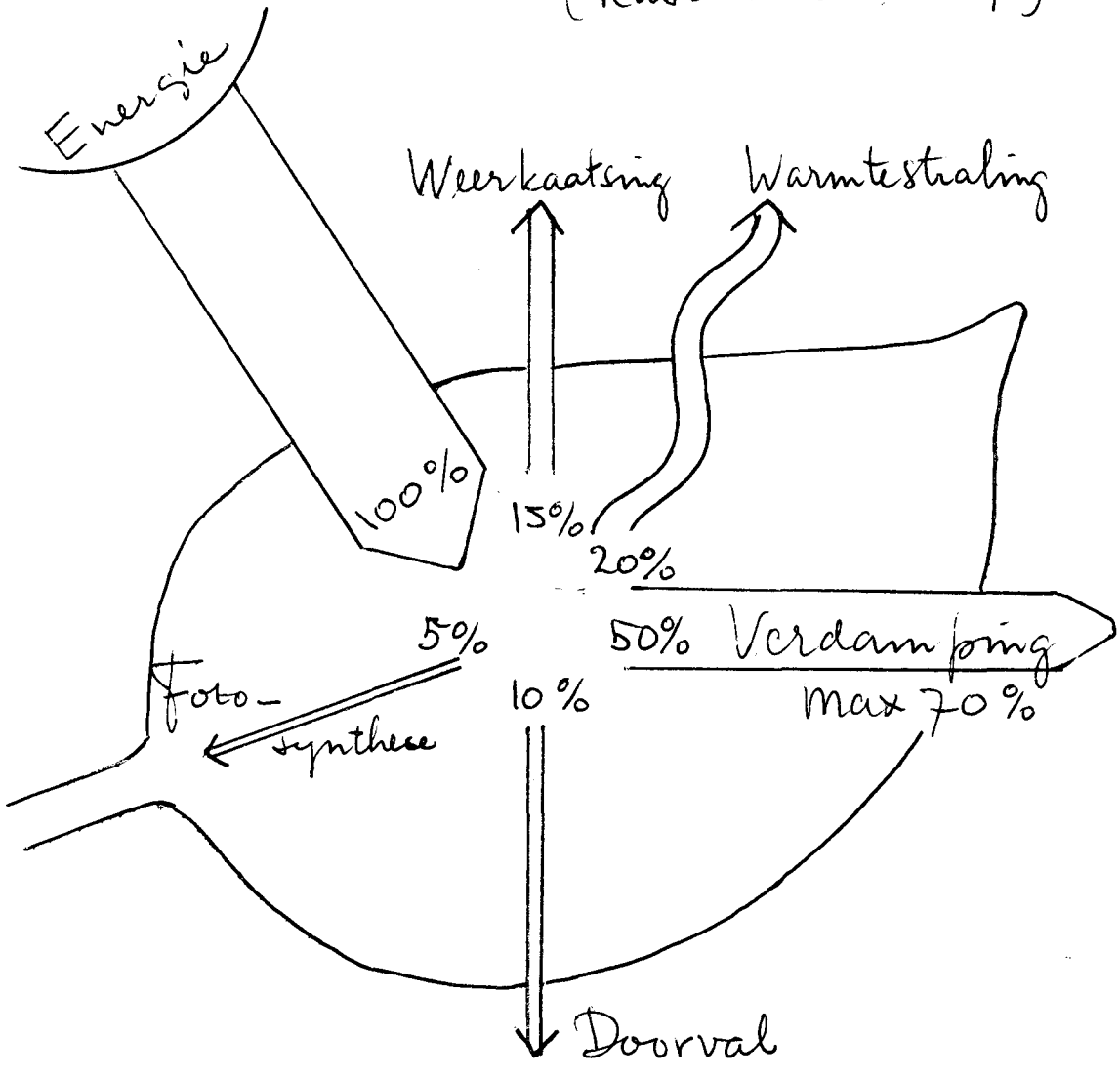


4.1.4 Lichtbenutting door één blad

Bijgaande tekening geeft een indruk van de verdeling van de ingestraalde energie op een enkel vrijstaand blad. Deze verhoudingen kunnen onderling wat wisselen. Globaal komt het neer op slechts 5% rendement voor de fotosynthese. Warmte-overdracht komt alleen voor, als het blad warmer is dan zijn omgeving. Hoe meer instraling middels verdamping wordt weggewerkt, hoe minder warmte-overdracht zal plaatsvinden. De straling, die weerkaatst wordt, is verloren voor het blad. Dit geldt ook voor dat deel, dat door het blad heen schijnt.

Bij gewassen met een goede bladverdeling zal weer een gedeelte van het teruggekaatste en doorvallende licht door andere bladeren worden opgevangen. Zodoende kan het rendement voor de fotosynthese onder de gunstigste omstandigheden misschien oplopen tot 10%.

Lichtbenutting door één blad.
(Kasklimaat blz 41)



Deze verhoudingen geven slechts de orde van grootte aan. Grote schommelingen zijn mogelijk.

4.1.5 Lichtbenutting in een gewas

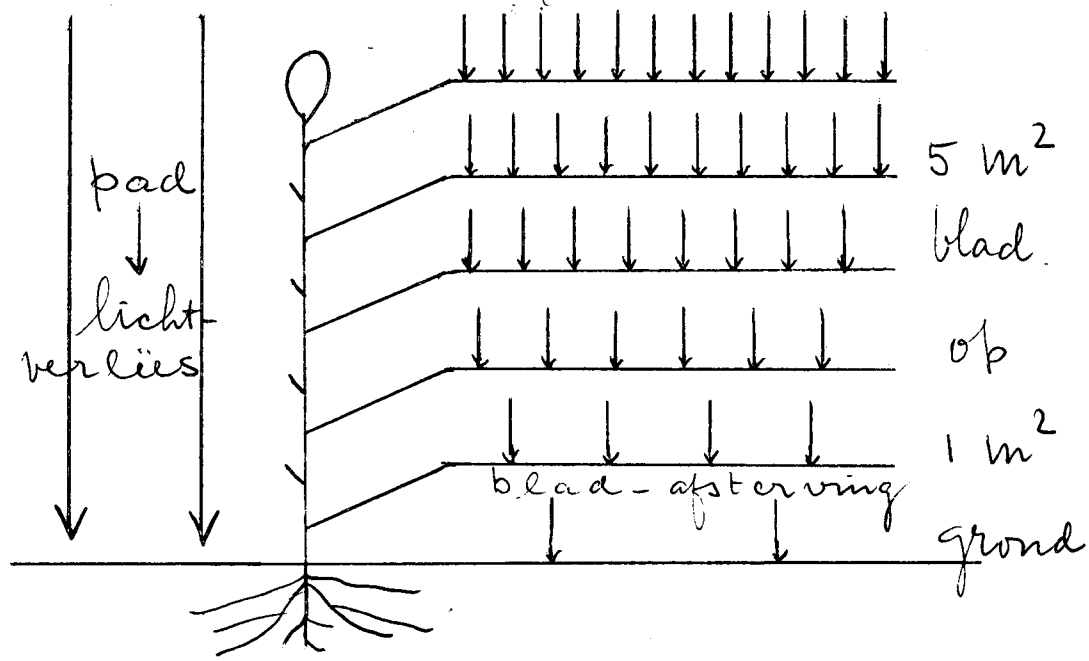
Om zoveel mogelijk energie vast te leggen in droge stof, moet zoveel mogelijk licht worden benut door de plant. Het licht moet door het blad worden opgevangen. Dit betekent allereerst dat zo mogelijk de gehele grondoppervlakte met blad bedekt moet zijn. Bovendien is één laag blad lang niet genoeg. Er moet ca 5 m^2 blad per m^2 grond zijn. Dan is het echter ook nog van belang dat het blad regelmatig door de gehele kasruimte is verdeeld. Een gewas lange rozen zal een hoger rendement hebben dan een gewas sla.

Eigenlijk zou onder het laagste blad geen licht meer moeten doordringen, omdat het dan op de grond valt en verloren is. Dit is echter onmogelijk, want dan zou het beneden het gewas zo donker zijn, dat het onderste blad zou afsterven, doordat de verademing groter wordt dan de fotosynthese.

Paden dienen zoveel mogelijk vermeden te worden, vooral in een laag gewas. In opgaande gewassen van 2 m hoogte gaat veel minder licht door paden verloren dan bij lage gewassen. In het algemeen heeft het zin om te trachten door snelle groei zo vlug mogelijk de gehele ruimte met blad te vullen. Licht, dat op de grond valt, is verloren voor de groei. Het kan hoogstens de grond wat opwarmen.

Lichtbenutting in een gewas

(Kasklimaat blz 43, 53, 57)



Rendement in gewas beter dan in één blad

5 m^2 per m^2

a Komkommer 2 m hoog
b Tomaat, Roos 1.5 m hoog
c Chrysant, anjer 1 m hoog
d Sla 15 cm hoog

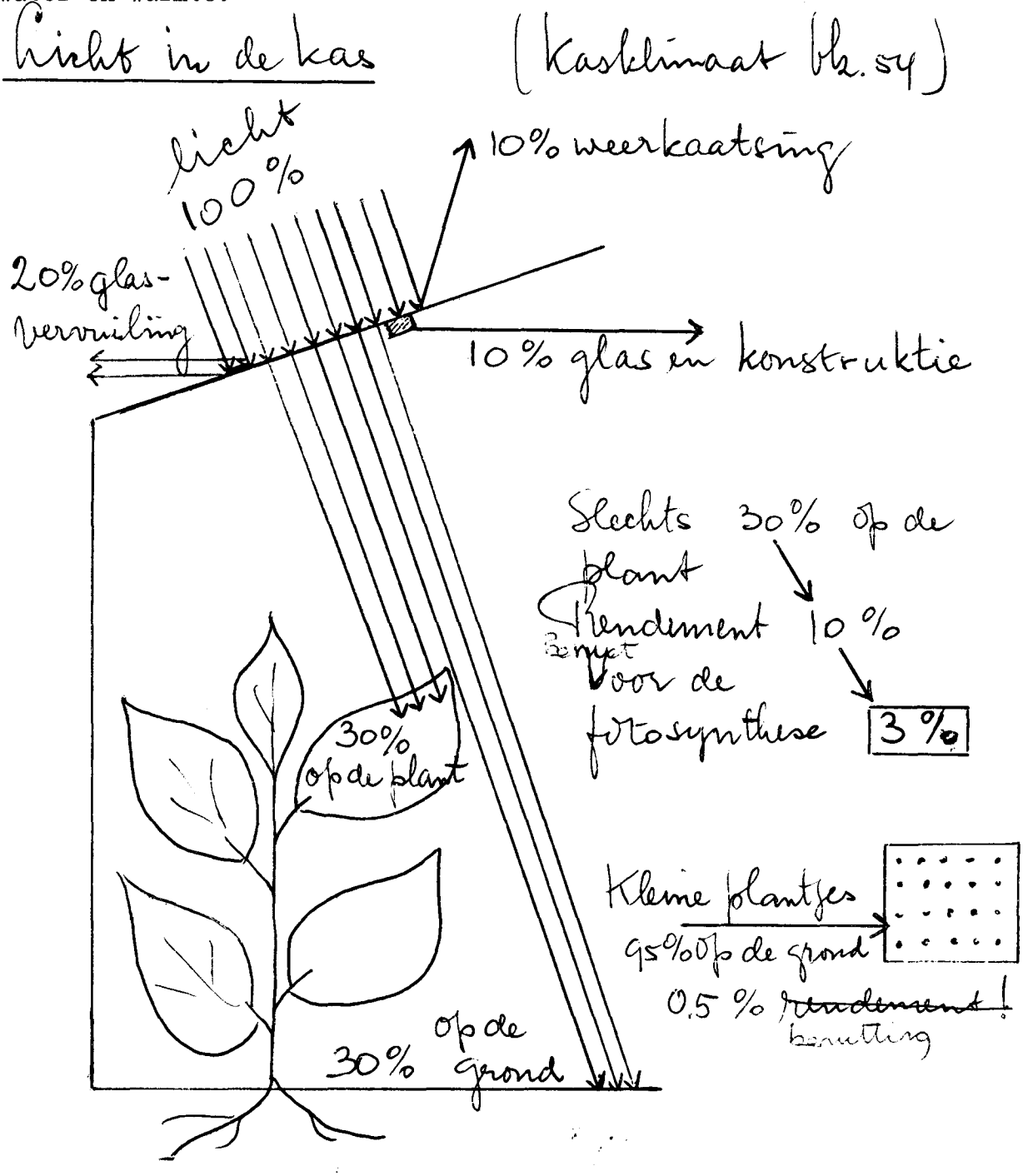
< slechte verdeling

4.1.6 Licht in de kas

Vooral als er weinig licht is ('s winters), is het noodzakelijk om zoveel mogelijk licht binnen de kas te krijgen. Gemiddeld is het lichtverlies in moderne kassen 30% of meer. De oorzaken hiervoor zijn de materialen van de kas, die licht onderscheppen - glas, konstruktiedelen - en de verontreiniging op het glas.

Meestal komt er van het licht, dat binnen de kas komt minder dan de helft op het blad, doordat de bladverdeling ongunstig is. In gunstige gevallen zal de plant iets meer dan een derde van de totale lichthoeveelheid buiten opvangen. Met een rendement van 10% voor de fotosynthese is dat 3% op het totaal van de lichtenergie.

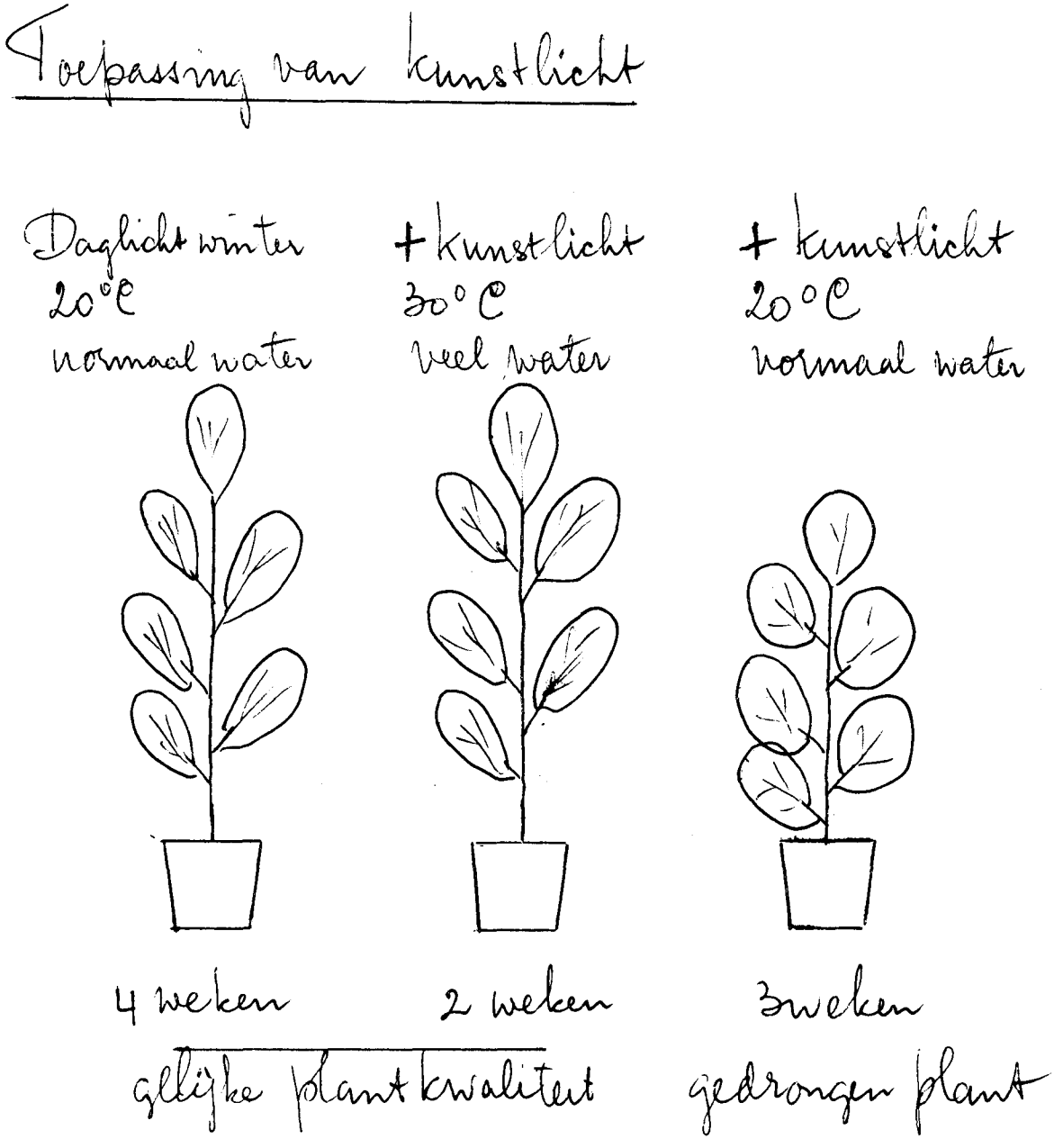
Bij jonge plantjes valt soms niet meer dan 5% op het blad. Bij een rendement van 10% - meestal zal het lager zijn! - is dat 0.5% op het totaal. Er is dan alles aan gelegen de bladhoeveelheid snel te laten toenemen door toepassing van CO_2, water en warmte.



4.1.7 Toepassing van kunstlicht

De toepassing van kunstlicht krijgt maar een summiere behandeling in dit verband. Het is in hoofdzaak een ekonomisch probleem of men het beschikbare daglicht al dan niet met kunstlicht zal aanvullen. Elke aanvulling heeft een betere groei tot gevolg, tenminste als de natuurlijke lichthoeveelheid laag is ('s winters).

Om het maximale rendement van kunstlicht te behalen moet men zorgen, dat ook de overige groeiomstandigheden worden aangepast. Belichting moet worden gekombineerd met de hoogst toegelaten temperatuur (snelheid) en de ruimst mogelijke vochtvoorziening (celstrekking). Dan zal de plant ongeveer dezelfde kwaliteit hebben als de onbelichte plant, maar de groei zal veel sneller verlopen. Wil men steviger planten kweken, dan moet men de temperatuur iets minder opvoeren. Het duurt dan wel langer.



4.2 Invloed van de temperatuur op de plantengroei

Na de invloed van het licht komt de temperatuur aan de beurt. Omdat er verband bestaat tussen de vereiste temperatuur en de lichthoeveelheid zal ook het verband tussen licht en temperatuur besproken worden. Later volgt de invloed van water op de groei en het verband tussen de hoofdfaktoren licht - temperatuur - water.

4.2.1 Temperatuur en fotosynthese

De fotosynthese is een ingewikkeld chemisch proces dat in een groot aantal stappen verloopt. De invloed van de temperatuur is slechts globaal weer te geven.

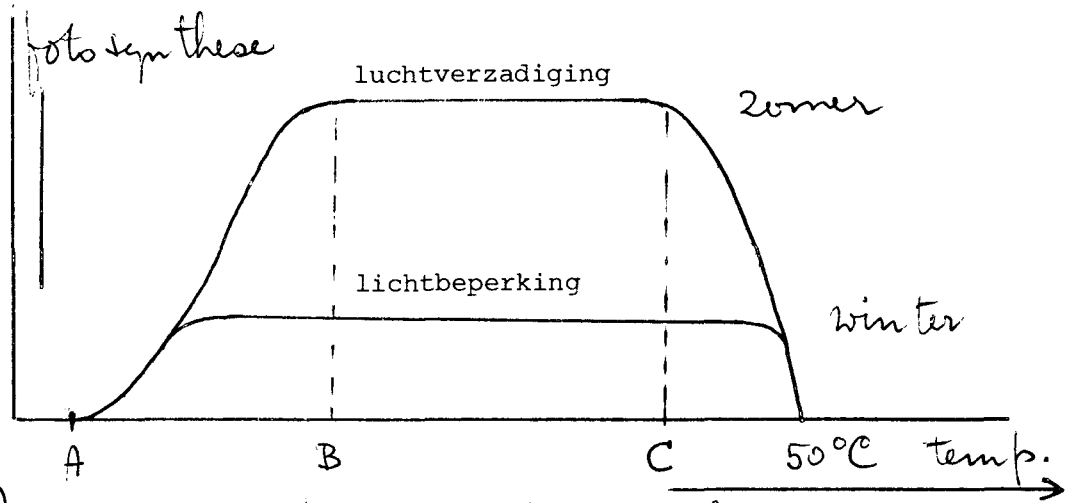
Vanaf een bepaalde minimum-temperatuur neemt de fotosynthese met temperatuurverhoging snel toe. Dit minimum is voor elk soort verschillend. Spinazie assimileert al bij 0 °C, maar meloenen beginnen pas bij 15 °C.

Bij een bepaalde temperatuur wordt een maximale fotosynthese bereikt (B). De fotosynthese-snelheid blijft dan konstant tot boven 35 °C. Daarna daalt de snelheid zeer drastisch (C). Bij 50 °C gaat een aktieve cel dood. De bovengrens van de temperatuur is voor bijna alle plantesoorten gelijk. Dit zegt op zichzelf niets over de optimale groei.

Deze redenering geldt echter alleen bij lichtverzadiging, dat wil zeggen: het licht is niet beperkend en andere faktoren zijn hieraan aangepast. Bij geringe lichthoeveelheden kan de fotosynthese niet verder stijgen dan het licht toelaat, ongeacht de temperatuur (winter).

Temperatuur en fotosynthese

(kasklimaat blz 17)



A = minimum temp. voor fotosynthese verschilt per plantesoort.

Van temp. B → C weinig invloed

C = maa. temp voor alle gewassen (ca 35°C)

Bij 50°C gaat de plant dood.

4.2.2 Temperatuur en ademhaling

Bij de ademhaling vertoont de invloed van de temperatuur een duidelijk beeld. Bij toenemende temperatuur neemt de ademhalingssnelheid toe. De daling zet ongeveer op hetzelfde punt in als bij de fotosynthese. Aktieve cellen zijn niet tegen dergelijke temperaturen opgewassen.

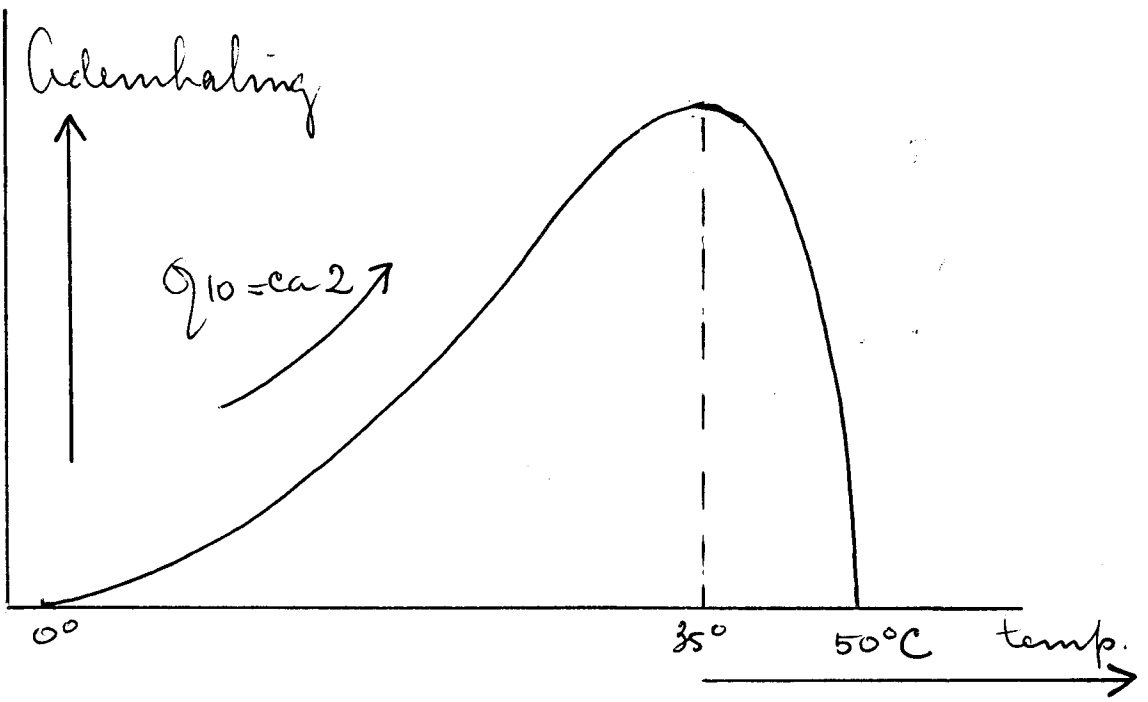
Als de temperatuur 10 °C stijgt, zal de ademhalingssnelheid tussen 10 en 30°C ongeveer verdubbelen (Q_{10}= 2). Zolang de plant leeft, is er ademhaling. Hoe hoger de temperatuur is, hoe sneller de ademhaling verloopt en hoe meer energie er dus vrijkomt voor het groeien. Het kost natuurlijk ook meer suikers.

Bij zeer lage temperatuur is de ademhalingssnelheid bijna nihil. Als men reserves in de plant wil sparen, moet de temperatuur verlaagd worden. Hiervan wordt gebruik gemaakt bij de koeling van planten, bloemen, fruit en groenten.

Bij de bewaring van fruit wordt de ademhalingssnelheid soms nog extra vertraagd door een zeer hoog CO_2-gehalte in de lucht aan te brengen, of de luchtdruk sterk te verlagen.

Temperatuur en ademhaling

(Kasklimaat blz. 20)



Maximale groei vraagt veel ademhaling
Ademhalingsremming spaart suikers
Toepassing: koeling

4.2.3 Verband temperatuur en ademhaling/fotosynthese

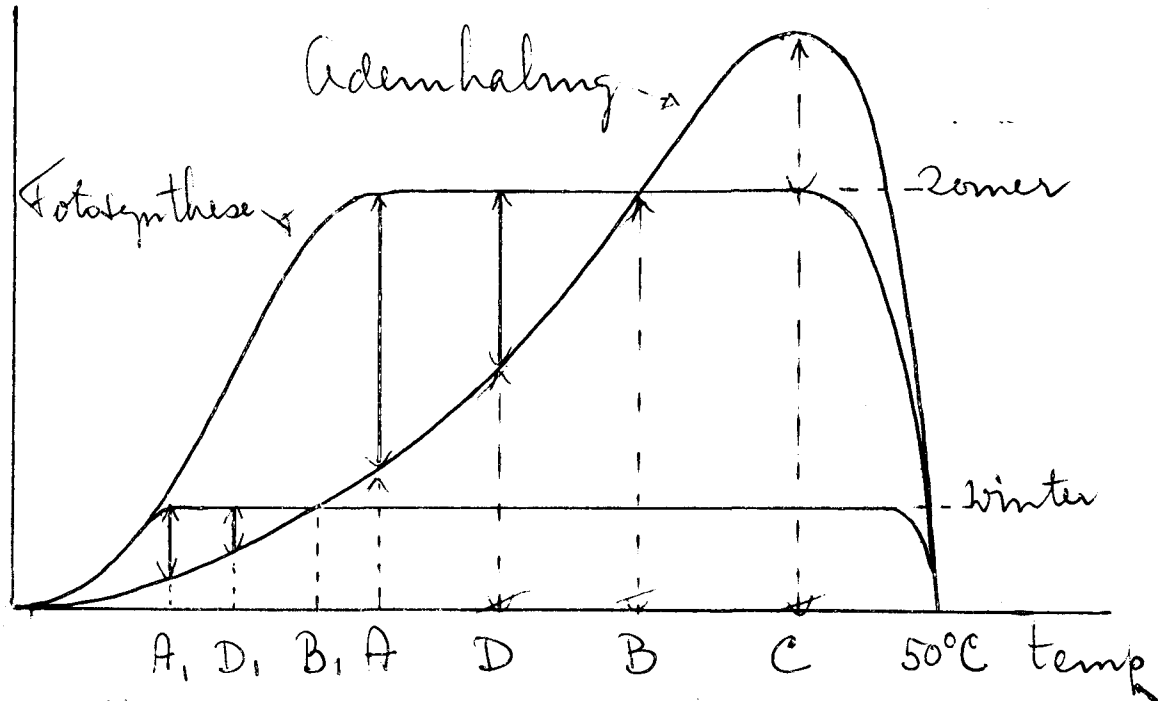
Wanneer men de kurven van de schema's bij 4.2.1 en 4.2.2 over elkaar heen legt ontstaat een duidelijk beeld van de samenhang tussen de temperatuur enerzijds en de verhouding ademhaling/fotosynthese anderzijds.

Bij lagere temperaturen stijgt de suikerproduktie door fotosynthese sneller dan het verbruik voor de ademhaling. Er is veel bouwstof, maar de groeisnelheid blijft laag, door de geringe ademhalingssnelheid (A). Stijgt de temperatuur naar D, dan neemt de suikerproduktie niet meer toe, maar de ademhalingssnelheid wordt wel groter. De groeisnelheid neemt daardoor ook toe. Er zijn echter minder bouwstoffen ter beschikking bij deze snellere groei: De plant wordt ieler.

Bij B is er evenwicht tussen fotosynthese en ademhaling. Er is geen groei meer mogelijk. Bij voortgaande temperatuur-stijging komt de plant zelfs suiker tekort, doordat de ademhaling de fotosynthese overtreft.

Bij een lagere lichtintensiteit (winter) gebeurt dit op een veel lager temperatuur-niveau. De fotosynthese is beperkt door het licht. Dan is reeds bij temperatuur B^1 geen groei meer mogelijk. Elke temperatuurverhoging voorbij dat punt is nutteloos en meestal direkt schadelijk.

Verband temperatuur en ademhaling / fotosynthese
(Kasklimaat blz. 67)



Zomer	Winter	
A	A_1	Grootste fotosynthese-overschot
D	D_1	Minder overschot maar snellere groei
B	B_1	Ademhaling = fotosynthese
C		Ademhaling maximaal

4.2.4 Samenhang tussen temperatuur en licht

Bij veel licht en een relatief lage temperatuur (A in schema bij 4.2.3) zijn er veel bouwstoffen beschikbaar, maar door de geringe ademhaling verloopt de groei te langzaam. De celdeling wordt geremd door gebrek aan energie. Er zijn dus weinig cellen, maar ze worden groot. Het is een zwaar laat gewas.

Neemt de temperatuur toe, dan verloopt de deling sneller, maar blijven de cellen kleiner. Het gewas blijft lichter, maar de teelt is sneller.

Ook hierbij geldt dat 's winters alles ook zo verloopt, maar op een veel lager niveau. Er zijn veel minder cellen, die kleiner zijn en door de lage temperatuur is het tempo lager.

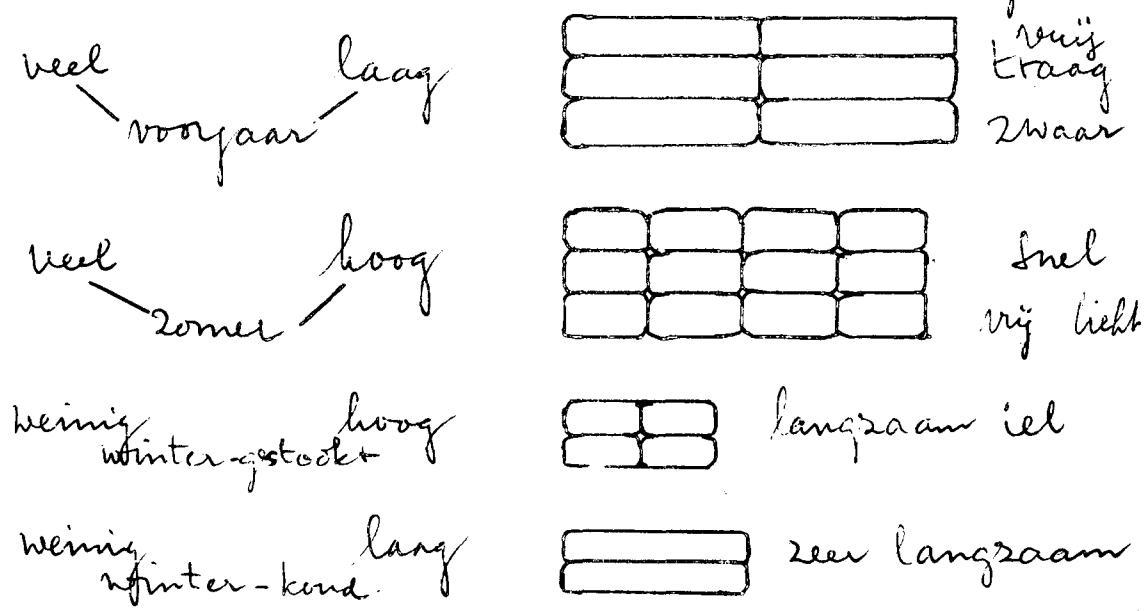
De celgrootte wordt ook nog beïnvloed door de watervoorziening.

Behalve deze algemene invloeden hebben we ook te maken met verschillende temperaturen binnen een plant op hetzelfde moment en grote temperatuurverschillen van moment tot moment. De bovengrondse plantedelen kunnen in temperatuur vrij sterk afwijken van de luchttemperatuur. Door verschillen in instraling kan de temperatuur zeer snel wisselen. De plant moet dit allemaal kunnen verdragen.

Bij de wortels ligt het eenvoudiger. Temperaturen van grond en wortels zijn ongeveer gelijk. Hierbij doet zich echter het probleem voor van de grote traagheid van de grond. De snel wisselende temperatuur van de bovengrondse plantedelen, die het gevolg zijn van wisselingen in, onder andere, de lichthoeveelheden kunnen door de wortels niet worden gevolgd. De wortels kunnen daardoor soms wat warmer zijn dan de bovengrondse plantedelen. Het grote gevaar ligt echter in de veel grotere kans dat ze kouder zijn. Dit werkt remmend op de water- en mineralenopname.

Hoewel door de wisselingen het verband niet duidelijk blijkt, hebben deze verschillen tussen de plantedelen, als gevolg van de onevenredigheden tussen straling en temperatuur, toch hun invloed op de groei.

Samenhang Temperatuur / licht en groei (Kasklimaat blz. 69)



4.3 De lucht om de plant

De lucht om de plant is van belang, wat de samenstelling aangaat. Hierbij kan vooral het CO_2-percentage beperkend zijn. In de grond speelt hierbij ook de O_2-koncentratie een rol.

Het tweede aspekt van de lucht om de plant is het transport van warmte, waterdamp, CO_2 en O_2.

4.3.1 Luchtbeweging is transport

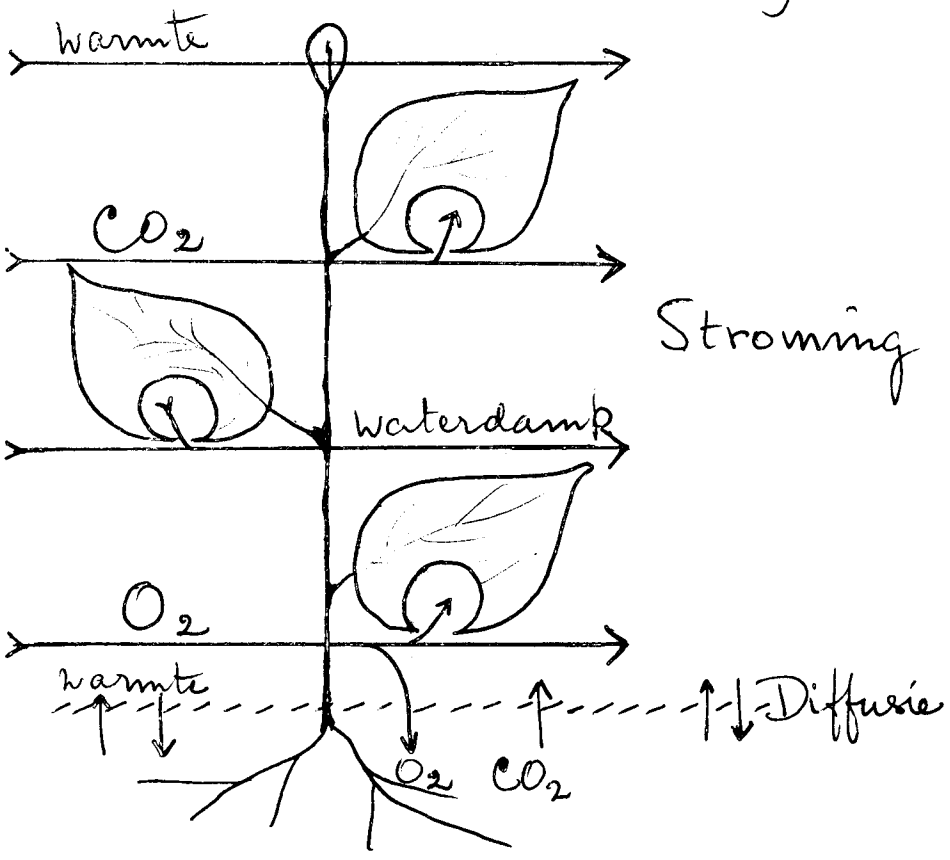
Wanneer de lucht om de plant geheel zou stilstaan, zou de samenstelling ervan vlak om de plant steeds verder gaan afwijken. Het CO_2-gehalte zou dalen en overdag zou het O_2-gehalte stijgen. Ook de luchtvochtigheid zou rond de plant oplopen. Onder glas kan dit soms voorkomen.

Door instraling en stoken zullen echter meestal temperatuurverschillen ontstaan. De lucht gaat daardoor stromen. Dit wordt nog versterkt door wind en luchten. Door deze luchtbeweging wordt warmte van de buizen vervoerd, maar ook vanaf het blad, indien dit door instraling warm wordt. Waterdamp wordt bij het blad weggevoerd en CO_2 wordt aangevoerd. Het CO_2-gehalte moet voor een snelle groei hoger zijn dan de natuurlijke koncentratie van 0,03%.

De luchtstroom zorgt ook voor de uitwisseling boven het grondoppervlak. In de grond vindt echter geen stroming plaats, maar diffusie. De kapaciteit daarvan is veel geringer; daarom kunnen er met de O_2-voorziening moeilijkheden optreden.

Luchtbeweging is transport

(Kasklimaat blz 82)



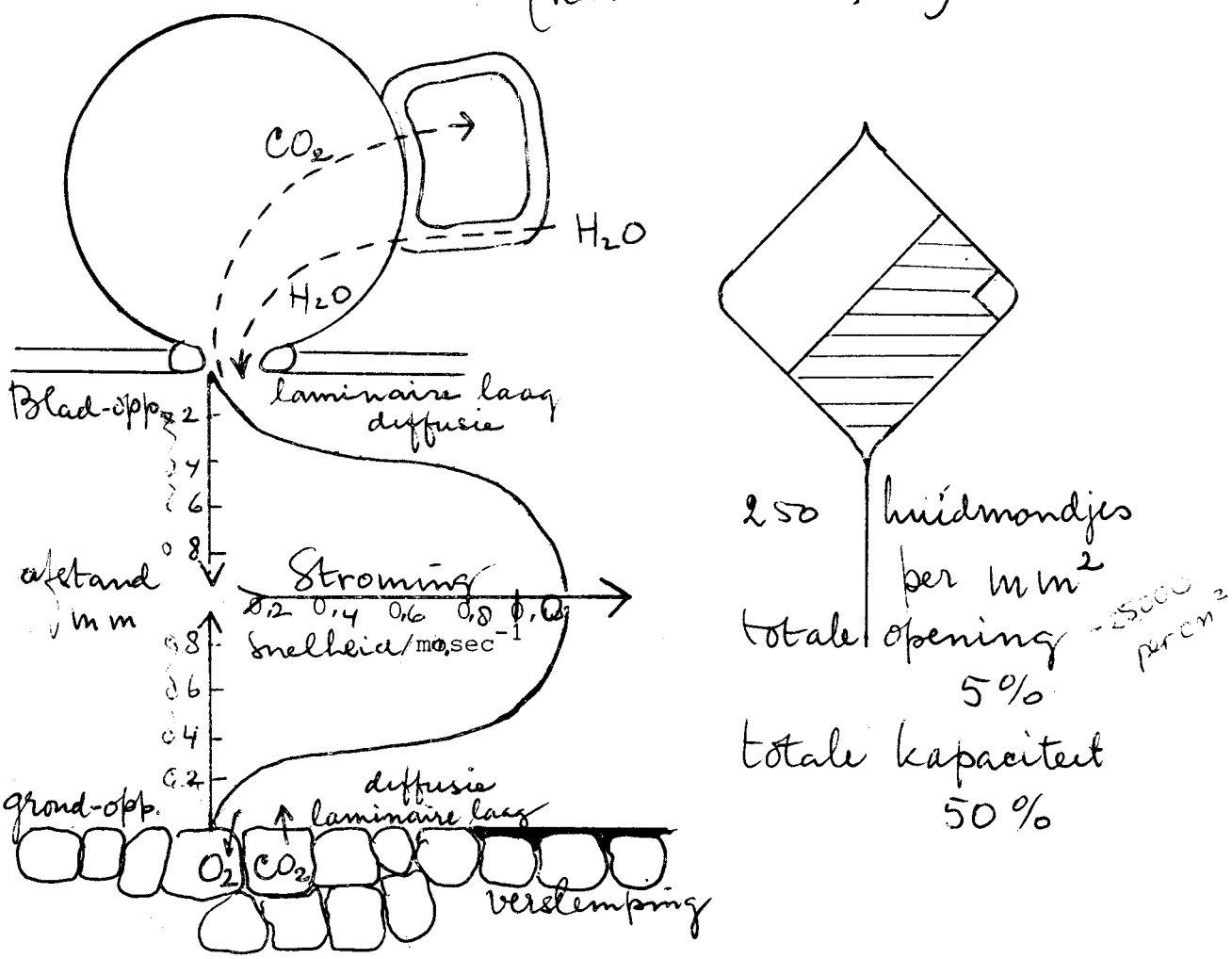
4.3.2 Gaswisseling door diffusie

Bij stroming is er verplaatsing van de totale luchtmassa. Bij diffusie staat de lucht stil, maar springen er steeds molekulen in en uit. De transportkapaciteit is daardoor bij stroming veel groter dan bij diffusie. De grote weerstanden tegen gastransport treden dan ook daar op, waar geen stroming meer kan plaatsvinden en alleen diffusie mogelijk is.

Dit is het geval in de grond. De lucht in de poriën staat stil. Ook in de plant geldt: de lucht binnen de huidmondjes staat stil. Bij de huidmondjes is de grootste transportkapaciteit nodig voor de afvoer van waterdamp en de aanvoer van CO_2. Als de huidmondjes (250 per mm^2 blad) open staan, dan nemen de openingen 5% van de bladoppervlakte in. De kapaciteit is echter even groot als 50% van de oppervlakte. Gaan de huidmondjes dicht door watertekort, dan wordt ook het CO_2-transport geremd en dus de fotosynthese. De overgangslaag tussen huidmondjes-opening en de vrije bewegende lucht noemt men laminaire laag. Afhankelijk van de stroomsnelheid in de vrije ruimte zal deze laag 0.5 tot enkele mm dik zijn.

De afvoer van CO_2 en de aanvoer van O_2 bij de wortels vindt ook door middel van diffusie plaats. Er is dus veel weerstand. Deze wordt sterk vergroot door verslemping van de bovenlaag. Dit leidt tot O_2-tekort in de grond.

Gaswisseling door diffusie (Kaskiimaat 83,113)

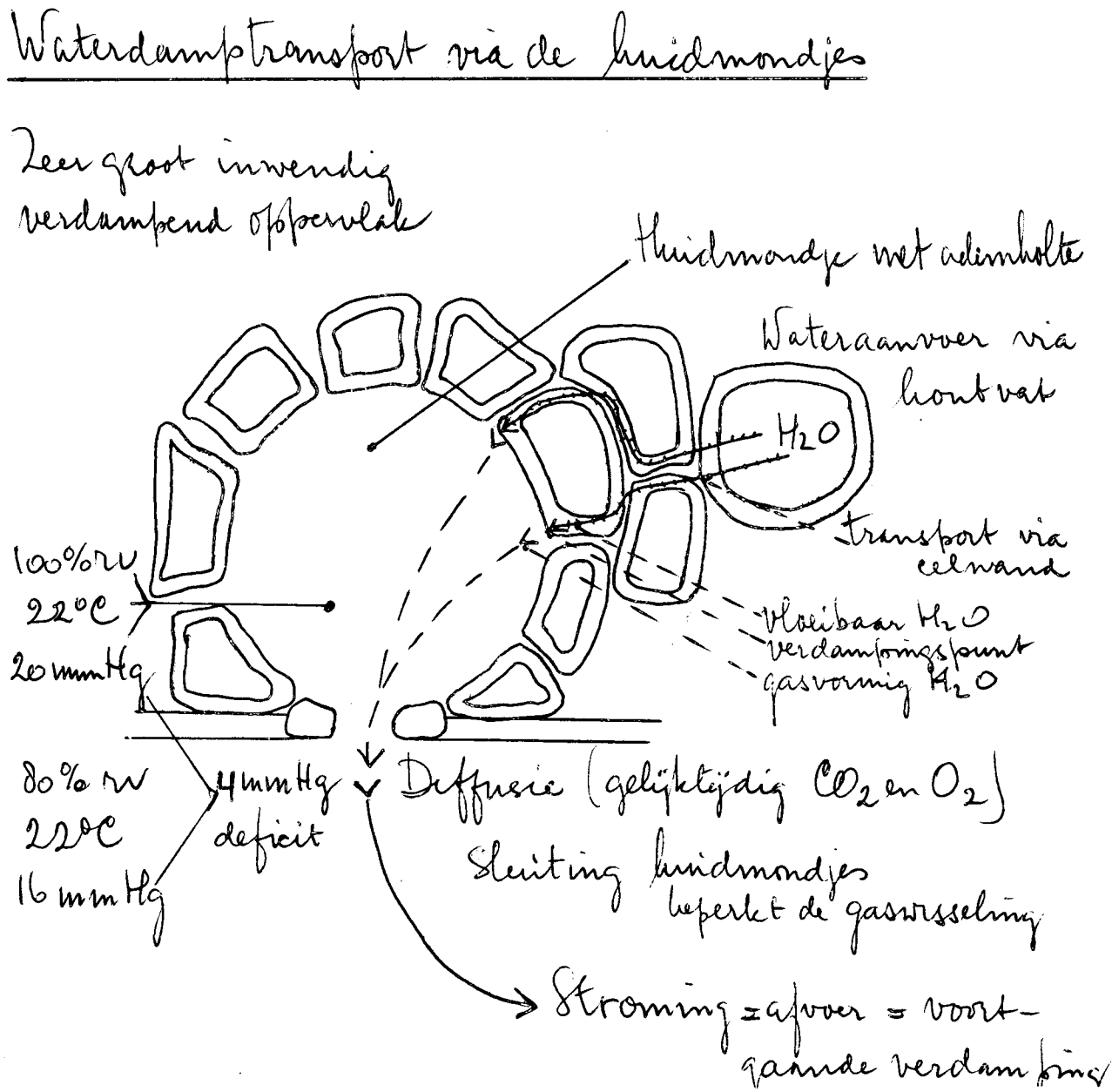


4.3.3 Waterdamptransport via de huidmondjes

De gaswisseling vanuit de plant naar de vrije ruimte betreft in hoofdzaak waterdamp. De plant verdampt ca 10x zoveel per groeiseizoen, als zijn eigen gewicht bedraagt. Gelijktijdig vindt diffusie plaats van CO_2 en O_2.

In de cellen grenzend aan de ademholte komt veel water voor in de celwanden. Vanaf deze grote oppervlakte verdampt water in de ademholte tot 100 % rv. Buiten de huidmondjes is de lucht niet verzadigd. Door diffusie gaan dan waterdampmolekulen naar buiten. Het verlies wordt weer aangevuld door verdamping.

Naarmate de zuigspanning in de lucht groter is verloopt de diffusie sneller. Dit is het geval bij veel zon, lage buitentemperatuur, lage rv en veel wind. Als de wortel dit niet kan bijhouden, sluit de plant de huidmondjes. Het blad wordt dan te warm en kan uiteindelijk verbranden. Ook het CO_2-transport wordt geremd, dus ook de fotosynthese. De diffusie komt bijna tot stilstand als er geen zon is, bij een hoge buitentemperatuur, een hoge rv en weinig wind. Soms is de lucht zowel binnen als buiten het huidmondje verzadigd met waterdamp, bij een gelijke temperatuur. Dan is geen verdamping meer mogelijk. Binnen beide hierboven genoemde uitersten zit een breed gebied van ca 50 - 95% rv waarbij een plant goed kan groeien.



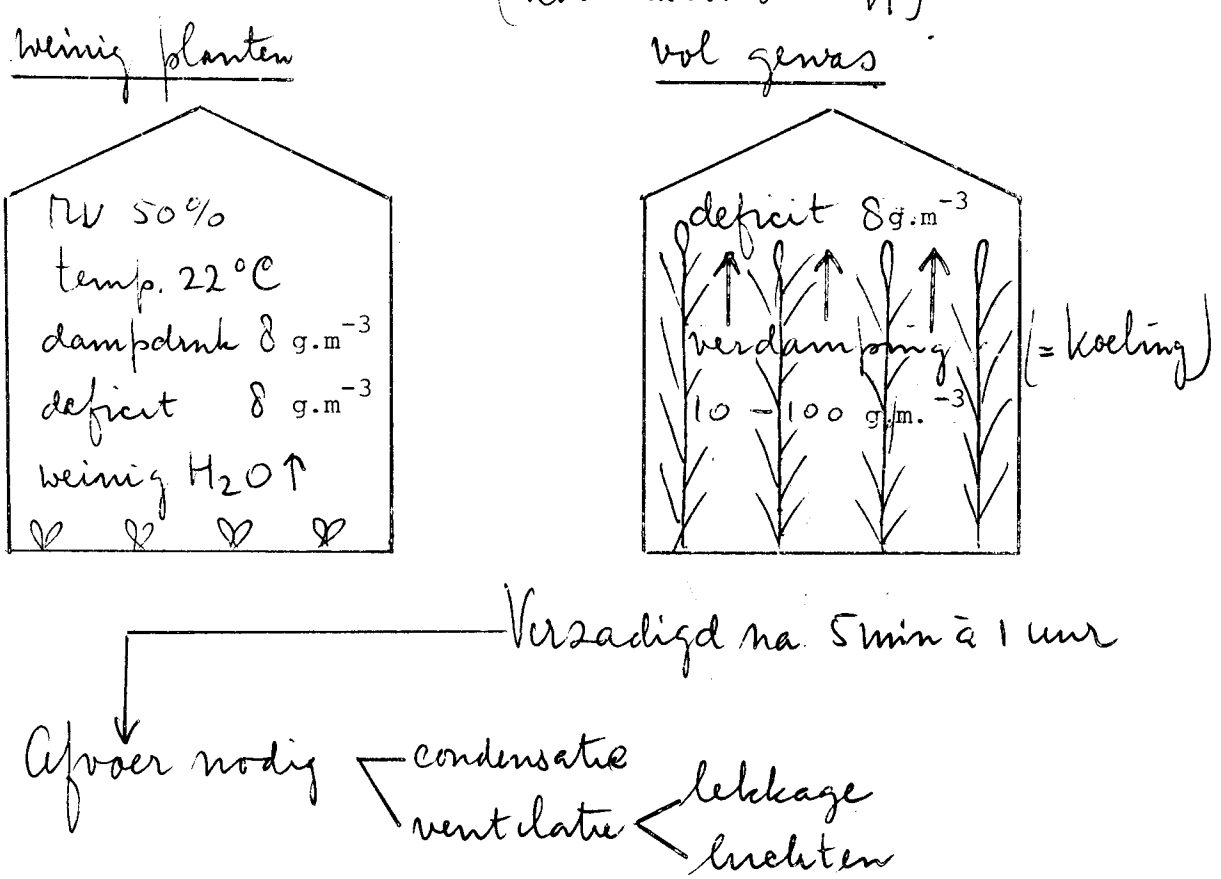
4.3.4 Gewas en luchtvochtigheid

Er is soms een geringe invloed van de luchtvochtigheid op het gewas. Als de lucht droog is, zal de plant gemakkelijker water verdampen. Als de wateropname niet geremd wordt, zal dit weinig of geen invloed hebben op de groei. Alleen onder extreme omstandigheden en een gevoelig gewas kan groeivertraging optreden. Dit geldt dan nog alleen maar, als er weinig planten in een kas groeien of als de buitenlucht zeer droog is en tegelijkertijd vanwege de hoge temperatuur veel gelucht moet worden.

In een vol gewas bij weinig ventilatie verloopt de beïnvloeding andersom. Dan wordt door verdamping zoveel water in de lucht gebracht, dat de lucht vochtiger wordt. Een eenvoudige rekensom laat dat zien:
Bij 25 °C kan de lucht 20 g waterdamp per m^3 bevatten. Bij een rv van 50 % is er 10 g per m^3 aanwezig.
Per m^3 groeit 1 tomateplant. Deze kan per uur 10 - 100 g water verdampen. Als er geen afvoer zou zijn zou de lucht in 5 minuten à 1 uur verzadigd zijn.
Er moet dus afvoer plaatsvinden: bv door kondensatie op het koude glas of door ventilatie. De ventilatie ontstaat door lekkage en opzettelijke luchtverversing.

Er is nog een ander belangrijk aspekt aan deze zaak. Door verdamping wordt veel energie opgenomen. Een gedeelte van de straling wordt direkt verbruikt voor verdamping. Dit voorkomt temperatuurstijging. Bovendien kan de plant door verdamping soms afkoelen. Het blad zal dan warmte onttrekken aan de lucht, waardoor de luchttemperatuur wat daalt.

Gewas en luchtvochtigheid (Kasklimaat blz 94)



4.4 De waterhuishouding van de plant

De watertoestand van de plant is onderworpen aan de invloed van het water in de grond, aan de éne kant en de zuigspanning van de lucht, aan de andere kant. Door de plant gaat een stroom water, doordat de lucht harder zuigt dan de grond. Globaal 90% van het opgenomen water wordt weer verdampt.
Door de verdamping wordt de plant gekoeld.
Het water fungeert als oplos- en transportmiddel.
Water dient ook als bouwstof bij de fotosynthese.
Tenslotte zorgt het voor de druk in de cellen, zolang de opname door worteldruk groter blijft dan de verdamping.

4.4.1 Zuigspanning in en om de plant

De waterstroom door de plant wordt op gang gehouden door de verdamping. De zuigspanning van de lucht om de plant heen is uit te drukken in dampdruk (bv mm Hg).

Binnen de ademholte heerst de dampdruk, die overeenkomt met de maximale dampdruk bij die temperatuur (100% rv). De zuiging waaraan de plant blootstaat, is het verschil tussen deze dampdruk en de dampdruk, die heerst in de lucht. In de ademholte komt het water voor in de gasfase. In de wand van de omringende cellen vindt de overgang plaats naar de vloeibare fase, daarom stappen we bij de overgang van de ademholte naar de celwand ook over op een andere eenheid:
Damp wordt in mm Hg gemeten, maar het water binnen de cel wordt gekarakteriseerd door atmosfeer.

Verdamping vanuit de cel verhoogt de koncentratie en dus de osmotische waarde, maar ook ontstaat onderdruk. Beide uitgedrukt in atm en bij elkaar opgeteld geven de zuigspanning in atm.

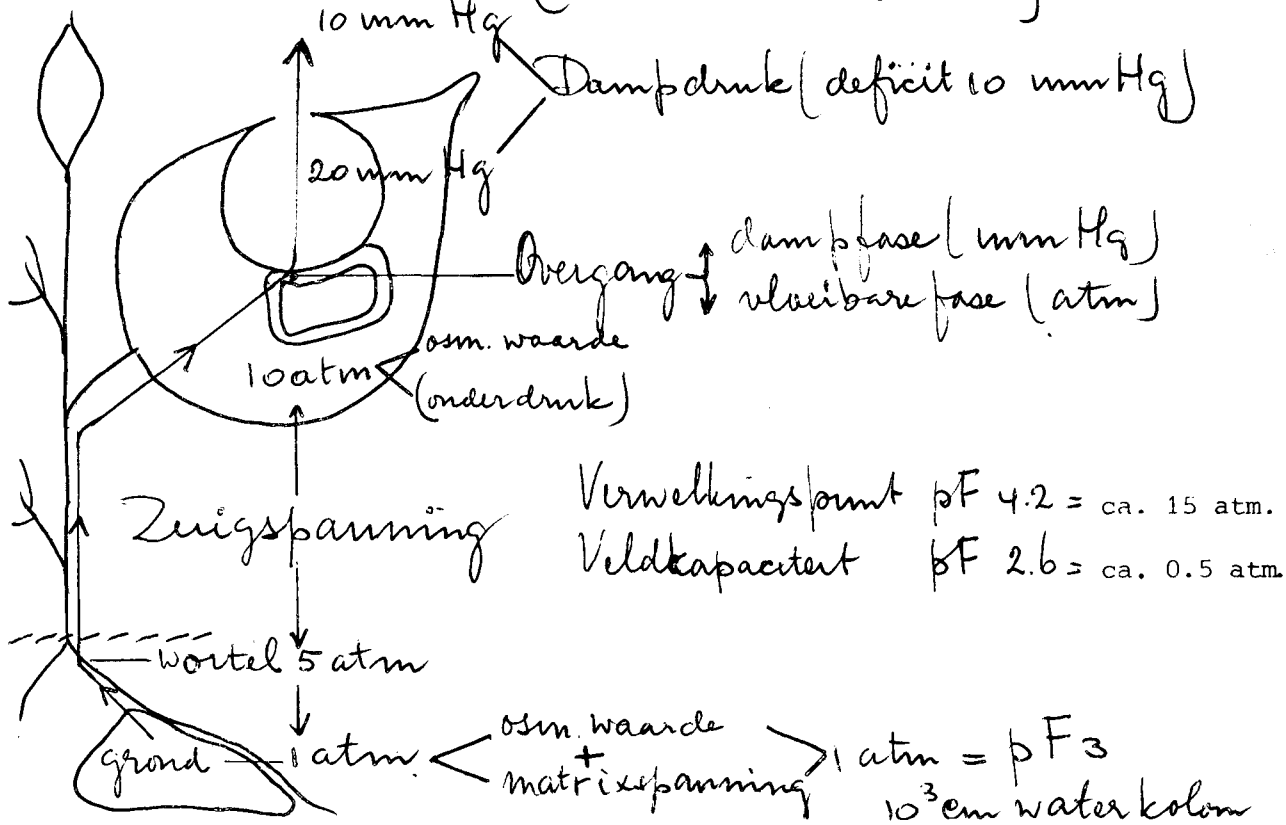
De zuigspanning in het blad kan oplopen tot 10 à 20 atm. Door weerstandsverliezen blijft in de wortel 5 - 15 atm over. Door deze zuigspanning neemt de plant water op uit de grond.

In de grond heerst ook zuigspanning. Deze bestaat uit de osmotische waarde van het bodemvocht, vermeerderd met de adhesie van de gronddeeltjes (matrixspanning). Als de grond uitdroogt, lopen beide komponenten tegelijkertijd op. De zuigspanning in de grond kan oplopen boven die van de plant, waarop verdroging volgt.

Ook de zuigspanning in de grond wordt uitgedrukt in atmosferen. Bodemkundigen gebruiken echter pF. De logarithme van de druk in cm waterkolom (100 cm = 10^2 cm = pF 2) is de pF Een grond, die op veldkapaciteit is heeft een pF van 2,6 = ca. 0,5 atm. Het verwelkingspunt ligt bij pF 4,2 = ca. 15 atm.

Zuigspanning in en om de plant

(Kaskiimaat blz. 104)



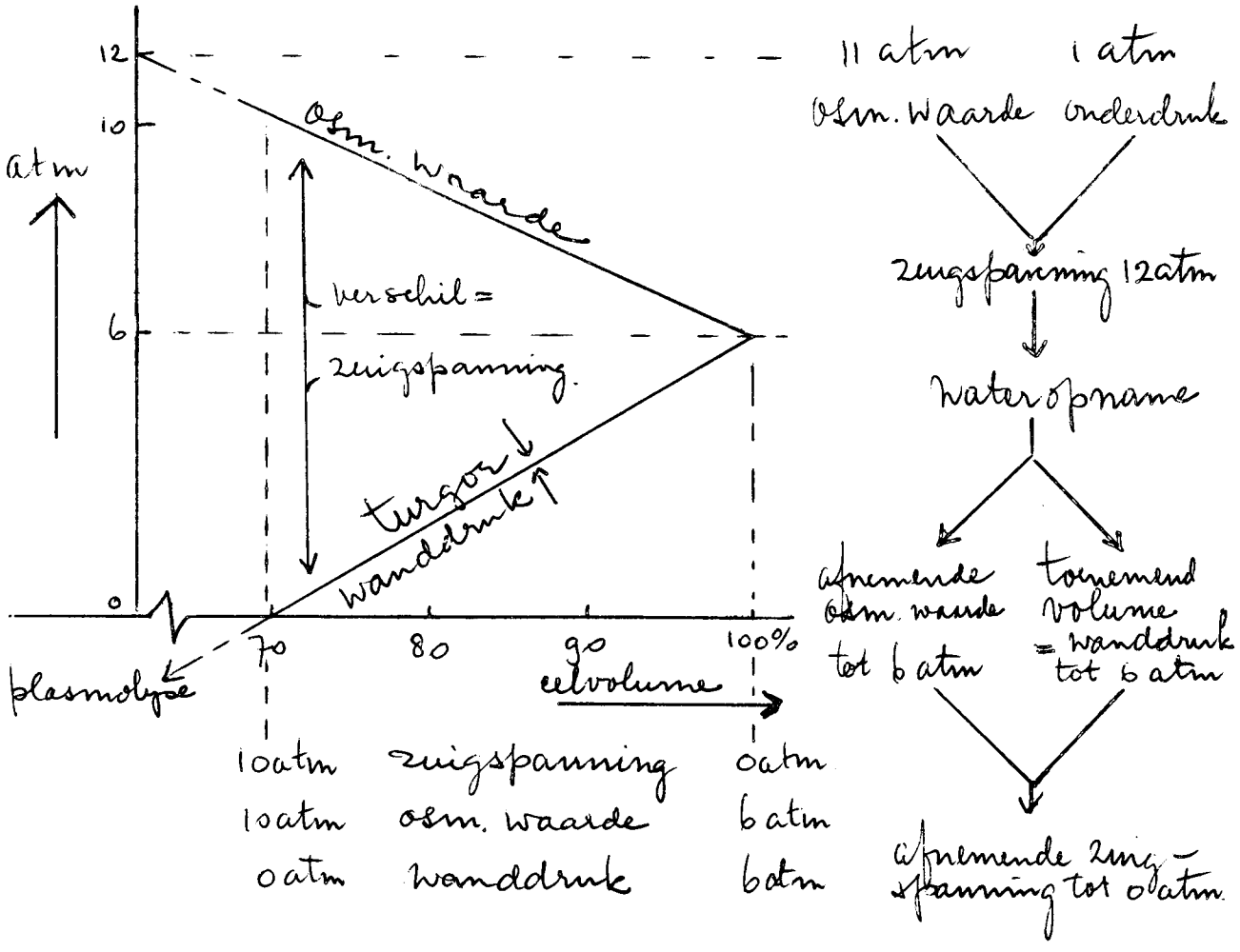
Verwelkingspunt pF 4.2 = ca. 15 atm.
Veldkapaciteit pF 2.6 = ca. 0.5 atm.

4.4.2 Celspanning

Tussen de krachten, die door de lucht en de grond worden uitgeoefend, moet de plant een eigen druksysteem in stand houden. De plant kan het waterverlies regelen door sluiting van de huidmondjes, maar ook de koncentratie van het celsap kan aangepast worden. Hoe meer zouten de plant opneemt hoe groter de osmotische zuigspanning wordt.

In het schema is het uitgangspunt een cel, die water verloren heeft tot ca 70% van zijn maximale volume. Daardoor is de osmotische waarde opgelopen tot 10 atm. Verder waterverlies leidt tot plasmolyse. De osmotische waarde betekent zuigkracht voor water, daardoor volgt opname. Dit heeft een tweeledig effekt. De osmotische waarde wordt lager èn het volume neemt toe. Dit veroorzaakt druk in de cel (turgor). De celwand is echter niet volledig rekbaar en veroorzaakt daardoor een tegendruk (wanddruk).
Bij voortgaande wateropname ontstaat een evenwicht tussen de osmotische waarde en de turgor = wanddruk bij 100 % celvolume. De cel is vol. Er is geen zuigspanning meer, maar de oplossing heeft nog wel een osmotische waarde. Deze wordt echter in evenwicht gehouden door de wanddruk (Groene Aarde blz. 120).

Celspanning (Kasklimaat blz 116)



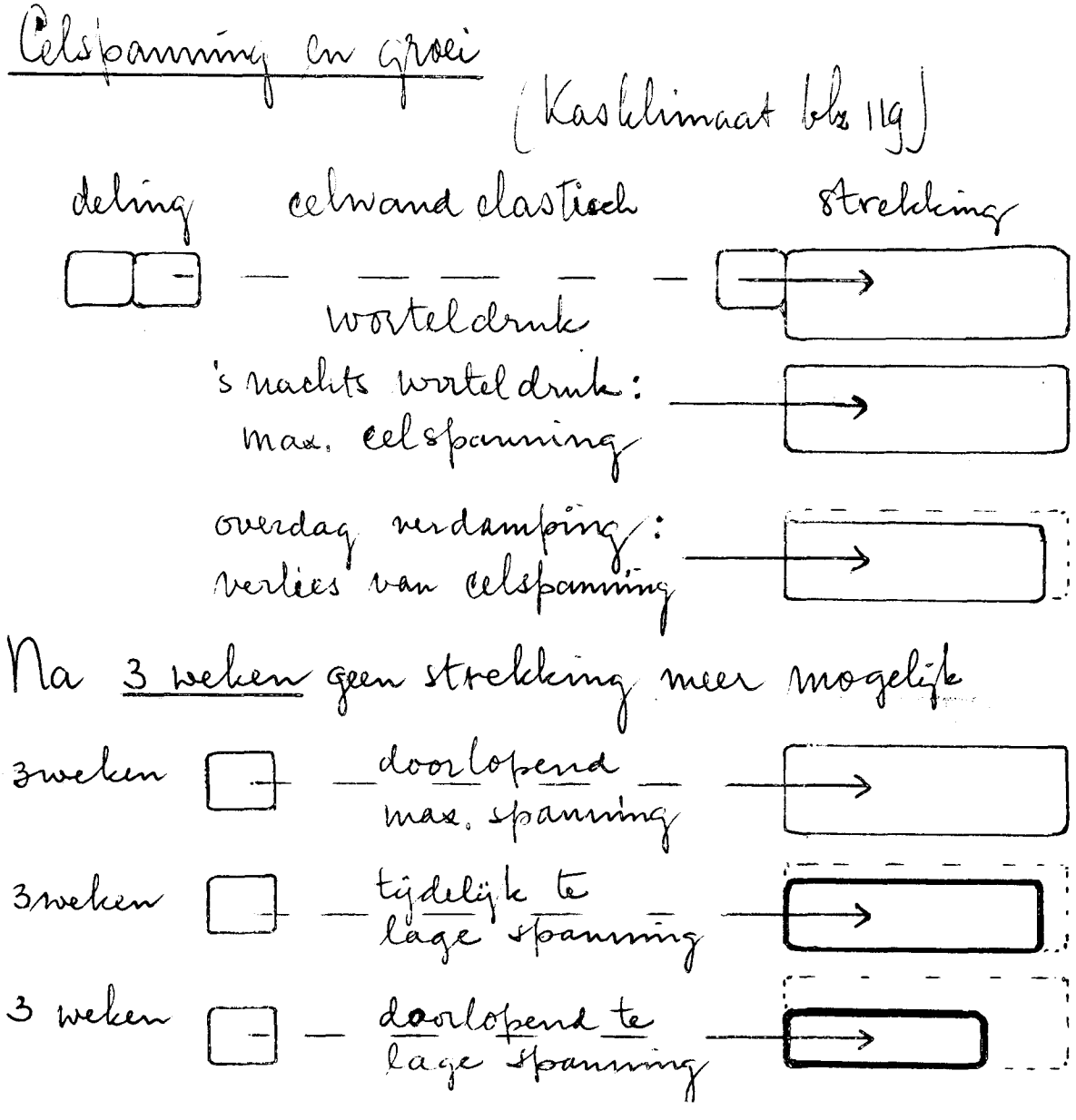
4.4.3 Celspanning en groei

Bij celdeling ontstaan zeer kleine jonge cellen. Om deze te laten groeien tot hun maximale afmetingen is een inwendige druk nodig. De wanden zijn elastisch, ze worden opgepompt. Dit zou niet gebeuren als de wateropname alleen door verdamping werd veroorzaakt. Door verdamping zal de plant immers eerder onder onderdruk komen te staan.

Door de worteldruk (zie 3.5) gaat de plant echter voort met wateropname, ook als er geen verdamping is, bijvoorbeeld 's nachts. Na 3 weken zijn de wanden star geworden. Dan is geen groei meer mogelijk. Hoe hoger de temperatuur is, hoe eerder deze veroudering van cellen optreedt.

Als gedurende de elastische periode de spanning dikwijls te laag is door geringe opname, dan krijgen de cellen nooit hun maximale afmetingen. Dan blijven de planten dus kleiner dan mogelijk is. Hoe lager de temperatuur gehouden kan worden, hoe meer gelegenheid er is om te geringe celspanningen in de beginperiode te kompenseren door betere wateropname in het laatste deel van de elastische periode.

Als schaduwzijde van de worteldruk kan aangemerkt worden, dat de planten soms schade vertonen als gevolg van de grote inwendige druk (scheuren en barsten). Ook kan een hoge worteldruk (door vochtige warme grond) een te welige groei veroorzaken (tomaat op grondverwarming).



4.4.4 Wisselingen in celspanning

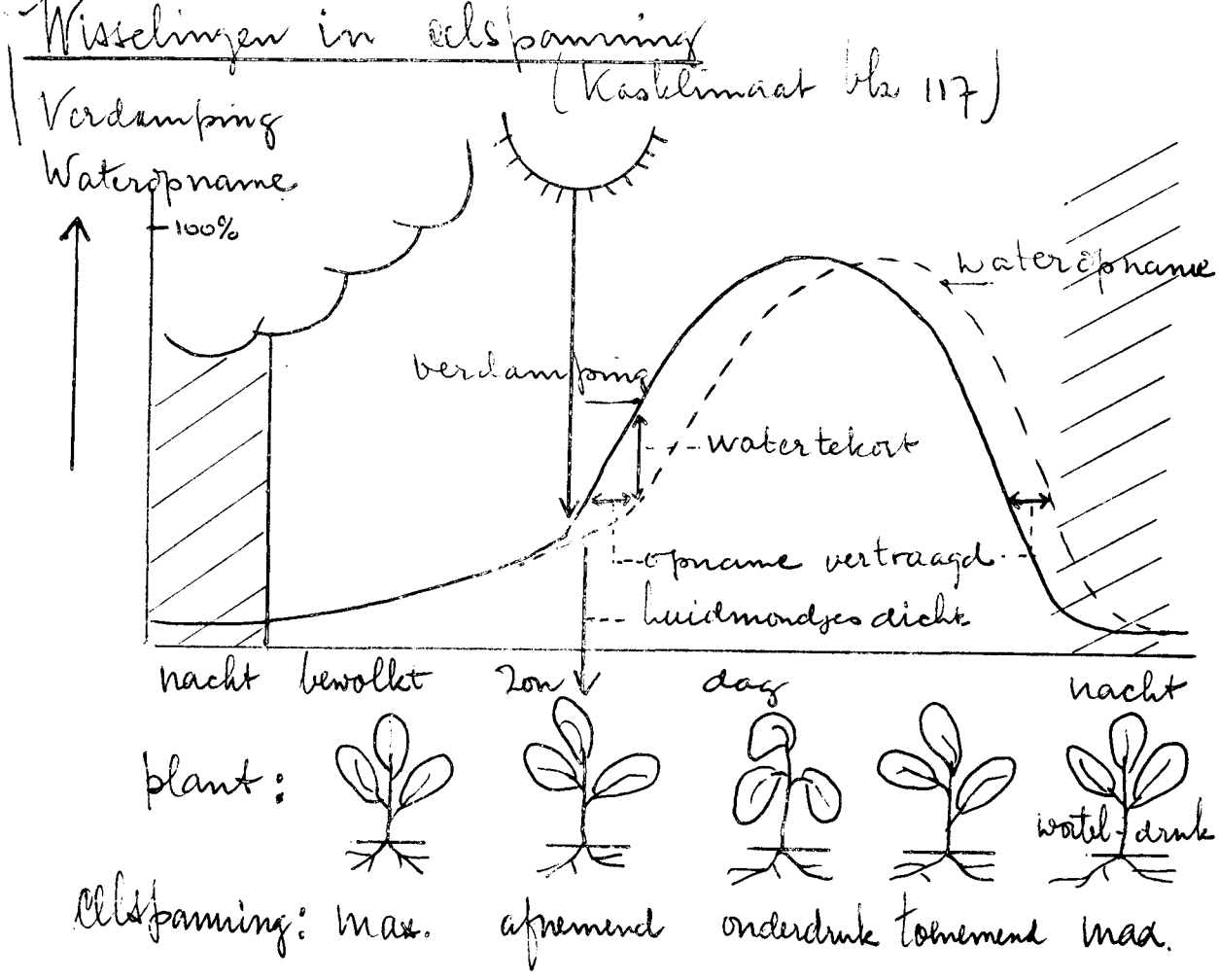
Verschillen in celspanning op lange termijn veroorzaken verschillen in groei. Maar ook op korte termijn kunnen heel grote verschillen in celspanning optreden. Meestal zal een plant 's nachts geheel op spanning zijn door de worteldruk.

Door straling volgt verdamping, waardoor de celspanning kan afnemen. Vooral als de wortelomstandigheden zich niet snel genoeg aan de veranderde bovengrondse omstandigheden kunnen aanpassen. De plant zal de huidmondjes sluiten. Soms kan een plant zelfs slap gaan. 's Avonds wordt dit watertekort dan weer aangevuld.

Bij afnemende celspanning loopt de bladtemperatuur dikwijls op: dan kan beschadiging van het bladgroen het gevolg zijn. Als men moet kiezen tussen tijdelijk een te hoge luchttemperatuur - niet luchten - of tijdelijk te grote verdamping - wel luchten -, dan kan men beter een kortdurende te hoge temperatuur riskeren dan een te sterke verdamping. De schade van een te grote uitdroging is meestal moeilijker te herstellen dan de schade van een kortdurende hoge temperatuur.

Vruchten kunnen door drukverlies slap worden en ongeschikt om te oogsten. Bladgroenten kunnen niet geoogst worden wegens te grote kans op kwaliteitsbederf. Bij verspenen en verpoten hebben de planten ook extra veel te lijden, als de druk in de cellen wegvalt. Enkele fysiogene afwijkingen zijn het gevolg van te grote wisselingen in celspanning bijvoorbeeld waterziek en neusrot bij tomaat.

Meestal komen dergelijke verschijnselen gekombineerd voor met zwakke membranen door afwijkingen in de chemische voeding. Ook zeer snelle groei maakt de planten gevoelig voor schokken in de waterhuishouding van de cellen.



4.4.5 Licht, temperatuur, water en groei

In 4.2.4 werd de invloed van licht en temperatuur op de groei behandeld. Toen werd alleen aandacht besteed aan de eerste 3 kolommen van bijgaand schema.

Welke omstandigheden men ook heeft, de invloed van het water op de groei zal altijd op ongeveer dezelfde manier voor de dag komen. Veel water bij niet te ruime verdamping levert grote cellen op en welige planten. Hoe minder water de planten ontvangen of hoe meer de planten verdampen, hoe kleiner de cellen worden. Aangezien de fotosynthese veel minder wordt geremd, zullen er wel ruim bouwstoffen zijn. De celwanden worden daardoor dikker. De planten stugger.

Bij duidelijke beperking van de celspanning door droogte raakt de plant echter ook wat in tempo achterop, ook al blijft de temperatuur gelijk. Door droogte gaat dus ook het tempo van de celdeling achteruit.

Planten met grote dunwandige cellen leveren gevoelige gewassen. Wanneer de cellen kleiner blijven door droogte kan de plant veel meer schokken opvangen. Hoe beter de groei is, hoe beter dus de omstandigheden in de hand moeten worden gehouden. Anderzijds heeft het geen zin naar maximale groei te streven, zolang de omstandigheden onvoldoende beheerst kunnen worden.

Men kan dit ook nog andersom benaderen:
Wil men voor de zekerheid een buffer aanhouden - bijvoorbeeld water in de grond - dan mag men niet tegelijkertijd naar maximale groei streven, omdat de traagheid van de buffer het de plant onmogelijk maakt zich snel genoeg aan de omstandigheden aan te passen. De plant moet een goede weerstand hebben.
Wil men anderzijds het maximum uit de groeimogelijkheden halen dan is buffering niet meer mogelijk, maar moet men de groeifaktoren kunnen regelen. De plant wordt zo gevoelig, dat hij geen weerstand meer heeft. De zekerheid moet dan overgebracht worden naar de regeling.

Licht, temperatuur, water en groei

Vergelijk schema blz 3.33 (Kasklimaat blz 119)

