

## Consultancy Verkennende studie wortelfunctie



PT project nummer 13113.24



W.L. Holtman (wessel.holtman@fytagoras.nl)



R. Baas (info@fytofocus.nl)

## Inhoudsopgave

1. Inleiding.....	3
2. Deskstudie wortelfunctionaliteit.....	4
2.1    Algemeen .....	4
2.2. De invloed van fysische factoren op de wortelgroei.....	5
2.2.1 Zuurstof .....	5
2.2.2 Water .....	7
2.2.3 Temperatuur .....	8
2.2.3 Indringweerstand en potvolume .....	9
2.3 Invloed van chemische factoren op wortelgroei.....	11
2.3.1 pH.....	11
2.3.2 EC .....	11
2.4    Belang van goede beworteling/wortelfunctie.....	13
3. Meetmethoden en het wortelmilieu .....	14
4. Inventarisatie telers.....	16
<b>4.1 Gerbera</b> .....	16
Teelsubstraat en watergift.....	16
Vragen m.b.t. wortelmilieu.....	16
Monitoring .....	17
<b>4.2 Chrysanth</b> .....	17
Teelsubstraat en watergift.....	17
Beworteld stek.....	17
Vragen met betrekking tot het wortelmilieu .....	17
Alternatief voor de perspot in relatie tot economische aspecten .....	17
Monitoring en sturing.....	18
<b>4.3 Phalaenopsis</b> .....	18
Teelsubstraat en watergift.....	18
Vragen m.b.t. wortelmilieu.....	18
<b>4.4 Conclusies na inventarisatie telers</b> .....	18
5. Samenvatting en aanbevelingen.....	20
6. Geraadpleegde bronnen.....	21

# 1. Inleiding

Voor de groei van planten is een goed functionerend wortelstelsel essentieel. In de praktijk komen bij de opkweek en doorgroei soms problemen voor die samenhangen met een onvoldoende groei en functioneren van wortels. Zo sterft bij Gerbera bij de plaatsing van jong plantmateriaal op steenwolmatten of potten soms een deel van de wortels af. Bij Phalaenopsis zijn problemen met de beworteling een beperkende factor voor de omschakeling naar – voor automatisering wenselijke - opkweek in pluggen. Bij de mobiele teelt van chrysanth vindt uitval van het gewas plaats die zijn oorsprong vindt in de bewortelingsfase van stekmateriaal. Vaak is bij deze en soortgelijke problemen geen zicht op de oorzaak en daarmee de oplossing van de problemen omdat:

1. De kennis op het gebied van reactie en aanpassing van wortels op de omstandigheden in het wortelmilieu gedurende diverse gewasstadia (kieming, beworteling van stekken, opgroei van jonge planten) fragmentarisch is, niet gewasspecifiek en/of weinig gedocumenteerd.
2. de omstandigheden in het wortelmilieu niet of onvoldoende bekend zijn c.q. gemonitord worden .

Door de lacunes in kennis is – in vergelijking met bovengrondse klimaatsturing – de sturing en optimalisatie van het wortelmilieu waarschijnlijk onvoldoende.

Doelstelling van dit project is om :

- In een deskstudie het (recente) praktijk- en wetenschappelijk onderzoek op het gebied van de wortelfunctie van tuinbouwkundige gewassen op een rij te zetten. Hierdoor krijgen we een overzicht/inzicht in parameters die relevant zijn in het wortelmilieu m.b.t. het functioneren van wortels van de teelt.
- Een inventarisatie van meetmethoden en mogelijke lacunes te geven
- problemen in de praktijk + mogelijke oorzaken te geven. Hiertoe zullen gesprekken worden gevoerd met een aantal ondernemers c.q. leveranciers van plantmateriaal. Als pilotgewassen is gekozen voor chrysanth, gerbera en Phalaenopsis. Doel: het inventariseren van de probleemvelden op het gebied van wortels, groeimedium c.q. wortelmilieu .
- Aanbevelingen voor vervolgstappen op te stellen

In dit rapport wordt verslag gedaan van de deskstudie (Hoofdstuk 2 en 3), en de interviews met de telers (Hoofdstuk 4).

In hoofdstuk 5 is een samenvatting met aanbevelingen opgenomen. Daarin staan de belangrijkste bevindingen beschreven en is op een rij gezet welke kennisvragen nog open staan t.a.v. wortelfunctionaliteit in de tuinbouw sector.

## 2. Deskstudie wortelfunctionaliteit

### 2.1 Algemeen

In de tuinbouw worden veel verschillende teelt- en watergeefsystemen gehanteerd waarin verschillende substraten gebruikt worden (Tabel 1). Het optimaal functioneren van gewassen in een gekozen systeem wordt voor een belangrijk deel bepaald door het goed kunnen groeien en functioneren van het wortelstelsel.

watergift	systeem	gewasgroepen	voorbeeldgewas	belangrijk substraat
bovendoor	regenleiding/spuitboom	potplanten	Phalaenopsis	bark/potgrond
		volvelds snijbloemen	chrysan	grond
		koude teelten groenten	sla	zandgrond
	druppelaar	vruchtgroenten	tomaat	steenwol
		snijbloemen	gerbera	steenwol
onderdoor	eb/vloed	potplanten	kalanchoe	potgrond
	waterlaag	bollen (broei)	tulp	geen
	NFT		Sla	potgrond

Tabel 1. Overzicht van gehanteerde teeltsystemen in glastuinbouw.

Omdat metingen aan een volwassen wortelstelsel bewerkelijk zijn, of omdat er geen geschikte meetmethoden zijn (zie Hoofdstuk 3), is er over groei en functioneren van het wortelstelsel vaak minder bekend dan over groei en functioneren van de bovengrondse delen van de plant. Een belangrijk deel van het onderzoek wortelfunctie is verricht aan jonge planten of zaailingen en bovendien zijn studies vaak uitgevoerd in watercultures of in bodems/ grond. De omstandigheden in substraatteelt zoals die in de tuinbouw gebruikelijk zijn kunnen echter aanzienlijk afwijken van de omstandigheden zoals die enerzijds in grond en anderzijds in watercultuur aanwezig zijn.

Een aantal verschillen tussen substraatteelt en vollegrondsteelt zijn (Raviv en Lieth 2008) :

- In substraatteelt is vaak een sterk *gelimiteerd volume* voor wortels beschikbaar.
- in zones met intensieve wortel dichtheid is de *zuurstof* consumptie door wortels hoog, en kunnen sneller tekorten optreden.
- een gelimiteerd volume kan leiden tot *uitputting van water en nutriënten*, en verder kan er te weinig *ruimte* voor wortels zijn om te groeien.
- Substraten met te *hoge fysieke weerstand* of indringweerstand kunnen wortelgroei hinderen.
- In containers zullen wortels vaak naar de bodem groeien als gevolg van zwaartekracht en het zoeken naar water. Juist op de bodem kunnen – als gevolg van verticale vochtgradiënten in het substraat - zuurstoftekorten optreden.
- In containers vinden grotere *temperatuur schommelingen* plaats dan in de volle grond. Verdamping bovenin het substraat is dan hoger, vooral in vroege gewas stadia.
- in substraten kan zoutophoping in het substraat plaats vinden als gevolg van hoge verdamping vanuit het substraat.

De verschillen tussen substraat, grond en watercultuur hebben tot gevolg dat:

- het wortelmilieu **gemonitord** zou moeten worden om de variatie in tijd (temporele variatie) en plaats (spatiële variatie) in substraten in kaart te kunnen brengen
- kennis over **wortelreacties** op de optredende variatie in substraten beschikbaar moet zijn om hier eventueel adequaat op te kunnen reageren.

In het vervolg van dit hoofdstuk wordt een globaal overzicht gegeven van wat er bekend is ten aanzien van plant- en met name wortelgroei-reacties op factoren in het wortelmilieu. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in fysische en chemische beperkende factoren (Tabel 2). Biologische factoren zoals plantpathogenen en overige toxiciteiten worden in deze beknopte opsomming buiten beschouwing gelaten.

factor in wortelmilieu	
Fysisch	Chemisch
Zuurstofgebrek	Zoutschade
Watergebrek	Mineralengebrek
Indringweerstand	pH
Temperatuur	

Tabel 2. Factoren in het wortelmilieu van substraten die invloed kunnen uitoefenen op wortelfunctioneren.

## 2.2. De invloed van fysische factoren op de wortelgroei

### 2.2.1 Zuurstof

Net als cellen en organen van mensen en dieren hebben plantencellen zuurstof nodig. Zuurstof is nodig voor de ademhaling. Bij deze ademhaling worden assimilaten en zuurstof verbruikt, en worden CO<sub>2</sub>, water en 'energierijke verbindingen', waaronder ATP, gevormd. Deze 'energiedragers' zijn essentieel bij veel celreacties en processen zoals eiwitsynthese en drogestofproductie uit assimilaten, maar ook voor ionenopname en het buiten houden van schadelijke stoffen door de wortels. Zo kost het buiten de wortels gehouden van een schadelijk element als natrium energie: bij zuurstofgebrek in de wortels lukt dit niet meer, omdat dan slechts ca. 10% van de ATP wordt geproduceerd in vergelijking met zuurstofrijke omstandigheden.

Omdat de ademhaling in het plasma van de cellen plaats vindt, is het goed te bedenken dat het hierbij gaat om zuurstof dat is opgelost in water. Deze oplosbaarheid van zuurstof in water is vooral afhankelijk van de temperatuur en neemt af van 10 naar 7.5 mg/liter tussen de 15 en 30°C.

#### Hoe reageren planten op zuurstofgebrek?

Bij plotseling zuurstofgebrek in het wortelmilieu komt er een hele reeks reacties op gang. Enerzijds gaan de wortels over op **vergiftiging**, waardoor zuurstof weliswaar niet meer nodig is, maar de productie van de energierijke verbindingen sterk verminderd is. Dit heeft weer tot gevolg dat de **wortelgroei** sterk vermindert of zelfs stopt. Bestaande wortels kunnen uiteindelijk afsterven. Daarnaast wordt de **opname van ionen** zoals nitraat sterk geremd, waardoor op de langere termijn **stikstofgebrek** optreedt.

Ook is er een effect op de celmembranen van de wortelcellen. Hierdoor verloopt de **wateropname** moeilijker, waardoor planten watergebrek ervaren ondanks het feit dat ze volop in het water staan. Planten **verliezen turgor** (vooral als de verdampingsbehoefte wel groot is, b.v. in de middag), en sluiten hun huidmondjes. Hierdoor **vermindert de fotosynthese** en dus gaat uiteindelijk de (drogestof)productie omlaag.

Verder wordt het gasvormige hormoon **ethyleen gevormd** in het wortelmilieu bij zuurstofgebrek. Als de wortels omringd zijn door water kan ethyleen niet vervluchtigen uit het wortelmilieu, waardoor de concentratie in de wortels stijgt. Dit heeft enerzijds tot gevolg dat in de wortels celwanden oplossen en **luchtholtevorming** gaat optreden. Anderzijds heeft ethyleen tot gevolg dat **bloemabortie** kan optreden en dat de **bladstelen gaan strekken**, waardoor de bladeren naar beneden gaan hangen. Ook gaan sommige gewassen wortels vormen op hoger gelegen plaatsen op de stengel, zogenaamde **adventiefwortels**.

Ten slotte maakt zuurstofgebrek dat **wortels meer vatbaar** worden voor een secundair pathogeen als **Pythium**. De omstandigheid dat bij hogere temperaturen zuurstofgebrek eerder optreedt en de activiteit van Pythium het hoogste is draagt hier aan bij.

Al deze reacties treden vooral duidelijk op bij plotselinge situaties van zuurstofgebrek. Dit kan het geval zijn bij het stagneren van drain of bij overstroming. Als er dan verder omstandigheden zijn die gunstig zijn voor groei en verdamping kan het gewas snel verdrogen c.q. verbranden.

Vaker zal er sprake zijn van lokaal of tijdelijk zuurstofgebrek in het substraat, b.v. na een watergift. De verschijnselen die dan optreden zijn minder dramatisch maar ook minder opvallend, omdat ze niet zo specifiek zijn. Toch is het goed mogelijk dat ze wel groeireductie veroorzaken.

## Tolerantie en aanpassing

Er zijn zeker verschillen tussen gewassen in gevoeligheid voor zuurstofgebrek. Snelle groeiers en gewassen met een laag drogestofgehalte zoals vruchtgroentegewassen zullen symptomen eerder laten zien dan gewassen die sowieso wat trager in reacties zijn zoals veel potplanten.

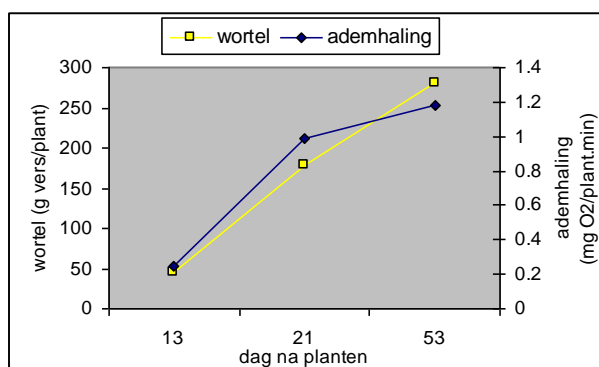
Er zijn gewassen zoals rijst die – ondanks dat hun wortels continu in het water staan - toch uitstekend kunnen groeien. Deze gewassen hebben luchtkanalen in de wortels waardoor ze zuurstof vanuit de spruit kunnen transporteren, of vanuit delen van het wortelgestel die wel over zuurstof kunnen beschikken. Hoewel er wel sprake was van enige **luchtholte- of porositeitvorming** bij onderzochte gewassen roos, gerbera, chrysant en tomaat onder zuurstofgebrekkige omstandigheden is deze aanpassing waarschijnlijk toch onvoldoende om zuurstofgebrek te voorkomen. De enige manier voor wortels van tuinbouwgewassen om toch aan zuurstof te komen is dan te **groeien op plaatsen waar wel voldoende zuurstof aanwezig is**. Bij (te) natte substraten worden dan ook wortels vooral aan de zij- en bovenkant van substraat gevonden (Figuur 1). Voorwaarde is wel dat de planten de tijd hebben gehad om deze aanpassingen te ontwikkelen. Hierbij moet eerder in weken dan in dagen worden gedacht. Een plotselinge sterke verlaging van het luchtgehalte voor langere tijd zal dan in principe ook grotere negatieve gevolgen hebben dan een geleidelijke verlaging.



Figuur 1. Roos gegroeid in fijn perliet vormt wortels bovenin het substraat. Bron: Baas (niet gepubliceerde resultaten)

## Wanneer treedt zuurstofgebrek op?

Zuurstof wordt beperkend als de opname groter is dan de aanvoer. De **opname** van zuurstof wordt vooral bepaald door de hoeveelheid wortels en de ademhalingsnelheid (Figuur 2). Het optreden van zuurstofgebrek is dan ook waarschijnlijker als de worteldichtheid hoger is.



Figuur 2 . De ademhaling van een komkommerplant in relatie tot het wortelgewicht tijdens de teelt. Bron: Baas (niet gepubliceerde resultaten)

Een hogere ademhaling kan b.v. plaats vinden als de worteltemperatuur stijgt. Globaal neemt de ademhaling met een factor 2 toe bij een temperatuurverhoging van 10°C. Daarnaast is de ademhaling gewasafhankelijk: snel groeiende soorten zoals vruchtgroenten vertonen hoge ademhaling, omdat relatief veel wortelgroei en ionenopname per tijdseenheid plaats vindt.

De **aanvoer** van zuurstof wordt vooral door de hoeveelheid lucht in het substraat bepaald.

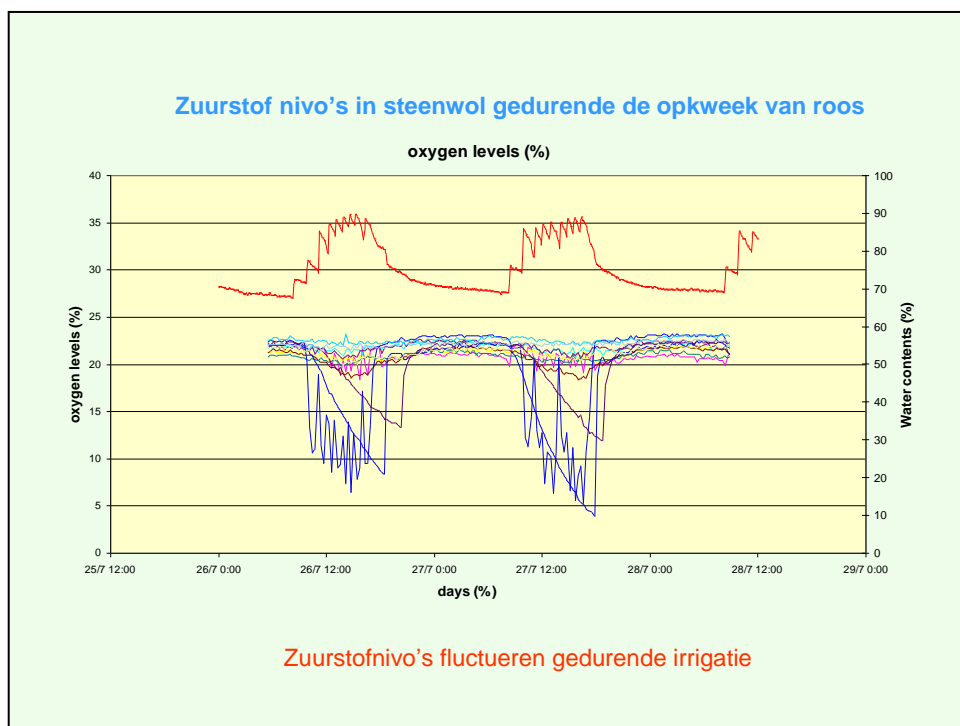
Zuurstofdiffusie – transport van een hoge naar een lage concentratie - vindt 10.000 keer sneller plaats in lucht dan in water. Het transport van gasvormig zuurstof in lucht via aaneengesloten poriën tot

vlakbij de wortels is dan ook essentieel om aan de vraag naar zuurstof door de wortels en de aanwezige micro-organismen te voldoen.

Uiteindelijk zal de gasvormige zuurstof wel moeten oplossen in water in de waterfilm rond de wortels dan wel in het cytoplasma om bij de mitochondriën te komen waar de ademhaling plaats vindt. De diffusie die hiervoor nodig is wordt bevorderd door een hoge zuurstofconcentratie in de gasfase. Het luchtgehalte van substraat is hiermee de belangrijkste parameter voor de zuurstofvoorziening: een hoger luchtgehalte is direct gerelateerd aan een hogere zuurstofdiffusiecoëfficiënt (Wever e.a. 2001)

### Is er een luchtgehalte waarbij zeker geen zuurstofgebrek optreedt?

Bij watergehalten boven de 90% zal zuurstofgebrek bijna altijd optreden. Omdat er altijd een vochtgradiënt in substraat is zal dit bij voorbeeld gelden voor de onderste - waterverzadigde - zone van steenwol. Uit een aantal verschillende onderzoeken en modelberekeningen komt naar voren dat de **zuurstofdiffusie niet meer beperkt is bij luchtgehalten in substraat boven de 30%**. Bij steenwol zou dit betekenen dat watergehalten (verticaal gemeten) onder de ca. 70% geen problemen met zuurstofgebrek geven. Zo zijn in een rozenteelt zuurstofmetingen zijn gedaan (Figuur 3). Het bleek dat indien het watergehalte (rode lijn) boven de 70 % uitkwam, in de loop van de ochtend, vooral onderin de mat (blauwe lijn) zuurstoftekorten optreden.



Figuur 3. Zuurstof nivo's in steenwol bij de opkweek van roos. De rode lijn geeft het watergehalte aan, de overige lijnen betreffen zuurstofmetingen op diverse posities in de mat (bron: Fytagoras/DLV Plant).

**Zuurstofverrijking van druppelwater** is wel geopperd als manier om de zuurstofvoorziening te verbeteren. Als er echter aan gerekend wordt blijkt dat hooguit enkele procenten van de zuurstofbehoefte gedekt te worden via aanvoer van water dat via verdamping verdwenen is. Dit laat zien aan dat zuurstofaanvoer via de toevoer van voedingsoplossing volstrekt onvoldoende is. Het belang van zuurstof in druppelwater neemt wel toe wanneer er continu of zeer veelvuldig verzadigd water langs de wortels stroomt, zoals bij NFT, of wanneer uitzonderlijk hoge drainpercentages gehanteerd worden.

### 2.2.2 Water

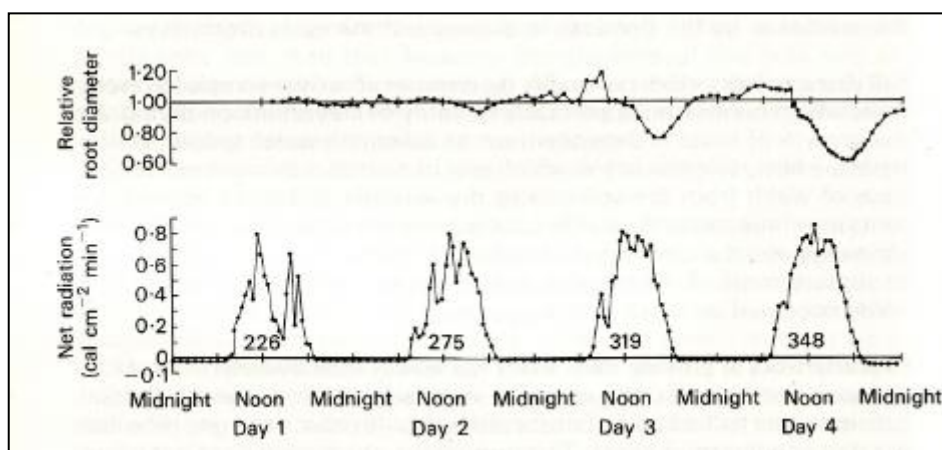
Watergebrek leidt snel tot **kleiner blad** omdat er een **verminderte celstrekking** is. Verder blijkt de fotosynthese minder gevoelig te zijn voor watergebrek dan de celstrekking, waardoor het **assimilatengehalte verhoogd** wordt. Dit kan tot een **meer 'generatief'** gewas leiden: snellere bloei-inductie. Door het vochtgehalte van het substraat bewust te variëren maken vruchtgroentetelers hier gebruik bij het sturen van de plantbalans.

Gewassen die erg gevoelig zijn voor watergebrek zijn vaak ook snelle groeiers met dun en veel blad. Sommige gewassen zoals azalea laten na watergebrek veel **bladval** zien. Andere gewassen zoals CAM planten als kalanchoë en phalaenopsis of planten met een waslaag of bladharen zijn redelijk ongevoelig voor watergebrek (hogere tolerantie) en kunnen meestal zonder blijvende gevolgen herstellen van een periode watergebrek.

Als gevolg van watergebrek is de **wortelgroei minder geremd dan de spruitgroei**, en er worden **meer en langere wortelharen** gevormd bij watergebrek (Marschner 1995). Deze aanpassing kan ervoor zorgen dat er een betere benutting van het nog aanwezige water plaats vindt. Een belangrijke reactie is ook de **aanmaak van het hormoon abscissinezuur (ABA)** bij watergebrek. Dit hormoon zorgt ervoor dat de huidmondjes gaan sluiten bij watergebrek, waardoor weliswaar de plant zich niet meer kan koelen, maar verdere verdroging wordt tegengegaan.

Overigens moet wel opgemerkt worden dat de **effecten van waterbeschikbaarheid en nutriëntenbeschikbaarheid verstrengeld** zijn. Planten die watergebrek hebben ondergaan hebben dan ook doorgaans lagere nutriëntengehalten. Dit komt enerzijds omdat iontransport via diffusie verminderd is, doordat de transportweg langer wordt bij lagere vochtgehalten. Anderzijds worden er door de geringere verdamping bij watergebrek ook **minder nutriënten via massastroming aangevoerd en opgenomen**. De lagere spruit-wortel verhouding die gaat optreden bij water- en/of nutriëntengebrek kan deze verminderde ionenopname slechts in geringe mate tegengaan. Door de interactie tussen water- en nutriëntenopname is het niet altijd duidelijk of water- dan wel nutriëntengebrek de oorzaak van een groeibeperking is. Alleen met aanvullende metingen zoals de bladtemperatuur of de huidmondjesweerstand en/of substraatanalyses en vochtgehalten is dan meer inzicht in de achterliggende oorzaak van groeiverschillen te krijgen.

Een absolute minimumwaarde voor een vochtgehalte van een substraat waarboven geen watergebrek optreedt, is niet gemakkelijk te geven. Dit komt omdat deze beïnvloed kan worden door de verdamping, de geleidbaarheid van de wortels en van het substraat, en de totale hoeveelheid wortels en buffer in het substraat. Ook is een lichte mate van waterstress vaak met het oog moeilijk waarneembaar. Het is dus goed denkbaar dat onder praktijkomstandigheden vaak suboptimaal geteeld wordt omdat een lichte mate van waterstress niet goed waarneembaar is of niet gemeten wordt. De effecten van watergebrek op de verdamping kunnen met nauwkeurige weegapparatuur bepaald worden. Daarnaast kan inzicht gekregen worden in het optreden van watergebrek met bladdiktesensoren: een afname in celspanning (turgor) is gerelateerd aan een verandering in dikte van organen. Zo blijken ook wortels in diameter te variëren gedurende de dag (Figuur 3).



*Figuur 3. Niet alleen de bladdikte, maar ook de worteldiameter blijkt gedurende de dag te variëren. Bron: Scott-Russell 1977.*

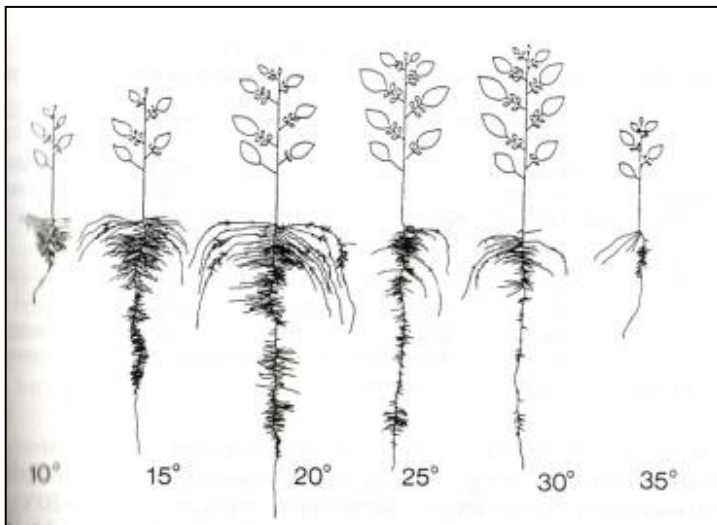
### 2.2.3 Temperatuur

Bij suboptimale temperaturen worden **wortels korter en dikker en is de zijwortelvorming sterk geremd** (Scott-Russell 1977). De **spruit-wortelverhouding daalt** bij lage temperaturen, mogelijk als gevolg van een **verminderde productie van cytokininen**. Daarnaast speelt de waterhuishouding ook



een rol: de **wateropname is geremd bij lage temperatuur** in het wortelmilieu door een verhoogde wortelweerstand: hierdoor kan onvoldoende turgordruk opgebouwd worden voor volledige celstrekking. De **worteldruk wordt ook door de worteltemperatuur beïnvloed**. Het bloeden van bomen zoals berk in het voorjaar is het gevolg van een oplopende bodemtemperatuur, waardoor de worteldruk toeneemt.

Bovengrondse en ondergrondse delen kunnen een verschillend optimum voor temperatuur laten zien. Zo ligt het optimum bij aardappel voor wortelgroei lager dan het optimum voor de spruitgroei (Figuur 4). In de tuinbouw wordt matverwarming en potverwarming toegepast, waardoor de worteltemperatuur hoger is dan de ruimtetemperatuur. Bij potplanten bleek een verhoging van de potttemperatuur met een gelijktijdige verlaging van de ruimtetemperatuur (waardoor energiebesparing mogelijk is) over het algemeen geen nadelige effecten te hebben. Verhoging van de potttemperatuur verkortte de teeltduur vooral bij gewassen met een laag groeipunt zoals Saintpaulia en Spathiphyllum. Toch is in de glastuinbouw is nog relatief weinig bekend over de invloed van worteltemperaturen (Kamminga 2009).



*Figuur 4. Het optimum van temperatuur voor wortelgroei en spruitgroei bleek bij aardappel te verschillen. Bron: Marshner 1995.*

### 2.2.3 Indringweerstand en potvolume

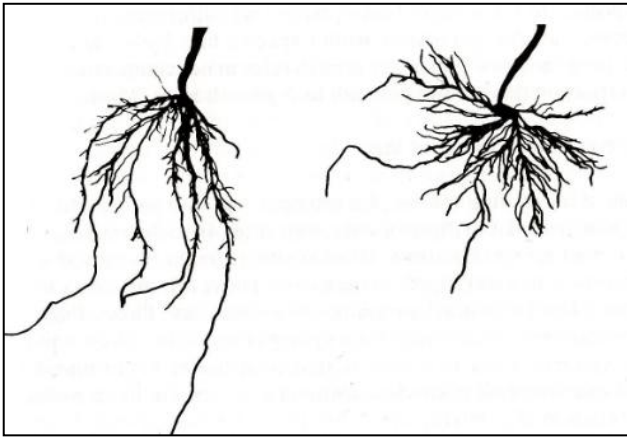
Een van de verschillen tussen wortels die groeien in grond of substraat en wortels die groeien in voedingsoplossing is de weerstand die wortels ondervinden om door het medium te groeien. Dit wordt de indringweerstand genoemd.

De indringweerstand wordt gemeten met een penetrometer. Voor substraten blijkt er een relatie te bestaan tussen de grofheid van het materiaal en de bulkdichtheid enerzijds en de indringweerstand anderzijds. Hoe grover het materiaal, hoe hoger de indringweerstand. Daarnaast lijkt het vochtgehalte invloed te hebben, met name bij venige materialen: bij lagere vochtgehalten neemt de indringweerstand toe.

Als gevolg van de krachten die een wortel moet uitoefenen om in poriën te groeien en door of langs substraatdeeltjes of –vezels te groeien is er een **afname van de lengtegroei van wortels** (Figuur 5), en is er in het algemeen een **toename van de worteldiameter** bij een toename van de indringweerstand. De **vorming van ethyleen** kan ook gestimuleerd zijn.

Dezelfde reacties kunnen wortels vertonen bij het bereiken van barrières zoals de rand of onderzijde van een pot of container. Een geringer potvolume zal deze reacties dan ook sneller vertonen. Planten die gegroeid zijn in **kleinere potten** kunnen vaak **een geringer bladoppervlak, veranderde waterhuishouding, verminderde gasuitwisseling/fotosynthese, en veranderde drogestofallocatie en nutriëntenopname** vertonen (Hameed 1987, Peterson 1991, NeSmith 1993, Bar-Tal 1995, Ismail 1996, van Iersel 1997). Effecten van **ABA vorming** zouden hierbij een rol spelen (Carmi 1981). Bij het vergroten van het bewortelbaar volume verminderen of verdwijnen deze ‘Bonsai-effecten’ in het algemeen. Uit recenter onderzoek met tomaat (Shi et al 2007) bleek dat een goede zuurstofvoorziening de effecten zoals hierboven beschreven grotendeels teniet kon doen.

Deze problematiek kan vooral ook relevant zijn bij jong uitgangsmateriaal (NeSmith en Duval 1998).



*Figuur 5. Wortelstelsel van gerst gegroeid bij lage (links) en hoge(rechts) bulkdichtheid van grond.  
Bron: Scott-Russell 1977.*

## 2.3 Invloed van chemische factoren op wortelgroei

### 2.3.1 pH

De pH in het wortelmilieu is van belang omdat veel chemische en biologische processen er sterk afhankelijk van zijn. In eerste instantie wordt beschreven wat pH effecten in het wortelmilieu als uitwerking op de plant kunnen hebben. Onderscheid wordt hierbij gemaakt in directe en indirecte effecten van pH. Vervolgens worden de processen beschreven die de pH in het wortelmilieu kunnen beïnvloeden.

#### Effecten van pH

Fysiologische pH effecten treden over het algemeen niet op in het gebied bij teelt op voedingsoplossing of in substraat tussen pH 4 en 8. De zogenaamde indirecte effecten van de pH op planten zijn over het algemeen belangrijker dan de directe effecten.

#### Directe effecten pH

Beneden de pH 4 kan  $H^+$  het Ca in het celmembraan verdringen, waardoor deze niet meer semi-permeabel is. Een **afwijkend wortelbeeld (donkere worteltoppen en lateralen) en geringere strekking/groei bij lage pH** kunnen het gevolg van dit Ca-gebrek zijn. Ca-toevoeging kan de schadelijke effecten deels teniet doen. Verder kan er concurrentie tussen  $H^+$  en andere kationen in de opname (antagonisme) plaats vinden bij lage pH.

#### Indirecte effecten pH

In bodems kan de oplosbaarheid van bijvoorbeeld fosfaten, en oxides (aluminium, ijzer) sterk verhoogd worden door lagere pH's. Voor sommige elementen (bijvoorbeeld Al, Mn) kan dit leiden tot **toxische concentraties**. In steenwol speelt deze toxiciteit in veel geringere mate een rol. Toch zijn er duidelijke pH effecten bij steenwolteelt. Zo komt bij **lagere pH** meer  $H_2PO_4^-$  voor in vergelijking met  $HPO_4^{2-}$ . Aangezien 1-waardige ionen in het algemeen makkelijker worden opgenomen, wordt de P-opname beïnvloed door de pH. Effecten van **hogere pH** betreffen vooral de beschikbaarheid van sporenelementen. Zo is **de beschikbaarheid van Cu, Fe, Mn en Zn minder bij pH > 7**, waardoor productie-effecten kunnen ontstaan. Bij anjer en roos is gevonden dat productie-effecten al kunnen ontstaan zonder dat daadwerkelijke schadebeelden waarneembaar worden.

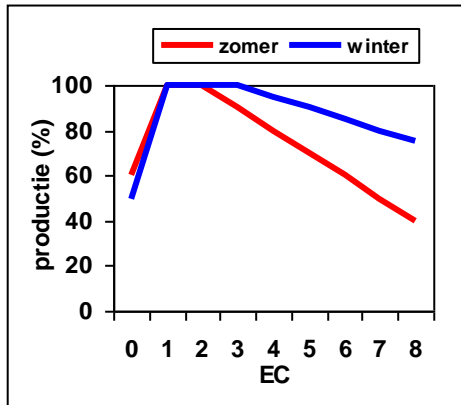
Bij steenwol kan de structuur verloren gaan bij pH waarden die langdurig lager zijn dan ca. 4. Dit heeft tot gevolg dat de steenwol 'papperig' kan worden, waardoor de plant minder stevigheid van het substraat krijgt, en het vochtgehalte kan gaan stijgen met mogelijke kans op zuurstofgebrek.

### 2.3.2 EC

#### Hoge EC/zoutschade

De concentratie van voedingselementen in het wortelmilieu heeft verschillende effecten. Hierbij moet zowel naar de totale concentratie van voedingselementen gekeken worden, als naar de samenstelling van de afzonderlijke ionen. Bij effecten van de totale concentratie van elementen spreken we van osmotische effecten. Vaak wordt in de tuinbouw de elektrische geleidbaarheid (EC) als maat gebruikt, omdat er – bij gebruik van uitsluitend anorganische meststoffen, een goed verband is tussen de osmotische waarde en de EC.

Effecten van de EC op gewassen vertonen in het algemeen het beeld als in Figuur 6: een verminderde groei, vooral bovengronds, boven een bepaalde drempelwaarde. Deze effecten kunnen verklaard worden door effecten op de waterhuishouding: een **verhoging van de EC zal de worteldruk verminderen** omdat het osmotische verschil tussen de bodemoplossing en de oplossing binnen de plant geringer wordt. De zuigkracht binnen de plant zal toenemen om aan de verdamping te kunnen voldoen, wat vaak maar ten dele wordt gecompenseerd door een verhoogde accumulatie van osmotisch actieve stoffen in de vacuole (osmoregulatie). Hierdoor zal **minder celstrekking** optreden, waardoor het bladoppervlak geringer wordt bij hogere EC. Omdat de fotosynthese minder geremd is dan de versgewichtstoename is er een **toename van het droge stof percentage** wel toe bij hogere EC. Hierdoor ontstaan meer 'harde' planten.



Figuur 6. Schematische relatie tussen productie en EC voor zomer en winterteelt.

De zoutgevoeligheid is onder meer afhankelijk van de instraling/verdamping, waardoor alle factoren die de verdamping beïnvloeden (bij voorbeeld  $CO_2$ , RV) ook de zoutgevoeligheid beïnvloeden. De zoutgevoeligheid in de zomer is dan ook hoger dan in de winter.

Wat betreft de wortelgroei: deze kan minder worden beïnvloed dan het bovengrondse deel bij zoutovermaat. Dit is vergelijkbaar met het effect van watergebrek: een **verlaging van de spruit-wortelverhouding**. Directe groeiremming van wortels bij hoge EC kan echter juist ook optreden, b.v. rond kunstmestkorrels of b.v. bij Phalaenopsis (Figuur 7).



Figuur 7. Bij Phalaenopsis kan waarschijnlijk als gevolg van zoutschade wortelafsterving optreden.

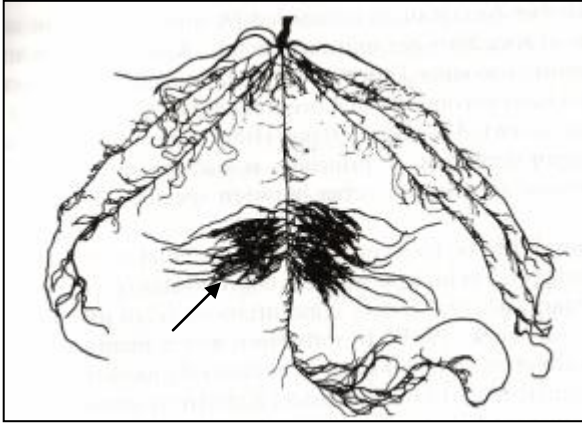
#### Lage EC/mineralengebrek

Bij lage EC-waarden ontstaat net als bij hoge EC waarden normaal gesproken ook een **lagere spruit-wortel verhouding** (Figuur 8). Dit 'zoeken' van de wortels is vaak het gevolg van een verhoogde lengtegroei van de wortels.



Figuur 8. Een lagere spruit-wortelverhouding als gevolg van mineralengebrek (in dit geval stikstofgebrek). Bron: onbekend

Ook is bekend dat bij b.v. fosfaatgebrek **langere haarwortels** gevormd worden. Wanneer bij dergelijke wortels gegroeid onder arme omstandigheden lokaal meststoffen worden toegediend wordt de zijwortelvorming juist gestimuleerd (Figuur 9).



*Figuur 9. Het effect van lokale toediening van meststoffen (zie pijl) heeft bij een overigens gebrekkige mineralenvoorziening een sterke zijwortelvorming tot gevolg. Bron: Marshner 1995.*

## 2.4 Belang van goede beworteling/wortelfunctie

Wortels zijn van belang voor verankering, water- en voedingsopname, productie van plantehormonen, weerstand tegen schadelijke stoffen en pathogenen en soms opslag van reservestoffen. In bovenstaande paragrafen is kort weergegeven welke fysische en chemische factoren de wortelgroei negatief kunnen beïnvloeden. De vraag is wel in hoeverre een verminderde wortelgroei een negatief effect heeft op de productie en/of kwaliteit van het te verkopen product. M.a.w. wat zijn de eventuele negatieve effecten van een verminderde wortelgroei? Deze vraag is niet in zijn algemeenheid te beantwoorden. Voor een aantal gewassen (m.n. potplanten) zal een verminderde wortelgroei kunnen betekenen dat de **verankering** negatief beïnvloed wordt. Zo is in de praktijk bekend dat een hoge EC bij Phalaenopsis de wortelgroei negatief beïnvloedt, waardoor de planten minder stevig in de pot kunnen staan.

Bij roos is in een proef met verschillende substraten gebleken dat een mindere beworteling in grof perliet (als gevolg van een hogere indringweerstand?) gepaard ging met een **lagere takproductie**. Mogelijk dat bij een verminderde wortelvorming de scheutuitloop ook verminderd is omdat de cytokininen die hiervoor (mede-)verantwoordelijk zijn in de wortels (m.n. de wortelpunten) gevormd worden.

Bij gewassen met een potentieel hoge verdamping zoals vruchtgroenten zal een probleem met de wortelfunctie zich hoogstwaarschijnlijk uiten in **problemen met de waterhuishouding**, zoals in 2.2.2 beschreven, waardoor de groei c.q. productie negatief beïnvloed kan zijn of fysiogene afwijkingen zoals **droogrand** optreden.

Een verminderde wortelgroei kan invloed hebben op de opname van nutriënten. Omdat de wortelpunten van belang zijn voor de opname van calcium (Scott-Russell 1977), kunnen bij een verminderde wortelvorming **calcium-gerelateerde kwaliteitsproblemen** optreden, zeker als gelijktijdig de wateropname geremd is.

### 3. Meetmethoden en het wortelmilieu

In Tabel 3 is een beknopt overzicht gegeven van meetapparatuur en meetmethoden zoals deze momenteel beschikbaar zijn en gebruikt worden voor metingen in het wortelmilieu enerzijds, en wortelgroei en –activiteit anderzijds. Een uitgebreider overzicht van meetmethoden m.b.t. wortelgroei en –activiteit wordt gegeven in Böhm (1979) en in Smit e.a. (2000). Fysische, chemische en biologische analysemethoden zoals deze voor tuinbouwkundige media gebruikt worden zijn beschreven in Raviv en Lieth (2008).

#### **Fysische parameters wortelmilieu**

In de tuinbouw worden fysische laboratoriummeetmethoden voornamelijk gebruikt ter karakterisering en beoordeling van substraten. Dit zal normaal gesproken niet gedurende de teelt plaats vinden. Er is dan ook weinig informatie beschikbaar over verandering van fysische eigenschappen van het groeimedium gedurende de teelt als gevolg van wortelgroei, degradatie, inklink etc. De laatste jaren wordt er wel meer gebruik gemaakt van sensoren die inzicht geven in de dynamiek van het vochtgehalte en zuurstofgehalte het in het wortelmilieu.

#### **Chemische parameters wortelmilieu**

Voor wat betreft de voedingstoestand wordt gedurende de diverse teelten in de glastuinbouw inzicht verkregen in de voedingstoestand van het wortelmilieu d.m.v. reguliere analyses van het substraat- of drainmonsters en/of d.m.v. (pot)grondanalyses. Verschillen tussen de monstertijdstippen of plaatselijke verschillen zijn hiermee echter niet vast te stellen. On-line metingen om de dynamiek in beeld te krijgen zijn er in feite alleen voor wat betreft de EC.

#### **Plantparameters: wortelactiviteit en -groei**

Meetmethoden die inzicht geven in de omvang, activiteit, en/of de kwaliteit van het aanwezige wortelgestel zijn gebrekkig, bewerkelijk en/of weinig specifiek. Suboptimale omstandigheden voor wortelgroei uiten zich in eerste instantie in een veranderde wortelfysiologie, gevolgd door een verandering in wortelmorfologie c.q. wortelbeeld.

Daarnaast kan wortelactiviteit niet los gezien worden van de activiteit en omvang van het bovengronds gewas. Zo wordt de verdamping en met de waterhuishouding verband houdende meetparameters als bladdikte en bladtemperatuur uiteraard niet alleen door de activiteit van de wortels bepaald, maar door alle weerstanden voor watertransport in het substraat-plant-atmosfeer systeem. Hetzelfde geldt voor nutriëntenopname: deze wordt grotendeels bepaald door de vraag van het gewas en het aanbod van nutriënten: de wortelactiviteit speelt hierbij een ondergeschikte, faciliterende rol.

In de wortels geïnduceerde verbindingen zoals het enzym alcoholdehydrogenase (ADH) of de hormonen ethyleen en ABA zijn wel bruikbaar gebleken als indicator voor zuurstof- en/of watergebrek in het wortelmilieu (Baas en Warmenhoven 1995, Hogan et al 2006). Deze laboratoriummethoden zijn echter destructief en nauwelijks geschikt om in de praktijk te gebruiken. Er kan dan ook gesteld worden dat de mogelijkheden om metingen aan wortelfysiologische parameters uit te voeren onder praktijkomstandigheden momenteel gebrekkig zijn.

Wat resteert zijn methoden om de omvang en verdeling van het wortelstelsel vast te leggen. Naast destructieve metingen – waarbij het substraat verwijderd wordt van de wortels – is het bij een gewas als Phalaenopsis mogelijk de wortelontwikkeling te volgen aan de buitenzijde van het substraat door de transparante pot. Dit is echter een uitzondering: bij bijna alle gewassen onttrekt de wortelgroei zich aan het oog en is het moeilijk niet-destructief kwantitatieve gegevens vast te leggen. Met elektrische impedantie spectroscopie zijn er wellicht wel mogelijkheden om de wortelontwikkeling continu te volgen (Tepo et al 2005).

meetparameter	beschikbare meetapparatuur/-methoden praktijk	Labmethoden
zuurstof	capacitieve vochtsensoren, TDR, O <sub>2</sub> sensor	ethyleen, ADH wortels
Waterbeschikbaarheid, vochtgehalte	capacitieve vochtsensoren, tensiometer	fysische analyse substraat, ABA
	bladdiktesensor, porometer, planttemperatuur, weegoot (verdamping)	
indringweerstand	penetrometer	ethyleen
worteltemperatuur	Temp. Sensoren	
pH	pH sensor	substraat-/gewasanalyse
mineralenbeschikbaarheid	capacitieve vochtsensor/EC	substraat-/gewasanalyse, N-vastlegging sustraat, CEC
overige fytotoxiciteit		biotoets
bovengrondse gewasgroei/-activiteit	fotosynthese, fluorescentie, bladoppervlak, lichtonderschepping	vers-drooggewicht
wortelgroei, -patroon		gewicht, spijkerplank, (mini)rhizotron, endoscoop, NMR
wortelactiviteit	verdamping, wortelrespiratie, nutriëntenopname, worteldruk, ratio NAD/NADH, ATP	Gewasanalyse, isotopenstudies,

Tabel 3. Overzicht van meetapparatuur en meetmethoden die gebruikt worden om meer inzicht in het wortelmilieu en wortelfunctioneren te verkrijgen.

## 4. Inventarisatie telers

### 4.1 Gerbera

#### Teeltsubstraat en watergift

Gerberateelt vindt plaats op zowel steenwolmatten als in potten. In potten wordt gebruik gemaakt van verschillende substraten, variërend van steenwolblokken, growcubes maar ook kokos en veenmos. De geïnterviewde teler maakt gebruik van potten met steenwolblokken, met een volume van ca. 2,6 liter en een hoogte van 15 cm. De teler meldt dat indien gebruik wordt gemaakt van micropluggen de totale opkweek 1 week korter verloopt. De gebruikte steenwol is horizontaal gelaagd, wat een betere waterverdeling op moet leveren. Er is een kleine meerproductie geteld.

Bij de geïnterviewde teler vindt watergift plaats via druppelaars waarbij 1 druppelaar per pot is geplaatst. Er wordt een vochtgehalte gerealiseerd van 58 tot 73%. In de winterperiode wordt 's ochtends 3 tot 4 beurten van 80-100 ml gegeven. In de zomer is dit 8 tot 10 beurten waarbij extra beurten worden gegeven op instraling met tussenpozen van 45 minuten. Er wordt, afhankelijk van het jaargetijde, 's middags op tijd gestopt met water geven. Jonge planten krijgen hetzelfde watergeefregime als oude planten. Het idee is dat een speciaal watergeefregime voor jonge planten weinig effect heeft, en bovendien onpraktisch is.

De recirculatie is nagenoeg 100% en jaarrond wordt een drain van 40-50% gerealiseerd.

#### Vragen m.b.t. wortelmilieu

In de praktijk zijn er vragen over de verlengde opkweek. Het voordeel van de verlengde opkweek is dat het oude gewas in de voorzomer langer kan blijven staan. Toch zijn er geluiden dat een oudere plant (verlengde opkweek), indien hij wordt overgebracht van opweker naar teler, meer moeite heeft met een vlotte doorgroei, dan een jongere plant. Ook vertelde de gerbera teler dat de start van de teelt in de winter lastiger was dan in het voorjaar, of zomer. 's Winters groeien de planten langzamer weg. Dit gebeurt in de praktijk dan ook minimaal.

De teler liet ook nog planten zien op de tuin, en toonde wortels van enkele Gerbera soorten (een "gewone" mini, de grootste minisoort, en een grootbloemige). Het viel op dat kleinbloemigen een verfijnder wortelstelsel hadden dan grootbloemigen (Figuur 10). Verder was het opvallend dat de wortels sowieso behoorlijk bruin waren, en bij de grootbloemige veelal aan de buitenkant van het substraat zaten. Grootbloemigen hebben volgens de teler van nature een grover wortelgestel.

De teler vertelde verder dat bij een aantal bedrijven die op kokos telen een proef ligt, waaruit zou blijken dat wanneer planten bij de kwekerij zelf direct op het substraat worden gezet een betere start op zou leveren. Het zou kunnen zijn dat een (oudere) plant uit de verlengde opkweek meer moeite heeft met een vlotte doorgroei dan een jongere plant.

Bij *steenwol* ligt dit anders, en is het direct planten op de tuin van jonge planten op pluggen niet echt succesvol.





Figuur 10. Wortelstelsel van gerbera minisoort (links) en grootbloemig (rechts)

### Monitoring

In het algemeen worden er bij Gerberateelten weinig metingen aan voor het wortelmilieu relevante parameters verricht. Zeker online metingen worden nog nauwelijks uitgevoerd. Ook de geïnterviewde teler voert geen on-line WET-metingen uit (watergehalte, EC en temperatuur). Wel wordt de temperatuur in één pot gemeten. Elke twee weken vindt een drainwater analyse plaats.

## 4.2 Chrysant

Er zijn interviews gehouden bij een bedrijf dat stekken produceert, en een bedrijf dat zich richt op de veredeling/vermeerdering. De veredelaar/vermeerderaar heeft ook een eigen productieteelt.

### Teeltsubstraat en watergift

Chrysant is op een enkele uitzondering na momenteel nog steeds vollegrondsteelt en vindt dus niet op substraat plaats. De bekendste uitzondering is Mobyflowers waar het gehele teeltproces van onbewortelde stek tot productie plaatsvindt op een mobiel teeltsysteem. Aangezien de waterremissie uit de kas moet worden teruggebracht, wordt gezocht naar alternatieven voor volle grond. De geïnterviewde veredelaar/vermeerderaar heeft zijn twijfels over teelt op water omdat dit een kostbaar concept is, en minder robuust dan teelt op substraat. Tevens gaf hij aan dat de arbeidsbesparing door de automatisering wordt overschat: er moet nl. goed opgeleid, dus duurder personeel rondlopen om de benodigde mechanisatie op betrouwbare wijze draaiende te houden.

De vermeerderaar/veredelaar gaf aan wel perspectief te zien voor een alternatief voor volle grond, waarbij de gehele kas wordt voorzien van herbruikbare substraten. Hierbij moet het substraat op een ondergrond liggen zodat de drain voor 100% is op te vangen. Tevens ziet de teler kans op verbeterde productie als gebruik zal worden gemaakt van uniformer luchtiger substraat met een betere lucht/water verhouding. In de volle grond gaat de wortel momenteel 60 to 70 cm diep.

### Beworteld stek

Uit de interviews komt naar voren dat de start van de teelt heel kritisch kan zijn, met name het inwortelen van de bewortelde stek, nadat het is uitgezet in de volle grond. De vermeerderaar haalt zijn onbewortelde stek uit het buitenland. De bewortelde stek wordt vervolgens in perspotjes aan de klant geleverd. Het perspotje is verre van optimaal voor de wortelfysiologie maar financieel aantrekkelijk, en geschikt voor mechanisatie en handling.

### Vragen met betrekking tot het wortelmilieu

Alternatief voor de perspot in relatie tot economische aspecten

Aangezien de winstmarge per bewortelde stek laag ligt, mogen de kosten voor een alternatief voor een perspot niet te hoog zijn. Een kostenverhoging van 0,5 cent/pot is al veel. Het is mogelijk om een luchtiger pot te fabriceren die 5 tot maximaal 10% meer opbrengst geeft maar dit rendeert nog amper. Een ander voordeel van het perspotje is dat het biologisch afbreekbaar is. De vermeerderaar had de

afgelopen jaren al vele alternatieven zien langs komen voor de perspot (oasis, perliet, verlijmde potten etc), maar die concepten bleken het stuk voor stuk niet te halen (te duur, biologisch niet afbreekbaar etc.). Dus hij verwacht weinig van onderzoek op dit gebied.

### **Monitoring en sturing**

Watergehaltes worden niet gemonitord. Wel worden er op gezette tijden grondmonsters genomen. Evenals bij Gerbera wordt dus weinig gekeken naar ondergrondse parameters. Hier wordt dus ook niet op (bij)gestuurd.

## **4.3 Phalaenopsis**

### **Teeltsubstraat en watergift**

Phalaenopsis wordt bijna volledig op bark van Pinus pinaster (fractie 1 van 7-12 mm en fractie 2 van 12-18 mm) gemengd met sphagnum 1-3 kg/m<sup>3</sup> geteeld. Deze mengsels worden gebruikt omdat Phalaenopsis bij te vochtige omstandigheden problemen kan krijgen met wortelrot, potworm en uitval bovengronds (Pseudomonas). Bark bevat daarom een zeer hoog luchtgehalte van 60-70% ; het beschikbaar water is daarentegen zeer gering. De watergift is in vergelijking met andere gewassen ook vrij laag: 12-14 l/m<sup>2</sup> verdeeld over 1-4 beurten per week. Omdat Phalaenopsis gevoelig is voor hoge EC-waarden wordt bovendoor berekend om zoutophoping boven in het substraat tegen te gaan.

### **Vragen m.b.t. wortelmilieu**

Bij een excursiegroep van Phalaenopsistelers is geïnformeerd naar vragen die leven m.b.t. wortelgroei en wortelafwijkingen. Vragen die leefden hadden vooral betrekking op de uiterlijke afwijkingen die soms signaleerd werden:

- Wat betekenen kleine zwarte wortelpuntjes?
- wat betekenen bruin/oranje vlekjes op de wortels, en stompe punten
- wat is de oorzaak van snotwortels?
- hoe ziet vraatschade van potworm of Sciara larven eruit en wat kan ertegen gedaan worden?
- wat bepaalt of een wortel dun of dik wordt en wat is beter?

Een probleem dat ook genoemd is betreft het 'overwortelen' van pot naar pot, waardoor het wijder zetten of oogsten bemoeilijkt kan worden. De vraag is of deze overworteling vermeden kan worden. Het overwortelen is ook een probleem bij het jonge plantmateriaal als overgeschakeld wordt naar pluggen: ook hier kunnen de wortels horizontaal groeien naar de buurplanten, waardoor eventuele sortering van individuele pluggen bemoeilijkt wordt. Een overstap naar uitgangsmateriaal in pluggen zou een verbetering kunnen betekenen door meer uniformiteit van de planten, een snellere weggroei na oppotten, en de mogelijkheid voor automatiseren van het oppotten. Momenteel wordt handmatig opgepot hetgeen niet alleen arbeidsintensief is, maar soms ook gepaard gaat met het beschadigen (knakken) van de wortels. Een vraag is in hoeverre dit nadelig is.

### **Monitoring**

Het barksubstraat heeft als nadeel dat door de grote harde delen een vochtmeting door middel van sensoren moeilijk uitvoerbaar is. Daarnaast geeft een 1:1.5 volume extract erg lage waarden. Een speciaal ontwikkelde substraatvochtmethode is beter geschikt maar vereist een redelijke hoeveelheid (3l) substraat per monster. Veelal wordt daarom gewerkt met metingen van de EC en de pH van het drainwater na een watergift.

## **4.4 Conclusies na inventarisatie telers**

In de interviews met de stek- en vermeerderingsbedrijven bij chrysanthe is naar voren gekomen dat het succes van de uit/doorgroei van beworteld stek sterk afhankelijk is van de omstandigheden waarin dit plaatsvindt. Wanneer de verschillen in teeltomstandigheden bij de stekbedrijven wezenlijk verschillen met die bij de productieteler kunnen problemen optreden die zich uiten in aantastig door Pythium. Hierbij lijkt de bodemvochtigheid in combinatie met het klimaat een doorslaggevende rol te spelen. Deels vergelijkbaar is de situatie bij Gerbera, waarbij de planten vanuit de verlengde opkweek een groeidip kunnen krijgen wanneer deze bij de productieteler worden uitgezet. Mogelijke oorzaken zijn een ander watergeeftregime en een ander (micro)klimaat bij het opkweekbedrijf.

Ook bij Phalaenopsis is de overgang van plantenleverancier naar teler een moeilijke fase, te meer omdat hierbij de wortels overgeplant worden in een nieuw medium. **Hierbij lijken de water- en nutriëntenbeschikbaarheid voor de wortels en het (micro-)klimaat eveneens een doorslaggevende rol te spelen.**

Na de overgangsfase en het aanslaan van de planten kunnen er – gewasafhankelijk - wel nog problemen met de wortelgroei ontstaan. Voor wat betreft de chemische beperkende factoren (zie 2.3) kan door middel van analyses van het wortelmilieu vaak nog wel bijgestuurd worden door aanpassing van de voedingsoplossing, de EC of de watergift c.q. doorspoelen. Bijsturen op de fysische factoren water- en zuurstofbeschikbaarheid (zie 2.2) is een stuk lastiger, ook al omdat metingen hierbij nog niet algemeen gebruikt worden, of niet bruikbaar zijn. **Toch wordt algemeen gesteld dat gedurende de teelt zo gelijk mogelijke (constante) omstandigheden voor wat betreft vochtvoorziening van belang zijn. De mening heerst dat wortels zich hieraan beter kunnen aanpassen dan aan wisselende omstandigheden.** Het niet (goed) kunnen monitoren van de omstandigheden maakt dat regelen op constante omstandigheden momenteel echter niet goed mogelijk is, waardoor onvermijdelijk (grote) fluctuaties optreden in water- en zuurstofbeschikbaarheid.

## 5. Samenvatting en aanbevelingen

In deze consultancy is de focus gelegd op het functioneren van de wortels in het algemeen, en in het bijzonder wanneer wordt geteeld op substraten.

Substraatteelt wijkt af van grondteelt door het gelimiteerde substraatvolume per plant. Dit maakt dat de dynamiek in beschikbaarheid van zuurstof, water en nutriënten groter is dan in grondteelt, en dat wortels snel beperkt worden in hun groeiomstandigheden. In Hoofdstuk 2 is een beknopt overzicht gegeven van de gewasreacties die dan kunnen optreden als gevolg van veranderingen in deze fysische en chemische factoren in het wortelmilieu.

Hoewel in het algemeen wortels zich kunnen aanpassen aan veranderde omstandigheden kunnen uiteindelijk toch ongewenste effecten voor geteelde producten ontstaan: de verankering kan onvoldoende zijn, er kunnen problemen met de waterhuishouding optreden, de productie kan negatief beïnvloed zijn en/of er kunnen voedings-gerelateerde problemen ontstaan.

Hierbij kan een rol spelen dat aanpassing tijd kost: wanneer er plotseling grote veranderingen optreden in de wortelomgeving heeft de plant tijd nodig om het wortel aan de nieuwe situatie aan te passen met een groeidip als gevolg. Uit de inventarisatie met telers en plantenleveranciers blijkt dit onder meer voor te kunnen komen bij de startfase van de teelt, direct na planten. De veranderingen in (micro-)klimaat, onder meer door een lagere plantdichtheid, in combinatie met de inworteling in nieuw substraat kunnen voor een niet-uniforme weggroei zorgen.

Later in de teelt blijft het wortelfunctioneren en de wortelgroei voornamelijk het karakter houden van een 'black box': als de wortels al zichtbaar zijn, dan worden er soms afwijkingen zoals verkleuringen geconstateerd, maar de oorzaken hiervan zijn vaak niet te duiden.

Hierbij speelt dat de meetmethoden voor het wortelmilieu nog beperkt zijn (Hoofdstuk 3) en/of weinig toegepast, waardoor een relatie tussen wortelafwijking en omgevingsfactor ook vaak moeilijk te trekken is.

Uit de bevindingen komen we verder tot de volgende kennisvragen:

t.a.v. dynamiek in water/luchtverhouding:

- Zorgt een stabiel vochtgehalte zonder grote fluctuaties voor de beste wortelgroei en – activiteit?
- Is er een optimaal vochtgehalte te benoemen, en zo ja, hoe kunnen we dat handhaven?
- In hoeverre passen wortels zich aan bij een plotseling sterk veranderend wortelmilieu (b.v. verhoging vochtgehalte), en hoe snel gebeurt dit?

t.a.v. substraateigenschappen

- wat is de rol van het bewortelbaar volume op de wortelgroei en –activiteit?
- wat is de rol van de indringweerstand op de wortelgroei en –activiteit?
- Zijn er aanpassingen mogelijk in het substraat waardoor de verticale gradiënt in lucht/water verhouding verminderd wordt.
- In hoeverre veranderen wortels de fysische eigenschappen van het substraat in de loop van de teelt, en wat is het gevolg?

t.a.v. het functioneren/groeien van wortels o.a. in relatie tot bovengrondse aspecten

- Is de wortelgroei te stimuleren, en zo ja, wat zijn hiervan de bovengrondse effecten?
- hoeveel wortels heeft een gewas daadwerkelijk nodig?
- Zijn er indicatoren te ontwikkelen voor de (metabolische) wortelactiviteit ?
- wat is de activiteit van de zichtbaar verschillende wortels (lucht- en waterwortels)?
- Zijn problemen met wortelgroei vroegtijdig te detecteren (b.v. bovengrondse plantreactie)?

Om een antwoord te geven op bovenstaande vragen wordt voorgesteld onderzoek op te starten naar de invloed van de dynamiek in water/luchtverhouding (stabiele vochtgehaltenes versus wisselingen) en de invloed van de substraateigenschappen (aanpassingen verticale gradiënt) op de groei, activiteit en morfologie van het wortelgestel, en op de groei en kwaliteit bovengronds. Hierbij wordt voorgesteld de zogenaamde split-root techniek in te zetten als hulpmiddel om het aanpassingsvermogen van de wortels nader te onderzoeken.

## 6. Geraadpleegde bronnen

- Baas R, Warmenhoven MG 1995. Alcoholdehydrogenase indicating oxygen deficiency in chrysanthemum grown in mineral media. *Acta Hort.* 401: 273-282.
- Bar-Tal A, Feigin A, Sheinfeld S, Rosenberg R, Sternbaum B, Rylski I, Pressman E 1995. Root restriction and N-NO<sub>3</sub> solution concentration effects on nutrient uptake, transpiration and dry matter production of tomato. *Scientia Horticulturae* 63 (3-4): 195-208.
- Böhm W 1979. Methods of studying root systems. *Ecological studies* 33. Springer.
- Carmi A 1981. Growth, water transport and transpiration in root-restricted plants of bean, and their relation to abscisic acid accumulation. *Plant Science* 107: 69-76.
- Hameed MA, Reid JB, Rowe RN 1987. Root confinement and its effects on the water relations, growth and assimilate partitioning of tomato. *Annals of Botany* 59: 685-692.
- Hogan JD, Murray EE, Harrison MA 2006. Ethylene conditions as an indicator of stress conditions in hydroponically grown strawberries. *Scientia Hort.* 110: 311-316.
- Ismail MR, Noor KM 1996. Growth, water relations and physiological processes of startfruit (*Averrhoa carambola* L.) plants under root growth restriction. *Scientia Hort.* 66: 51-58.
- Kamminga 2009. Sturen op worteltemperatuur is nog een brug te ver. *Vakblad Bloemisterij* 10: 38-39.
- Liu A, Latimer JG 1995. Water relations and abscisic acid levels of watermelon as affected by rootin volume restriction. *J. Exp. Bot.* 46: 1011-1015.
- Marschner H 1995, Mineral nutrition of higher plants ISBN 0-12-473542-8
- NeSmith DS 1993. Influence of root restriction on two cultivars of summer squash (*Cucurbita pepo*). *J. Plant Nutrition* 16: 421-431.
- NeSmith D Scott, Duval JR 1998. The effect of caontainer size. *HortTechnology* 8(4).
- Raviv M, Lieth JH 2008. Soilless culture, theory and practice ISBN 978-0-444-52975-6.
- Repo T, Laukkanen J, Silvennoinen 2005. Measurement of the tree root growth using electrical impedance spectroscopy. *Silva Fennica* 39(2): 159-166.
- Scott Russell R 1977. Plant root systems. Their function and interaction with the soil. ISBN 0-07-084068-7.
- Shi K, Hu W, Dong D, Zhou Y, Yu J 2007. Low O<sub>2</sub> supply is involved in the poor growth in root restricted plants of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Environm. Exp. Bot.* 61(2): 181-189.
- Smit AL, Bengough AG, Noordwijk M van, Pellerin S, Geijn SC van de (Eds) 2000. Root methods. A handbook. ISBN 3-540-66728-8.
- Van Iersel M 1997. Root restriction effects in growth and development of salvia (*Salvia repens* L.) *HortScience* 32: 1186-1190.
- Waisel Y, Amram E, Kafkafi U (Eds) 1991. Plant roots: the hidden half. Dekker New York.
- Wever G, Baas, Marques JC, Aanholt LJ van 2001. Gas exchange in growing media in horticulture. *Acta Hort.* 554: 149-155