

Stapsgewijs ontwerpen

Nieuwe methodiek voor het ontwerpen van teeltsystemen
met de Chrysantenteelt als voorbeeld



WAGENINGENUR
For quality of life



Colofon

Auteurs: Monique Jansen (ZLTO)
Tycho Vermeulen
Chris Blok
Rashied Khodabaks

Financiers: Agentschap NL
Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie

Emissieloze tuinbouw vraagt om doorbraak

Het ontwerpen van een geheel nieuw teeltsysteem is complex. Het samenspel tussen levende organismen, techniek, voedingssturing en plantgezondheid maakt de ontwikkeling lastig. Toch zijn er voldoende redenen om nieuwe teeltsystemen te ontwikkelen. Voorbeelden hiervan zijn energiegebruik en de noodzaak om te komen tot een nagenoeg emissieloze tuinbouw in 2027. Deze laatste vergt alternatieven voor de huidige grondgebonden teeltwijze. Naast de 'bovengrondse' eisen voor het teeltsysteem zijn hier vooral de 'ondergrondse' voorwaarden cruciaal in het ontwerpproces. De geschiedenis leert dat juist hier veel fouten gemaakt worden. Het valt ook niet mee om een verregaand gemechaniseerde en kostenefficiënte teelt zoals de chrysantenteelt over te zetten op een nieuw teeltsysteem. Al sinds de jaren '70 zijn er onderzoeken gedaan om te komen tot een nieuw systeem. Hier en daar zijn kleine successen gehaald maar tot een doorbraak is het nog niet gekomen. Het ontwerpproces moest daarom onder de loop.



Een doorbraak in het proces

Het ontwerpen van een nieuw systeem vergt inzicht in, en overzicht van de voorwaarden uit een veelheid van kennisgebieden, zoals teelt, gewasbescherming, substraat, etcetera. In de technologische wetenschappen gebruikt men bij complexe ontwerp vragen de aanpak van Systematisch Ontwerpen. Deze ontwerpmethodieken worden bijvoorbeeld toegepast in de industrie, lucht- en ruimtevaart, defensie. De uitdaging was om met deze methodieken de vertaalslag te maken naar levende organismen. Bij het ontwerpen van een brug is beter bekend waaraan deze moet voldoen.

Zo moet er verkeer overheen kunnen rijden en moet er water onderdoor kunnen stromen. Voor een teeltsysteem ligt dat anders. Hoe zijn plantfysiologische eigenschappen te vertalen naar systeemeisen? En hoe vergelijk je eisen als rentabiliteit van een systeem en zuurstofgehalte bij de wortels met elkaar?

***Dat doe je door stapsgewijs,
oftewel systematisch te ontwerpen!***

Systematisch ontwerpen biedt de mogelijkheid om stapsgewijs steeds dieper in de materie te duiken. Het ontwerpproces wordt in drie cycli doorlopen waar bij elke ronde meer details naar boven komen. Op deze manier evolueert het ontwerp van abstracte wens tot een concrete uitvoering.

Het grootste voordeel van deze manier van werken is het inzichtelijk blijven van het ontwerpproces. De uitgangspunten worden vastgelegd evenals de oplossingen en de keuzes die gaandeweg zijn gemaakt. Dat verkleint de kans op ontwerpfouten omdat van tevoren vast komt te staan waaraan het ontwerp moet voldoen. Het steeds tussentijds evalueren van de resultaten maakt het mogelijk om vroegtijdig bij te sturen.



De drie cycli die daarbij worden gevolgd:

1. Van wens naar concept
2. Van concept naar systeembeschrijving
3. Van systeembeschrijving naar uitvoering

Tijdens elk van deze rondes worden dezelfde stappen doorlopen:

- a. Bepalen van de behoefte
- b. Benoemen doel en systeemeisen
- c. Opstellen functies en streefwaarden
- d. Alternatieve uitvoeringsvormen bedenken
- e. Selectie van alternatieve uitvoeringsvormen door toetsing aan streefwaarden
- f. Vormgeving

Functies en streefwaarden: Bij het nadenken over nieuwe concepten komt natuurlijk een vergelijking naar voren met het systeem dat vervangen moet worden. Daarom zijn er eigenschappen opgesteld waarop het nieuwe systeem beter zou moeten scoren zoals rentabiliteit, emissieresultaten, efficiëntie, arbeidsaspecten en het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen.

Alternatieven: Vervolgens worden alternatieven bedacht die voldoen aan de doelstelling en de eisen. Een systeem los van de ondergrond kreeg voor de chrysantenteelt en ook andere grondgebonden teelten, de voorkeur boven alternatieven zoals meer drainagebuizen en andere watergeefstrategieën.



Van concept naar systeembeschrijving

Het belangrijkste werk in deze ronde is het opstellen van de functies en streefwaarden. Dit zijn de specifieke en meetbare eisen op detailniveau waaraan het systeem moet voldoen. Dus een eigenschap als 'in het systeem mag geen zout ophopen', voldoet niet. Dit moet zijn: 'In de tijd en door het hele teeltcyclus mag de EC in het wortelmilieu niet meer dan 1 EC-punt fluctueren'. Op die manier worden streefwaarden meetbaar en voor iedereen te volgen.

Denken in systeemeisen

Het overzicht van teeltkundige streefwaarden is opgesteld door onderzoeksresultaten te vertalen naar kwantitatieve eisen die aan het systeem te stellen zijn. Twee voorbeelden:

- De kennis dat Pythium soorten die in de substraatteelten voorkomen boven de 25 graden actief zijn, leidt tot de eis om het water in het systeem onder deze temperatuur te houden.
- Dat substraat onderin erg nat is, waardoor op deze plaats zuurstofproblemen ontstaan, leidt tot de eis dat een goed substraat onderin meer dan 10% luchtgevulde ruimte moet hebben.

Het denken in systeemeisen geeft vervolgens ook inzicht in de kennishiaten die er nog zijn. Met puntsgewijs onderzoek worden hele specifieke eigenschappen onderzocht. Bij dergelijk onderzoek is het niet erg dat een teeltronde helemaal fout gaat, als maar geleerd is waarom het fout ging. In de volgende teeltronde moet de nieuwe kennis vertaald zijn naar concrete streefwaarden.

Ook zullen streefwaarden elkaar gaan beïnvloeden en deels uitsluiten. De eis om meer dan 10 keer per dag voeding te kunnen aanbieden is in uitvoering moeilijk te combineren met een groot buffervolume, en daarmee een robuust systeem. Het is dan aan de betrokkenen om een weging aan te brengen tussen de verschillende onderdelen: wat nemen we voor lief om er iets anders voor terug te krijgen? Of zien we systeemaanpassingen waardoor alle eisen gehaald worden.



Figuur: Een schematische voorstellingen van het systematisch doorlopen van het ontwerpproces



Voor het ontwikkelen van een teeltsysteem uit de grond voor chrysanten is onder meer gebruikgemaakt van een consortium van telers, toeleveranciers en experts op het gebied van gewasbescherming, plantfysiologie, watermanagement, substraat, financiën en voeding. Een dergelijk consortium heeft als kracht de aanwezigheid van veel praktijkervaring en de expertise vanuit Wageningen UR om vanuit de fysiologische basisprincipes te kunnen werken.

Van wens naar concept

Behoefte: Een nieuw systeem begint met een centrale doelstelling: **Welk probleem wil je oplossen, of welk doel wil je bereiken?** Deze centrale doelstelling is het resultaat van diverse overleggen met belanghebbenden zoals ondernemers, overheden, afnemers/consumenten en toeleveranciers. De centrale doelstelling bij de teeltsystemen los van de grond was het ontwerpen van economisch rendabele, 0-emissie teeltsystemen.

Systeemeisen: Bij deze doelstellingen horen randvoorwaarden (systeemeisen), die vanuit de groep belanghebbenden wordt aangedragen. Deze randvoorwaarden verschillen per product. Als de producteigenschappen niet veranderen (een chrysant blijft een chrysant), dan komen afnemers niet direct met aanvullende eisen. Maar als het systeem bijvoorbeeld het landschappelijke karakter van een teelt verandert, moeten wensen van partijen als de gemeente en omwonenden meegenomen worden om afwijzing achteraf te voorkomen. Het belangrijkste zijn echter de eisen van de ondernemer, die uiteindelijk met het nieuwe systeem moet gaan werken.

De lijst van streefwaarden

Functies en eisen eerste ontwerpcyclus (eisen aan het totale systeem)

PPP	Categorie	Systeemeis
Profit	Bedrijfskundig	rentabiliteit
		hoogte van investering
		terugverdiëntijd
		Leeftijd/Duurzaamheid
		robuust
Planet	Producteisen Milieu	opschaalbaar
		Kwaliteit
		Nutrienten
		Gewasbescherming
		Watergebruik
People	maatschappelijke acceptatie Consument Voedselveiligheid arbid	Duurzame materialen
		klimaateffect
		Esthetische waarde (ruimtelijke ordening)
		met nader onderzoek in te vullen
		Voedselveiligheid
		beter dan huidige arbeidsomstandigheden

Functies en eisen tweede ontwerpcyclus ('plantkundige eisen')

	Categorie	Functie
Plantgroei	Klimaat	biedt juiste luchtvochtigheid per teeltfase
		biedt juiste instraling per teeltfase
	Voeding	temperatuur wortelmilieu
		voedingsmilieu is stuurbaar
	Substraat	Voedingsgift ivm voldoende voedingsaanbod voor de plant bij maximale voedingsbehoefte
		Stuurbaarheid EC pH: Buffervolume (potentieel watervolume na uitdraineren)
		Ophoping van zouten in de top van het substraat na één teelt
		substraat voorkomt wortelontwikkeling niet
		substraat biedt een juiste vochtigheid aan de wortel
		Voorkomt verandering chemische eigenschappen
		voorkomt verandering van fysische eigenschappen
		uitsluiten van licht bij wortels (ivm wortelontwikkeling en voorkomen algengroei)
	uniforme groei	Symmetrische aanvoer voedingselementen op worteloppervlak (spreiding in: afstand tot afgiftepunt als maat voor interceptie door andere planten)
		Symmetrische afvoer (spreiding in: afstand tot drainpunt)
		symmetrische lichtverdeling
	wortelontwikkeling	vorstschade voorkomen door vochtige wortels (boomteelt)
		vermarktbaar product (boomteelt)
		vermarktbaar product (bollenteelt): substraat veroorzaakt geen schade bij de oogst
Ziekte-weerbaarheid	aanvulling watersystemen	Symetrische zuurstofvoorziening
		symetrische nutriëntenvoorziening (EC, pH)
	bovengronds ondergronds	temperatuur wortelmilieu
		voorkomt bladnat perioden die infectie mogelijk maken
		Reciculatie/ontsmettingscapaciteit per m ² per dag
		Systeem is ontsmetbaar
		systeem weert aaltjes
	plantgezondheid	zuurstof toelaten tot en met de onderste zone

* afhankelijk van het gewas kunnen sommige streefwaarden verschillen

Streefwaarde*

5% boven system to beat

< 30 Euro m²

< 5 jaar

10 jaar

kan 24 uur zonder monitoring

uitvoerbaar op 50 hectare

gewasspecifieke kwaliteitseisen (gewicht, lengte, uniformiteit, kleur/geur, nieuwe markten)

100 % recirculatie

0-emissie

< 50% van grondgebonden teelt

substraat herbruikbaar of grondstof voor ander rendabel proces

afval herbruikbaar of grondstof voor ander rendabel proces

met nader onderzoek in te vullen

met nader onderzoek in te vullen

met nader onderzoek in te vullen

risico's minimaal even beheersbaar als in reguliere systemen

met nader onderzoek in te vullen

Streefwaarde

bewortelingsfase of RV > 95%

LAI<4 tot sluiten gewas

< 25 C

> 10 Beurten per dag bij verdamping 1 l/m²

EC < 2,5 en pH < 6

< 15 liter water/m²

< 1 EC punt

inwortelweerstand < 400 kPa

hoogte >20-40% van pF 1/3 max. watergehalte

drainafvoer < 30 min

Vastlegging van elementen < 10 meq/l substraat

verloop in Bulkdichtheid < 10% kg/m³/teelt verhoging of verlaging

verloop in penetrometerwaarde < 10 % kPa verhoging of verlaging

verloop in zuurstof % (meetbuizen voor zuurstof) < 5% zuurstof verhoging of verlaging

verloop in % O.S (vervuiling/verslibbing) < 5% O.S. verhoging of verlaging

100% afscherming van licht

Variantie Coefficient < 10%

Variantie Coefficient < 10%

Variantie Coefficient < 10%

vochtfilm aan de binnenkant van de pot

planten slaan goed aan in de grond bij de klant (zand, klei)

scherpte substraat en weerstand van substraat bij oogsten (waarde met nader onderzoek in te vullen)

op alle plekken en ten alle tijd > 6 ppm zuurstof in het water

op alle plaatsen (en op elk moment) in het systeem dezelfde stroomsnelheid

< 25 C

volgroeid gewas < 1keer per dag nat

< 2 ltr.

stoombaar materiaal + arbeid, kosten en duur lager dan System to beat

voorkomt in spatten (hoogte 50 cm boven grond)

basin en recirculatiewater behandelbaar (UV of Hitte)

>15 % lucht in toplaag

> 5 % lucht in onderste cm

> 6 ppm O₂ in water

Respiratiewaarde (verteerbaarheid org. stof) < 20 mg O₂/kg/uur

Met de lijst van streefwaarden op zak kan het brainstormen beginnen. De systemen die bedacht worden krijgen elk een beoordeling op basis van de vastgestelde streefwaarden. Dit is ook het moment dat wordt gekeken of eventuele lage scores in een systeem te ondervangen zijn door het ontwerp hier en daar iets aan te passen. Het is hierbij noodzakelijk om telkens weer de gehele ontwerpcyclus door te lopen om steeds weer mogelijke knelpunten boven water te krijgen.

Uiteindelijk rollen er een paar systemen uit die voldoende hoog scoren. Deze gaan de laatste fase van het ontwerpen in. Het beoordelen van de systemen gebeurt door het gehele consortium. Bij het ontwerpen van chrysantensystemen kwam vanuit de ondernemers het verzoek om drie alternatieven aan te dragen die variëren in hun afstand tot de huidige praktijk:

- Direct inpasbaar in de huidige mechanisatie (Low-Tech) > diep grondbed
- Met de huidige mechanisatie, maar meer sturingsmogelijkheden (Mid-Tech) > zandbed
- Een meer toekomstgerichte opstelling (High-Tech) > cassettebed. zie kader resultaten.

Van systeembeschrijving naar uitvoering

Dit is het moment waarop technici aan de slag gaan om op basis van de schetsen een systeem te bouwen. Zij bepalen zaken als pompcapaciteiten, volumes van waterafgifte, de ligging van het bed en het steunmateriaal. Ter controle kan het technische ontwerp getoetst worden aan de wensen, functies en streefwaarden die in de eerste en tweede ontwerpcyclus benoemd zijn.

De systemen kunnen nu gebouwd en beproefd worden. Op basis van deze ervaringen, eventueel aangevuld met nieuwe kennis uit de literatuur, worden de drie ontwerpcycli nogmaals doorlopen. Voldoet het aan de verwachtingen op alle drie de abstractieniveaus? Waar zijn er eventueel aanpassingen nodig? Dit proces zal een aantal keren herhaald moeten worden. Telkens om te kijken naar nieuwe knelpunten en de aansluiting met de gestelde doelen.

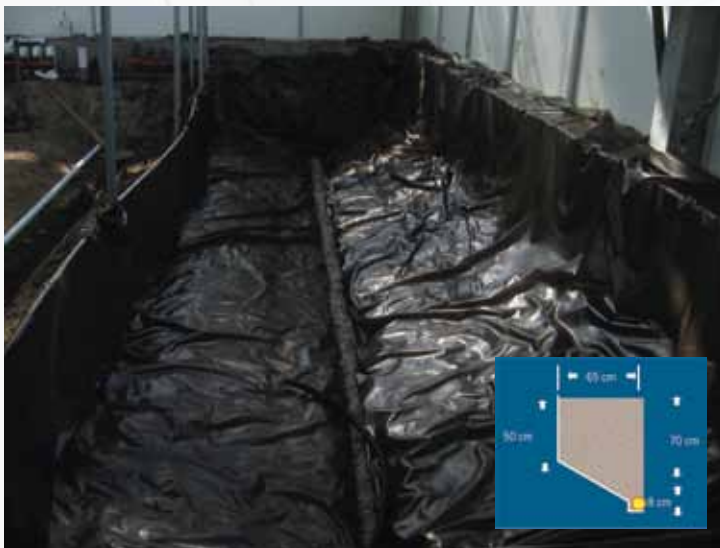


Resultaten bij 'chrysantenteelt op substraatbedden'

Uiteindelijk zijn er vijf systemen geschikt verklaard om op kleine schaal uit te proberen. In totaal hebben de vijf systemen vijf teeltrondes de tijd gehad om het succes te bewijzen.

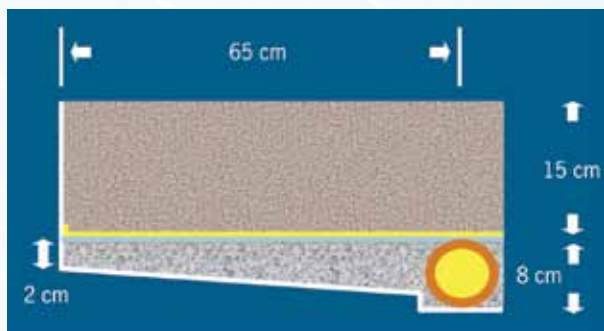
Diep grondbed

Dit is het systeem met de minste impact ten opzichte van de huidige teeltsystemen (Low-Tech). De kasgrond wordt tot 70 centimeter diepte uitgegraven. Midden in het 1.30 meter brede bed komt een goot voor de drainagebuis. Het afschot richting deze buis is 30 procent. Vervolgens komt er een stoombare, waterdichte folie op de grond te liggen. De drainagebuis gaat de goot in en de kasgrond gaat weer terug. Het watergeven gaat via een regenleiding.



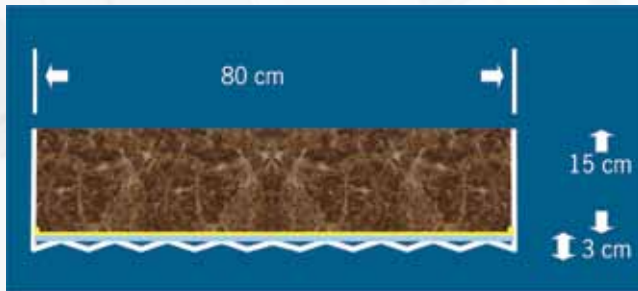
Zandbed

Het zandbed staat al wat meer van de huidige praktijk af (Mid-Tech). Voor dit systeem is de kasgrond 15 tot 20 centimeter afgegraven. Dan komt op de grond een folie en vervolgens in het midden van het bed een drainagebuis van 8 centimeter. De ondergrond loopt af richting de drainagebuis. Op de folie komen eerst kleikorrels met een dunne laag aan de buitenzijde van het bed en toenemend richting de drainagebuis. Op de kleikorrels ligt een bevoeiingsdoek met daarbovenop een antiworteldoek. Het systeem wordt afgevuuld met een zandlaag van 15-20 centimeter. Watergeven gebeurt middels de regeninstallatie aangevuld met eb en vloed. Hiervoor wordt de drainagebuis gebruikt. Als zand werd grof rivierzand gebruikt van 750 micrometer zonder enig organisch stof.



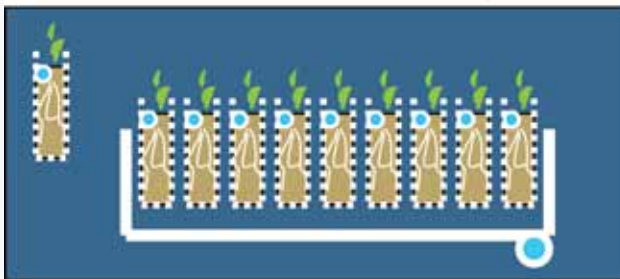
Veenbed

Voor het veenbed wordt een eb en vloed-tafel gebruikt (High-Tech). Hierin komt een laag van 25 centimeter veen. Het mengsel bestaat uit 40 procent veenfracties, 50 procent freesveen en 10 procent klei.



Cassettebedden (High-Tech)

Dit zijn smalle gootjes van 3 centimeter breed en gemaakt van geperforeerde aluminiumplaat (High-Tech). De smalle repen hangen aan de zijkanten van de eb en vloed-tafels en zijn verplaatsbaar. Om doorwortelen in de constructie te voorkomen, komt er anti-worteldoek in de gootjes voordat het veensubstraat erin gaat. Naast bevloeiing met eb/vloed zijn er ook cassettes met druppelbevloeiing aangelegd.



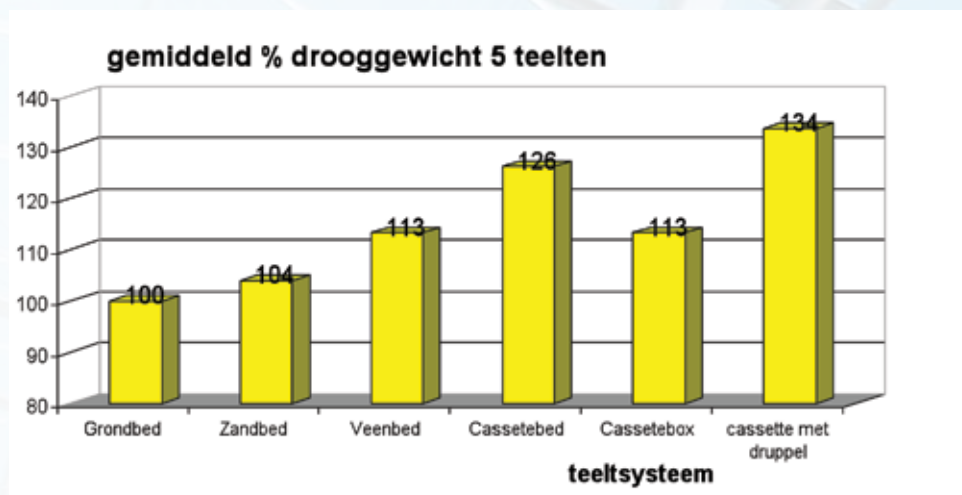
Cassettebox-systeem (High-Tech)

Een logische vervolgstap op het cassettebed is in plaats van langwerpig substraat een kleine box te maken. Elke plant staat in een apart bakje van 5 x 3 x 15 centimeter (lxbxd). Hierdoor is minder substraat nodig en kunnen de planten in het begin dichter bij elkaar komen te staan.



Resultaten

Gedurende 5 teelten zijn de drooggewichten bepaald. Het drooggewicht zegt iets over de assimilatie die de plant in het systeem heeft kunnen bereiken, en is daarmee de beste maat om verschillen tussen de systemen te bepalen. Het grondbed is op 100% gezet omdat het teeltkundig niet afwijkt van de reguliere teelt. Het zandbed scoort 4% hoger in groei. De veensystemen op eb/vloed laten zien dat er nog veel groeipotentie in de chrysant zit: 13% meer in het veenbed en de cassettebox en wel 26-34% meer groei in het cassettebed zonder of met druppelsysteem. Er werd steeds geteeld met het ras Euro (Dekker Chrysant).



De resultaten sluiten aan bij de hypothesen dat zand beter stuurbaar is dan de grondteelt - hier lijken echter nog slagen te maken door betere vochtvoorziening in het zand. Veen is een zeer goed medium, maar een veenbed beperkt de mogelijkheden voor voedingsverversing door het grote buffervolume in vergelijking met een cassettebed. De cassettebox schiet echter te ver door in volumebeperking, doordat de wortels aan de zijkant van de box uitdrogen. Tenslotte bevestigen de verschillen van cassettebed met en zonder druppelen dat er een ruime 5% groeiwinst te behalen is door te druppelen in plaats van met eb/vloed te werken.

Brede toepasbaarheid

De procesmatige aanpak waarmee een nieuw teeltsysteem voor chrysanten is ontwikkeld, is breder inzetbaar. Systematisch ontwerpen is een techniek die bij industriële ontwerpen veel wordt toepast. Voor de toepassing in de tuinbouw bleek echter een vertaalslag nodig. Het omzetten van plantfysiologische eigenschappen in meetbare gegevens, is nieuw. Het zetten van deze stap opent de deur voor toepassingen in ander onderzoek. Dat geldt niet alleen voor het uit de grond telen. Hier is, middels het onderzoek naar chrysant, al een goede aanzet gemaakt naar welke gegevens te kwantificeren zijn. Maar de aanpak van het kwantificeren en meetbaar maken van groeicondities voor levende organismen is de belangrijkste les en daarom ook toepasbaar voor andere ontwerpvragestukken.

Literatuurlijst:

Naslagwerk Methodisch Ontwerpen:

Van Henten, E.J., Bakker, J.C., Marcelis, L.F.M., van 't Ooster, A., Dekker, E., Stanghellini, C., Vanthoor, B., van Randerat B. and Westra, J. 2006. *The Adaptive Greenhouse – an Integrated Systems Approach to Developing Protected Cultivation Systems*. Acta Hort. 718:399-406.

Naslagwerk Chrysanten op substraat:

Vermeulen, T. 2009. *Literatuurstudie Chrysant los van de grond*.

Met specifieke aandacht voor de case MobyFlowers. Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk.

Naslagwerk ervaringen onderzoek 2009-2010:

Khodabaks R., Blok, C., 2011. *Chrysantenteelt op substraatbedden, teeltronde 1-5*.

Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk.

Druppelen is beter dan eb/vloed (8% beter)

Het volume water in het substraat is vooral bij eb/vloed bepalend voor de frequentie van voedingsverversing die aangeboden kan worden aan de plant.

Substraat moet altijd gezien worden als een kolom (een spons). De hoogte is afhankelijk van de vochtigheid die bereikt moet worden. Een te lage kolom is na een gietbeurt te nat en droogt te snel uit door verdamping.

De plant past zijn wortelgestel aan, aan het wortelmilieu. Verandering van dit milieu - droger, natter, ander water-niveau - maakt dat de plant opnieuw wortels moet maken.

Substraat moet fijn zijn in verband met steken

Stekken willen al actief worden voordat de wortels er zijn.

Zandbed is stoombaar met 0,5 m³/m² gas.



Begin van de teelt heeft gewas behoefte aan hogere EC dan later. EC niveau is afhankelijk van het substraat/substraatloos.

Onbewortelde stek moet nat zijn aan de onderkant anders droogt de stek in en verloopt beworteling moeilijk

Chrysant heeft last van zuurstofloosheid, daarom 10% luchtgevulde ruimte in de poriën. Bij kleine volumes substraat geeft het teveel lucht rond de substraatkolom echter verdroging van de wortels

Planten uniform water geven om uniforme groei te krijgen.

Planten mogen niet in elkaars afvalwater staan, dus: verticale drainage, en pas horizontale afvoer van drain als het andere planten niet meer beïnvloed.

Pythium is niet happy in grof zand of in grond met veel organisch stof. In stilstaand water en steriel, fijn substraat is er veel risico op pythium.

Meer informatie en contact met Wageningen UR Glastuinbouw

vestiging Bleiswijk

b Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
p Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
t 0317 485 606 f 010 522 5193
e glastuinbouw@wur.nl



Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie



Agentschap NL
Ministerie van Infrastructuur en Milieu