



A
2
B
94

Klei in potgrond en kwaliteit potplanten

Literatuuronderzoek

A. Bulle¹⁾, C. de Kreijl¹⁾, R. Postma²⁾, C.G.R. van Uffelen²⁾,
J.B.G.M. Verhagen³⁾ en E.J.W. Wattel - Koekkoek²⁾

¹⁾ Praktijkonderzoek Plant en Omgeving - Glastuinbouw

²⁾ Nutriënten Management Instituut NMI BV — Wageningen

³⁾ Stichting RHP

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving
Sector Glastuinbouw
November 2002

INTERN VERSLAG

© 2002 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving BV.
© 2002 Wageningen, NMI-BV
© 2002, RHP

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit is een vertrouwelijk document, uitsluitend bedoeld voor intern gebruik binnen PPO, NMI en RHP dan wel met toestemming door derden. Niets uit dit document mag worden gebruikt, vermenigvuldigd of verspreid voor extern gebruik.

Dit onderzoek is gefinancierd door Productschap Tuinbouw

PPO Projectnr. 420045

Productschap  Tuinbouw

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving
Sector Glastuinbouw

Adres : Bornsesteeg 47, Wageningen
: Postbus 167, 6700 AD Wageningen
Tel. : 0317 - 47 83 00
Fax : 0317 - 47 83 01
E-mail : info@ppo.dlo.nl
Internet : www.ppo.dlo.nl

Inhoudsopgave

| | | |
|------|--|----|
| 1 | Wat is klei? | 5 |
| 2 | De verschillende typen kleimineralen | 8 |
| 3 | Eigenschappen van klei | 11 |
| 3.1 | Invloed van klei op de beschikbaarheid van nutriënten | 11 |
| 3.2 | Invloed van klei op de beschikbaarheid van water | 15 |
| 3.3 | Invloed van klei op plantengroei | 19 |
| 4. | Invloed van substraat en voeding op groei en kwaliteit | 21 |
| 4.1. | Groei | 21 |
| 4.2. | Beheersen lengtegroei | 21 |
| 4.3. | Houdbaarheid | 22 |

1. Wat is klei?

In de literatuur en de praktijk worden verschillende definities voor klei gebruikt:

1. Klei is een bodemtype wat veel water vast kan houden en wat zacht en elastisch wordt op moment dat het nat wordt.
2. Klei is de groep bodemdeeltjes met een doorsnede kleiner dan twee duizendste millimeter.
3. Klei is een groep plaatvormige mineralen ('fyllosilicaten') in de bodem welke in hoge mate zorgt voor de eigenschappen zoals zijn genoemd onder punt 1. en grotendeels behoort tot de groep zoals gedefinieerd onder punt 2.

Deze studie richt zich met name op de derde omschrijving.

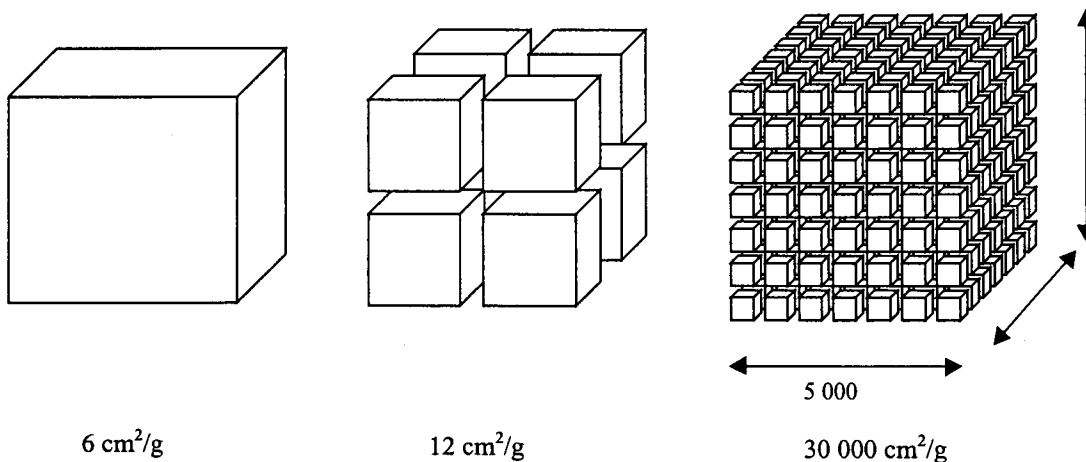
De specifieke eigenschappen van klei zijn het gevolg van twee factoren:

- a. Klei heeft een *groot specifiek oppervlak*, waar de term specifiek oppervlak slaat op het oppervlak van een bepaald volume of gewicht klei.
- b. De *chemische structuur* van klei is anders dan die van andere bestanddelen van de bodem als zand of organische stof.

Beide onderdelen zullen nader worden toegelicht.

a. Klei heeft een groot specifiek oppervlak

In het algemeen geldt dat hoe kleiner deeltjes zijn, hoe groter het specifieke oppervlak is. Dat is goed te illustreren aan de hand van een voorbeeld (Figuur 1): we gaan uit van een kubus van één kubieke centimeter groot en één gram zwaar. Wanneer deze kubus in steeds kleinere kubussen wordt opgedeeld, krijgt dezelfde kubus een steeds groter oppervlak.

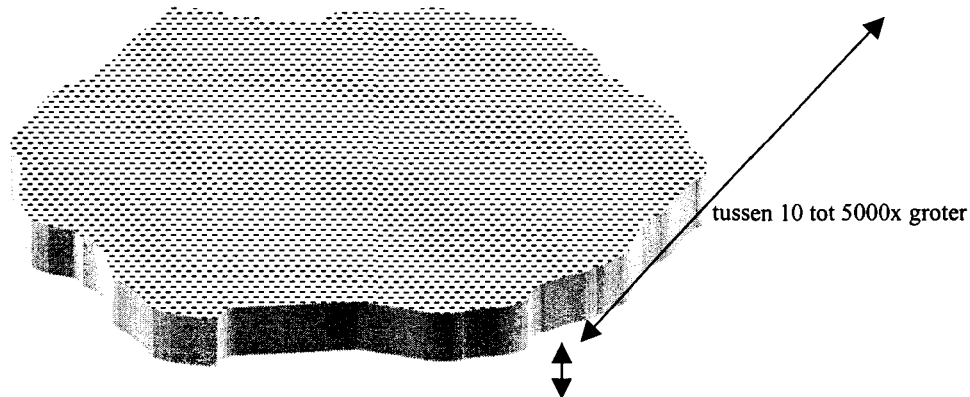


Figuur 1. Schematische weergave van de toename van het specifiek oppervlak met een afname van de deeltjes-grootte

Het is dus duidelijk dat hoe kleiner de deeltjes worden, hoe groter het specifiek oppervlak is. Dit geldt niet alleen voor kubussen, maar ook voor elke willekeurige andere vorm. Voor klei geldt dat het specifieke oppervlak varieert tussen 5 en 800 vierkante *meter* per gram.

b. De structuur van het oppervlak en het omwisselcomplex

Kleideeltjes zijn plaatvormig, met de verhouding tussen oppervlak en dikte zoals bij een vel papier (Figuur 2).



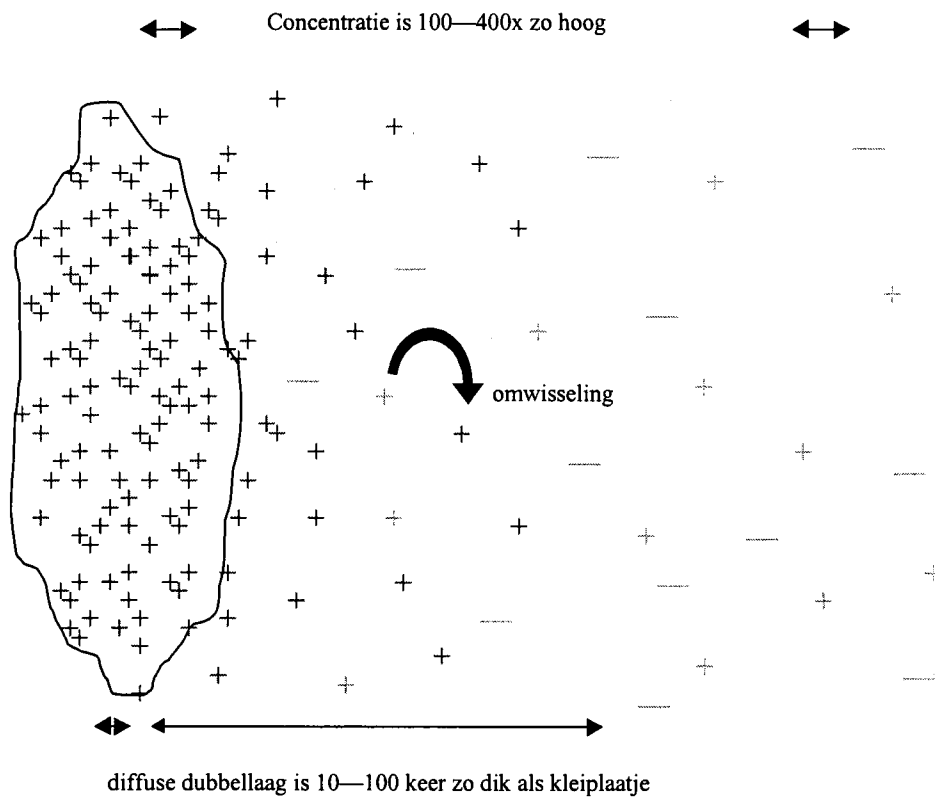
Figuur 2. Verhouding tussen oppervlak en dikte van kleiplaatjes.

De vlakken (dus de boven- en onderkant van het plaatje in bovenstaande figuur) zijn structureel negatief geladen. Als geheel moet een dergelijk kleiplaatje electroneutraal zijn. Dit wordt bereikt doordat de vlakken positief geladen deeltjes adsorberen, in het algemeen zijn dit ionen als calcium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K) en ammonium (NH_4).

Naast de genoemde nutriënten zijn kleimineralen altijd in contact met water (zelfs als een kleibodem op het oog droog en voor het gevoel hard is, zit er altijd nog water in). Dit water heeft gevolgen voor de wijze waarop de nutriënten op het oppervlak zitten. Deze wijze is het resultaat van een evenwicht tussen twee elkaar tegenwerkende krachten:

1. De nutriënten worden aangetrokken door de vlakken en hebben daardoor de neiging zich daar in hoge concentraties te verzamelen.
2. Nutriënten in oplossing hebben de neiging zich gelijkmatig over het aanwezige water te willen verdelen.

Op deze wijze ontstaat een verdeling welke bekend staat als de "diffuse dubbellaag": dichtbij de vlakken is de concentratie hoog, en de concentratie daalt naarmate de afstand tot de vlakken groter wordt (Figuur 3).



Figuur 3. Diffuse dubbellaag.

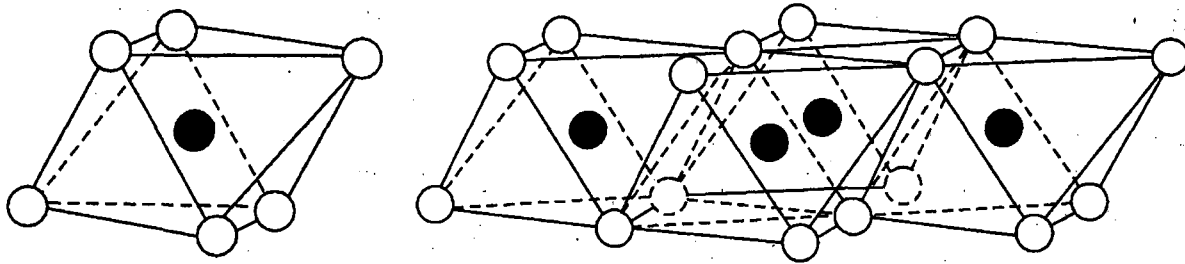
Het is niet zomaar mogelijk nutriënten uit de diffuse dubbellaag te onttrekken. Wanneer dat wel zou gebeuren verliest het kleimineraal met de dubbellaag zijn electroneutraliteit. Wel is het mogelijk nutriënten te wisselen zodat de neutraliteit gehandhaafd blijft: zo kan bijvoorbeeld kalium worden gewisseld voor calcium. Dit is het zogenaamde omwisselcomplex. De omwisselcapaciteit ervan wordt vaak aangeduid als *CEC*, hetgeen de afkorting is van "cation exchange capacity".

Naast klei heeft ook organische stof een relatief hoge CEC. De CEC van klei is echter het minst afhankelijk van de zuurgraad of pH-waarde in de grond. Bij vergelijking van de omwisselcapaciteit van verschillende materialen is het daarom van groot belang dat de omwisselcapaciteit bepaald is bij de zuurgraad waarin het zal worden toegepast.

2. De verschillende typen kleimineralen

Het is mogelijk om verschillende groepen of typen klei te onderscheiden waarin bepaalde eigenschappen meer of minder uitgesproken zijn dan in andere groepen. Echter alle klei-groepen vertonen het gedrag op basis waarvan tot bijmenging bij potgrond gekozen wordt.

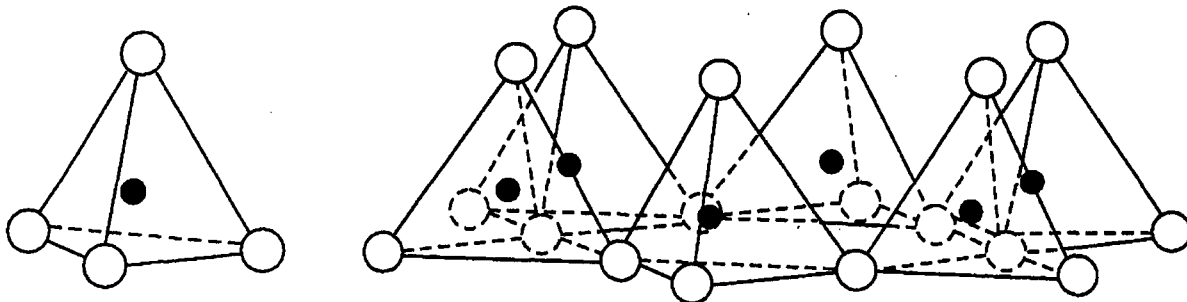
Kleideeltjes kunnen een plaatvorm aannemen omdat de platen uit meerdere lagen zijn opgebouwd. Dit levert de benodigde stevigheid voor een dergelijke structuur. Dit is vergelijkbaar met golfkarton. Golfkarton is stevig omdat een vlakke laag op een golvende laag is aangebracht. Alleen een golvende laag of alleen een vlakke laag zou veel minder stevig zijn dan de combinatie van die twee. Kleideeltjes zijn ook opgebouwd uit twee typen lagen. Deze twee typen zijn het gevolg van de verschillende "bouwstenen" waaruit de lagen zijn opgebouwd. In het ene geval wordt een laag gevormd uit "bouwstenen" van aluminium-hydroxide (Figuur 4).



Figuur 4. Aluminium-hydroxide octaëders.

Deze bouwstenen hebben de vorm van een "achtvlak" of octaeder. Een laag opgebouwd uit deze bouwstenen wordt dan ook wel de O-laag genoemd. De hydroxide groepen kunnen door opname van een H^+ ionen, bijv. bij $pH < 7$, een licht positieve lading krijgen.

Het andere type laag wordt gevormd uit "bouwstenen" van kiezel of silicium-oxide (Figuur 5).



Figuur 5. Silicium-oxide tetraëders.

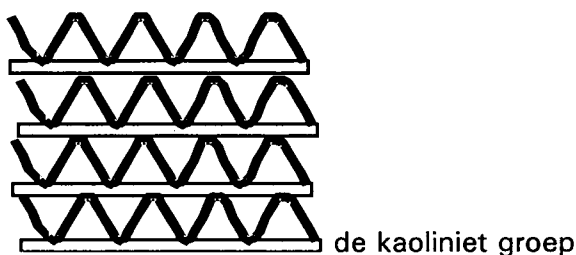
Deze bouwstenen hebben de vorm van een "viervlak" of tetraeder, en een laag hiervan wordt ook wel T-laag genoemd. De oxide-groepen hebben een licht negatieve lading,

met als gevolg dat de tetraeder en octaeder platen elkaar aantrekken en parallel gaan liggen. De belangrijkste kleigroepen bestaan uit twee of drie lagen net als golfkarton.



Figuur 6. Schematische weergave van TO en TOT-type kleimineralen.

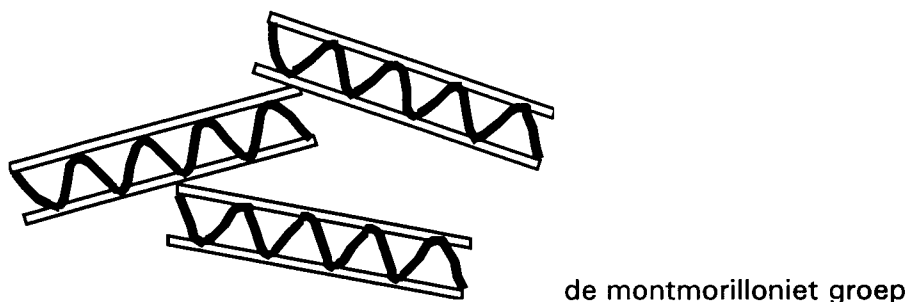
Het golfgedeelte representeert de O-laag, en het vlakke gedeelte de T-laag. Op deze wijze ontstaan dus twee type klei-mineralen welke ook wel bekend zijn als het TOT-type en het TO-type. Omdat de silicium-oxide tetraeders negatief geladen zijn en de aluminium-hydroxide octaeders een licht positieve lading kunnen hebben, is het aantrekkelijk om als T-laag tegen een O-laag aan te liggen. Hierdoor hebben TO-kleimineralen de neiging om hoge stapels te vormen met sterk aan elkaar zittende plaatjes. Hierdoor ontstaan relatief grote deeltjes met een relatief klein specifiek oppervlak (figuur 7).



Figuur 7. Opbouw van kaoliniet (Tetraëder-Octaëder)

Dit type kleimineralen met TO-structuur noemen we *kaoliniet*.

Kleimineralen van het TOT-type hebben deze neiging tot stapeling minder, de negatieve oxide-groepen aan de rand van de T lagen stoten elkaar immers af. Dit type kleimineralen wordt *montmorilloniet* genoemd (Figuur 8).

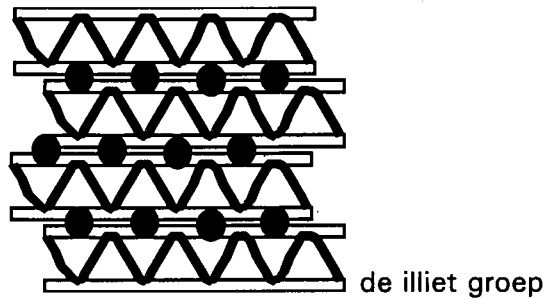


Figuur 8. Opbouw montmorilloniet (TOT).

Het oppervlak is goed toegankelijk en de diffuse dubbellaag kan zich goed en snel aanpassen aan de veranderingen in de bodemoplossing. Om die reden heeft deze klei-groep de meest uitgesproken neiging om fors te krimpen en te zwellen.

In de T-laag zitten gaten waarin een kalium- of ammoniumdeeltje passen. Wanneer dit gebeurt, zitten deze nutriënten behoorlijk vast. Dit staat bekend als kalium- en ammoniumfixatie. Deze deeltjes fungeren als een soort kit tussen twee T-lagen van

verschillende kleideeltjes waardoor stapeling van de kleideeltjes plaatsvindt. Dit gedrag is het meest uitgesproken voor de *illiet* klei-groep (Figuur 9).



Figuur 9. Illiet.

Om deze reden geldt ook voor de illiet groep dat een gedeelte van het oppervlak niet bereikbaar is. Zoals eerder is opgemerkt, speelt deze fixatie een rol in de vorming van illiet. Het is de vraag of deze fixatie ook een rol speelt bij toepassing in potgrond. In tabel 1 wordt een en ander samengevat.

Tabel 1. Verschillende typen kleimineralen (Hillel, 1998)

| naam groep | wordt ook wel genoemd | specifiek oppervlak | | |
|-----------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| | | m ² /g | omwisselcapaciteit meq/100g | omwisselcapaciteit meq/100ml |
| kaolinit groep | halloysiet, dickiet | 5–20 | 3–15 | 4–20 |
| illiet groep | gehydrateerde mica's | 80–120 | 15–40 | 20–55 |
| montmorilloniet groep | smectiet, vermiculiet, beidelliet | 700–800 | 80–100 | 100–130 |

De omwisselcapaciteit: per kilogram of per liter?

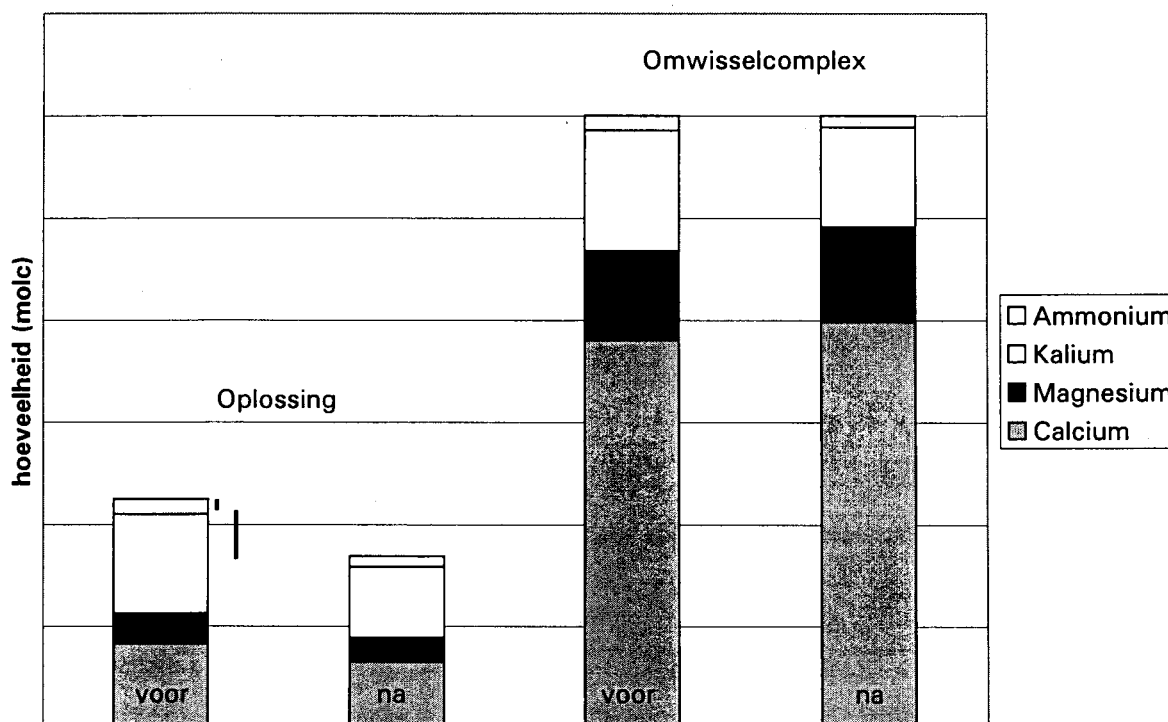
De omwisselcapaciteit wordt vaak uitgedrukt in een hoeveelheid nutriënten per kilogram of per 100 gram grond. Daar is op zich niets op tegen. Echter, dit is niet de meest voor de hand liggende keuze voor potgrondtoepassingen, omdat het in dit geval eenvoudig leidt tot verkeerde conclusies. Potten hebben een zeker volume en worden op basis daarvan gevuld. Door de omwisselcapaciteit van het mengsel in de pot uit te drukken in hoeveelheid nutriënten per liter, kan de omwisselcapaciteit van verschillende vullingen beter met elkaar worden vergeleken.

3. Eigenschappen van klei

3.1 Invloed van klei op de beschikbaarheid van nutriënten

Omwisselcomplex van klei

Er bestaat een relatie tussen de hoeveelheid en verhouding nutriënten aan het omwisselcomplex en die in de bodemoplossing. Dit is geen één op één relatie. Aan het omwisselcomplex moeten nutriënten de negatieve lading van het kleimineraal compenseren. Een tweewaardig kation (zoals calcium of magnesium) kan dit veel beter dan een éénwaardige kation (zoals kalium of ammonium). Door hun grote lading per oppervlakteenheid worden tweewaardige kationen veel sterker door het kleideeltje aangetrokken dan éénwaardige. Om die reden zal zich relatief veel meer calcium en magnesium in het omwisselcomplex bevinden dan kalium en ammonium. Het gedrag van het omwisselcomplex is te illustreren aan de hand van de resultaten van een berekening. Als uitgangssituatie is voor de bodemoplossing aangenomen met de volgende concentraties: Ca = 2.75 mmol/l, Mg = 1 mmol/l, K = 6.5 mmol/l en NH₄⁺ = 1 mmol/l. De berekeningen zijn uitgevoerd met het chemisch model PHREEQC (Parkhurst en Appelo, 1999). Er is uitgegaan van een situatie waarin een voedingsoplossing in evenwicht is met het omwisselcomplex van klei. Deze situatie wordt weergegeven in de kolommen met de markering "voor" in de volgende figuur (Figuur 10).



Figuur 10. Concentratie van kationen in bodemoplossing en aan het uitwisselingscomplex voor en na opname van ammonium en kalium.

Allereerst valt op dat de hoeveelheid nutriënten in de oplossing kleiner is dan de hoeveelheid aan het omwisselcomplex (de laatste heeft een grotere totale kolomhoogte). Daarnaast is de voorkeur van het omwisselcomplex voor calcium en magnesium duidelijk: de hoeveelheden zijn groot aan het omwisselcomplex. Nu is berekend wat het gevolg is van onttrekking van de halve hoeveelheid kalium en ammonium uit de oplossing. Deze hoeveelheden zijn nog eens weergegeven als een balkje naast de "voor"-kolom van de oplossing. Het effect van deze nutriëntenopname is weergegeven in de kolommen met de "na"-markering. De totale hoeveelheid nutriënten in de oplossing daalt, maar die aan het omwisselcomplex blijft constant! De hoeveelheid kalium en ammonium in de oplossing neemt af, maar niet zo drastisch. Dit komt doordat het omwisselcomplex kalium en ammonium wisselt voor calcium en magnesium uit de oplossing: opname van kalium en ammonium leidt ook tot vermindering van de hoeveelheid calcium en magnesium in de oplossing. De opname van kalium en ammonium wordt dus gebufferd door het omwisselcomplex. Zo beschrijft Brun (1993) de reactiviteit van verschillende substraten, oa met klei. Dit geeft de adsorptie en desorptie van de voedingsoplossing aan de materialen.

Wanneer we dit gedrag extrapoleren naar dat van klei in potgrond, dan valt te verwachten dat klei, door z'n relatief hoge CEC, bij kan dragen aan het beschikbaar komen van nutriënten voor de plant. Met name eenwaardige kationen zoals K en NH_4^+ , maar ook tweewaardige ionen zoals Ca^{2+} en Mg^{2+} , kunnen via het uitwisselingscomplex via de oplossing aan de plant nageleverd worden.

Ook is het goed te beseffen dat veen ook een kationuitwisselcapaciteit heeft. Deze is, zoals eerder vermeld, per kg gemiddeld (de CEC van veen is pH afhankelijk) zelfs groter dan die van klei, maar per liter is deze kleiner. Wanneer we uitgaan van klei met een dichtheid van 1200 kg/m³, en een CEC van 40 cmol/kg, en van turf met een dichtheid van 120 kg/m³ en een CEC van 100 cmol/kg, dan heeft 1 liter klei dezelfde CEC dan 4 liter turf. Oftewel: om een zelfde CEC te bereiken is klei efficiënter dan turf (zie bijlage).

De binding van ionen aan het adsorptiecomplex heeft er ook toe geleid dat de RHP normen heeft in het 1:1.5 volume extract voor potgrond met klei met daarin een lagere gehalten dan in de vergelijkbare potgrond zonder klei (RHP, 1977 en 2002). Bij beoordeling van mengsels met klei wordt rekening gehouden met de binding. Dit leidt tot lagere gehalten en EC in vergelijking met mengsels zonder klei bij gelijke bemesting.

Ngewoh et al. (1989), Kalra et al. (1994), Conteh (1996) toonden aan dat opbrengst, groei gerelateerd is aan de hoeveelheid uitwisselbaar kalium aan het adsorptiecomplex, terwijl de opname van de elementen door gewassen gelijk is.

Bovenstaande theorie roept de volgende vragen op, die op basis van de huidige kennis slechts ten dele te beantwoorden zijn:

- kan een klei verzadigd worden met bepaalde gewenste nutriënten als kalium en/of ammonium, met het doel dat de klei deze nalevert wanneer de plant eenmaal bij de consument thuis staat? Antw.: Ja, een klei kan verzadigd worden met een bepaald kation. De samenstelling van het omwisselcomplex verandert echter zodra de tuinder de plant water/nutriënten gaat geven, zodat het effect van klei als nalever-bron van dat gewenste kation bij de consument thuis moeilijk in te schatten is. Om hier een beter beeld van te krijgen zijn potexperimenten onontbeerlijk.
- kan de nalevering van gewenste kationen (bijv. ammonium en kalium) bevorderd worden? In theorie kan dit in bepaalde gevallen. Zo kan de adsorptie van tweewaardige ionen aan het complex bevorderd worden door bijv. de calcium concentratie in de

bodemoplossing te verhogen met als gevolg dat eenwaardige ionen als kalium het complex verlaten en in oplossing gaan, en daarmee beschikbaar komen voor de plant. Verdere experimenten zijn ook hier gewenst.

Resultaten potproeven uit de internationale literatuur

Internationaal is er weinig onderzoek gedaan naar het effect van het toevoegen van klei op de beschikbaarheid van nutriënten. Voor deze literatuurstudie is daarom breder gekeken dan alleen naar potplanten en mengsels van klei en veen (tabel 2). Uit de tabel blijkt dat klei aan zeer uiteenlopende materialen wordt toegevoegd (bijv. koffiebladeren, zand, steenwol), en voor verschillende planten en gewassen wordt gebruikt (tomaten, aubergines, Rhododendron). De studies zijn vaak gericht op het verbeteren van opbrengst en groei. Over het algemeen leidde kleitoevoeging tot een neutraal tot positief effect op opbrengst/groei. Vaak wordt dit verklaard door de toename van het beschikbare water door een betere wateropname bij toevoeging van klei (bijvoorbeeld Ehret et al., 1998; Warren en Bilderback, 1992). Het is maar de vraag of bij toevoeging van klei aan veen dit effect ook een rol zal spelen. Veen heeft namelijk een veel groter water bergend vermogen dan klei (zie hoofdstuk 3.2). Het gebruik van de zeer verschillende materialen in de internationale literatuur, zoals boomschors en kokosvezel, maakt vergelijk of extrapolatie naar de situatie voor de Nederlandse tuinder lastig. Warren en Bilderback (1992) vinden een positieve relatie tussen de hoeveelheid klei in de pot en de concentratie van de nutrienten NH_4^+ , PO_4^{3-} , en K^+ in het substraat. Dit wil echter niet zeggen dat deze stoffen ook gemakkelijk opneembaar waren voor de wortels.

Tabel 2 Internationale literatuur.

| Auteur | Plant | Vulling | Effect |
|-----------------------------|---|---|---|
| Conover en Poole (1992) | Dieffenbachia | tot 50% vermiculiet (rest: huisafval, grondafval en veen) | lichte positieve relatie tussen % verm. en plantengroei |
| Friche en Munuz (1998) | Tomaten | <ul style="list-style-type: none"> • verhitte klei • klei granulaat | <ul style="list-style-type: none"> • opbrengst: 6 kg/m² • opbrengst: 11 kg/m² (granulaat levert heeft beter waterleverend vermogen) |
| Hanan (1983) | Pelargonium Chrysanthemum Kalanchoe | deel vermiculiet (rest: steenwol, veenmos, grond, telkens 3 van de 4 in gelijke delen) | geen significant verschil in plant groei voor de verschillende mengsels |
| Kumar en Mehta (1996) | Aubergines | <ul style="list-style-type: none"> • 100% vermiculiet • 50% vermiculiet, rest: mest | <ul style="list-style-type: none"> • 38% overleving • 79% overleving |
| Rodriguez (1976) | Pelargonium | deel kaoliniet (rest: koffie bladeren, zaagsel, zand) | geen significant verschil in groei met/zonder kaoliniet |
| Tukaki en Mahler (1989) | Aardappel | deel vermiculiet (rest: zand, perlite) | Positieve corr. tussen % vermiculiet en knol gewicht. Optimale groei bij 80% Verm. en 20% zand) |
| Warren en Bilderback (1992) | Rhododendron | arcillite (= mengsel Ca-montmor. en vermiculiet) rest: schors van denneboom | <ul style="list-style-type: none"> • positieve corr. gehalte arcillite en beschikbaar water • positieve corr. gehalte arcillite en gehalte N, P, K in totaal substraat • positieve correlatie gehalte arcillite en droge gewicht plant |
| Ehret et al. (1998) | Komkommer, geranium, impatiens | mica-klei suspensie werd dagelijks via nutriënten-oplossing toegevoegd (5 en 10 g/l) | <ul style="list-style-type: none"> • klei zorgde voor toename vochtgehalte • toename komkommeroogst bij hogere kleigift • toename in grootte, gewicht en aantal bloemen bij geraniums en impatiens bij kleigebruik |

3.2. Invloed van klei op de beschikbaarheid van water

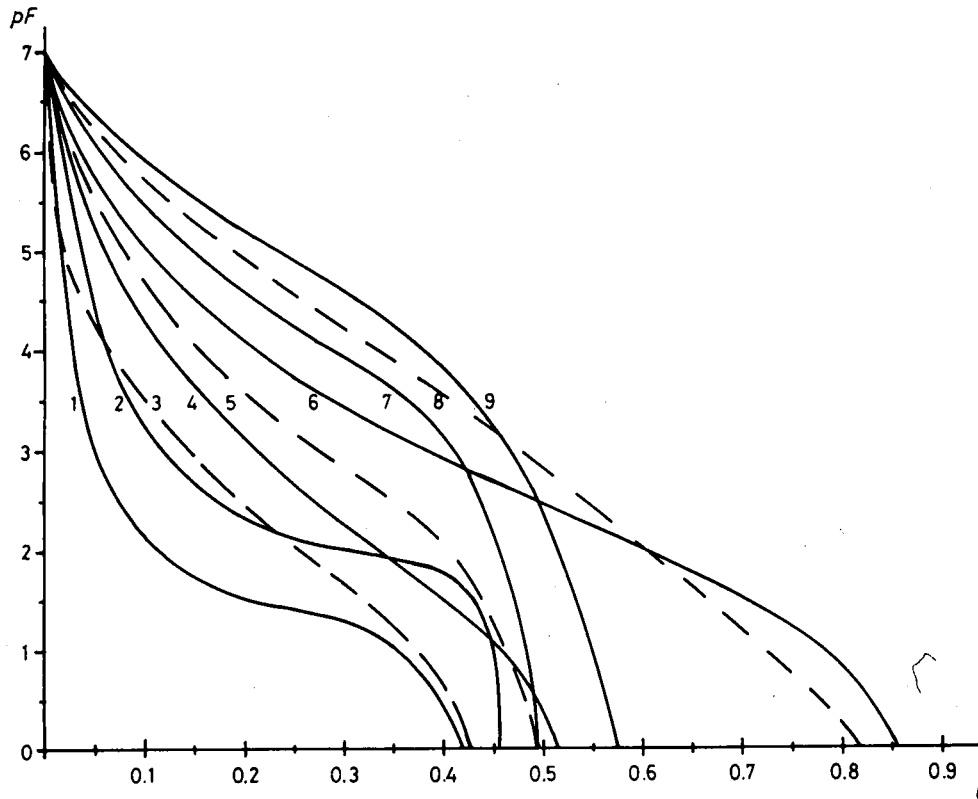
Vochtkarakteristieken

Om aan te geven hoe gemakkelijk (of moeilijk) een plant water kan onttrekken aan de bodem, worden zogenaamde vochtkarakteristieken gebruikt. Dit zijn grafieken waarin de volume fractie water uitgezet wordt tegen de drukhoogte (zie Figuur 11).

De drukhoogte is over het algemeen een negatief getal. De absolute waarde van de drukhoogte wordt ook wel zuigspanning, h , genoemd. Omdat de zuigspanning bij het bepalen van vochtkarakteristieken gevarieerd wordt van 0 cm tot $-1\ 000\ 000$ cm, wordt de zuigspanning meestal op een logaritmische schaal uitgedrukt als pF-waarde, waarbij geldt dat $pF = \log |h|$.

Bij een drukhoogte van 0 cm ($pF = 0$), zijn alle poriën verzadigd met water. Gemakkelijk beschikbaar water (GBW) is gedefinieerd als de hoeveelheid water die aan de grond kan worden onttrokken tussen -10 ($pF = 1$) en -50 cm ($pF = -1.7$) drukhoogte. Het waterbergend vermogen (WBV) van een grond is gedefinieerd als het percentage vocht in de grond tussen $pF\ 2.0$ en $pF\ 4.2$. Voor de teelt in potgrond is het beschikbare water: de hoeveelheid water tussen $pF\ 1,0$ en $2,0$. Dit wordt verdeeld in gemakkelijk beschikbaar water, dat is tussen $pF\ 1,0$ en $1,7$ en het moeilijk beschikbaar water, dat is tussen $pF\ 1,7$ en $pF\ 2,0$.

Iedere grond heeft zijn eigen vochtkarakteristiek. In figuur 11 zijn een aantal voorbeelden te zien. De karakteristieken zijn onder andere afhankelijk van de hoeveelheid organische stof, zand, silt en klei die in een bodem aanwezig is. Organische stof-rijke gronden, zoals veen, kunnen veel water bergen. Zand kan relatief weinig water vasthouden en er hoeft niet hard aan dit water 'getrokken' te worden om het uit de bodem te krijgen. Klei kan met behulp van de dubbellaag relatief veel water vasthouden. Bij een kleibijmenging van 10 % op volumebasis in een literpot met potgrond zal een redelijk gedeelte van het water in de pot zich in de diffuse dubbellaag van klei bevinden, zonder veel problemen zal dit 50 tot 80 milliliter zijn. Een plant moet echter bij een pF-waarde > 4 relatief hard zuigen om het water te onttrekken aan de dubbellaag. Wanneer het vochtgehalte in de pot aan de hoge kant is ($pF < 3$), zal dit geen gevolgen hebben: er is altijd voldoende gemakkelijk beschikbaar water aanwezig buiten de dubbellaag, zodat de plant niet genoodzaakt is ook maar te proberen water uit de diffuse dubbellaag te halen. De situatie verandert in het geval van een "meer drogere teelt". Planten zijn nu eerder aangewezen op het water in de diffuse dubbellaag. Dit water is beschikbaar voor de plant, maar deze zal er meer moeite voor moeten doen.



Figuur 11. pF curves van enige Nederlandse gronden: 1. Duin zand; 2. Lemig zand; 3. kalkrijke fijn zandig leem; 4. kalkrijk leem; 5. siltig leem afgeleid van löss; 6. jonge oligotroof veen grond; 7. zeeklei; 8. eutroof veen; 9. rivier klei. Uit: Koorevaar *et al.* 1994.

Baas et al (2001) vond dat bij lers grof veen met 15 % BARA poederklei verwelking van *Impatiens* en *spathiphyllum* optrad bij een vochtgehalte van circa 30 % en bij 100 % lers veen de verwelking optrad bij circa 18 – 19 volume % vocht. Door toevoegen van klei aan veen nam de hoeveelheid beschikbaar vocht af ten opzichte van niet toevoegen van klei.

Het een en ander wordt ook geïllustreerd door tabel 3, gebaseerd op figuur 11. Hierin staan zowel het gemakkelijke beschikbaar water (GBW) als het waterbergend vermogen (WBV) uitgerekend voor twee soorten veen en klei. Beide veensoorten blijken een grotere hoeveelheid GBW en WBV te hebben dan de kleien.

Door toevoeging van klei aan veen is minder water beschikbaar voor de plant dan zonder de toevoeging van klei. De plant zal moeten 'zoeken' naar water. Dit kan een zekere stress opleveren. Door deze 'gecontroleerde' stress kan de plant later in de houdbaarheidsfase ongunstige omstandigheden mogelijk goed 'aan'.

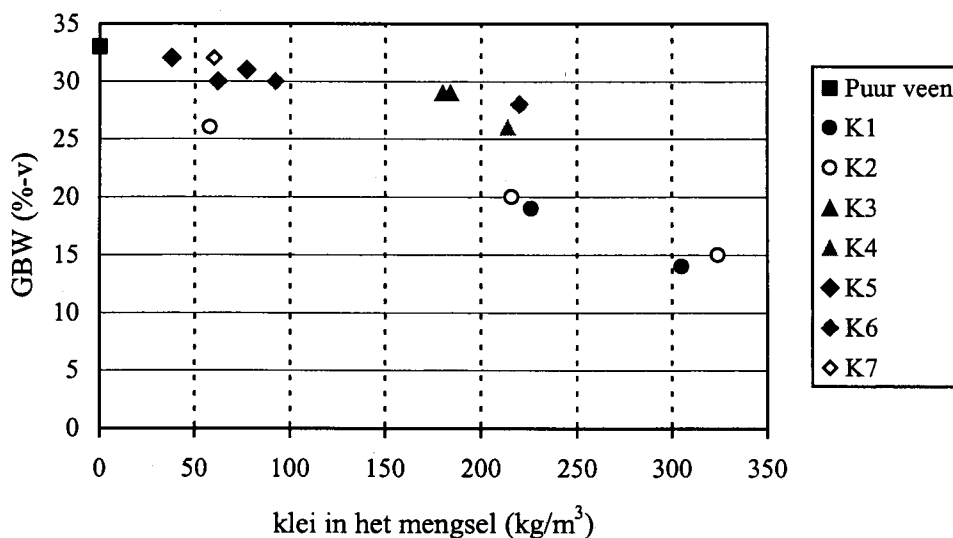
Tabel 3. Gemakkelijk beschikbaar water (GBW) en waterbergend vermogen (WBV) van jong oligotroof veen, eutroof veen, zeeklei en rivierklei uitgedrukt als volumefractie van de totale grond.

| Grondsoort | θ (pF 0) | θ (pF 1) | θ (pF 1.7) | θ (pF 2) | θ (pF 4.2) | GBW | WBV |
|--------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------|------|
| jong veen | 0.86 | 0.78 | 0.67 | 0.62 | 0.19 | 0.11 | 0.43 |
| eutroof veen | 0.82 | 0.73 | 0.65 | 0.62 | 0.31 | 0.08 | 0.31 |
| rivierklei | 0.57 | 0.56 | 0.53 | 0.52 | 0.37 | 0.03 | 0.15 |
| zeeklei | 0.49 | 0.48 | 0.46 | 0.46 | 0.27 | 0.02 | 0.19 |

Voor veenproducten zoals worden toegepast in de potgrondproductie ligt het GBW tussen 15 en 35%. Dit is met name afhankelijk van de fractie en de verteringsgraad van het veen.

Door toevoeging van kleigranulaat aan lers veen nam het luchtgehalte bij pF 1 af ten opzichte van geen kleitoevoeging. De hoeveelheid gemakkelijk beschikbaar water veranderde weinig (Aendekerk, 2000)

Onderzoek uitgevoerd door de Stichting RHP gaf aan dat dosering van sommige kleimaterialen een sterk effect op het gemakkelijk beschikbaar water (GBW). Vooral de mengsels met fijne poederklei (van diverse herkomsten) vertoonden een zeer sterk effect op het GBW. Figuur 12 geeft de gecombineerde resultaten van diverse analyses weer waarbij het GBW werd gerelateerd aan de daadwerkelijk gedoseerde hoeveelheid klei



Figuur 12. Gemakkelijk beschikbaar watergehalte in potgrond mengsels met diverse doseringen klei (● poederklei, ▲ granulaatklei ◆ verse geshredderde klei) Bron; Stichting RHP

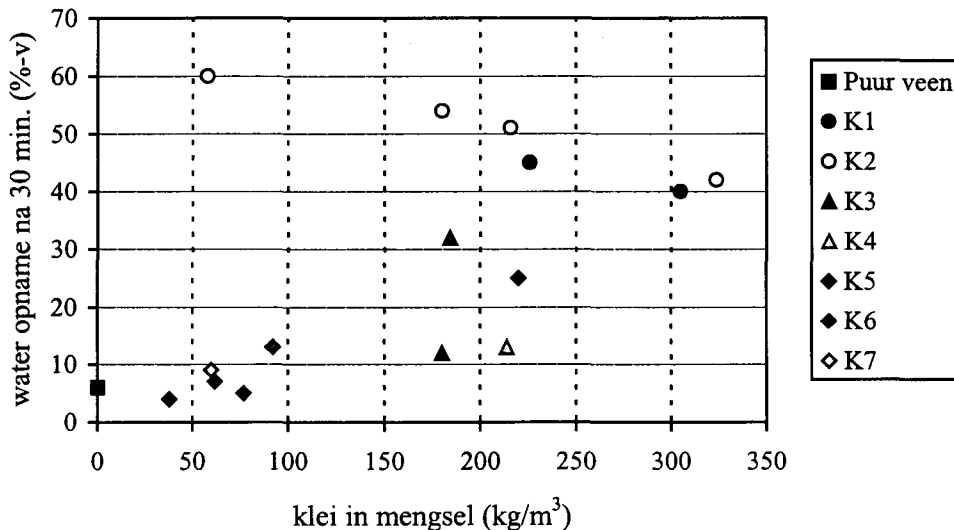
In zijn algemeenheid kan worden gesteld dat het GBW afnam naar mate er meer kleimateriaal werd gedoseerd (Verhagen, 2001). Daarnaast bleek een verschil tussen enerzijds de fijne poederachtige kleimaterialen en anderzijds kleigranulaat en vers geshredderde klei. Het effect van poederklei was veel sterker bij een vergelijkbare dosering. Dit is waarschijnlijk te verklaren door de verdeling van de poederklei in de

mengsels. Fijne poederachtige materialen zullen zich in het poriesysteem nestelen en daardoor meer effect genereren op het gedrag van poriën dan de grove granulaire materialen die steeds deels de wand van een poriesysteem zullen vormen.

Wateropname na indrogen

Door toevoegen van Bara-poederklei werd de wateropname van uitgedroogde potgrondmonsters verbeterd door toevoegen van klei (Baas et al, 2001). Dit is in de praktijk van belang als potgrond is uitgedroogd. Wel bleek na volledige verzadiging, dat de potgrond met klei een lager vochtgehalte had dan de potgrond zonder klei. Dit is verklaarbaar door het lagere poriënvolume. De wateropname van een potgrond werd ook verbeterd door de wortels, die na verloop van tijd in de potgrond aanwezig zijn.

Onderzoek van de Stichting RHP gaf aan dat de wateropname verschillend wordt beïnvloed door verschillende kleimaterialen.



Figuur 12. Wateropname in 30 minuten vanuit luchtdroge toestand in potgrond mengsels met diverse doseringen klei (● poederklei, ▲ granulaatklei ◆ verse geshredderde klei) Bron; Stichting RHP

Fijne poederklei gaf bij een relatief lage dosering een sterk effect op de wateropname. Dit effect werd voor granulaatklei en verse klei pas bij hogere doseringen bereikt. Ook hier leek de verdeling van de klei in de mengsels, evenals bij de beschikbaarheid van water, een belangrijke rol te spelen.

Dichtheid

Door toevoegen van klei aan veen wordt de dichtheid van de potgrond hoger. Grantzau (2001) ziet dit als een nadeel omdat de massa's die door de potgrondbedrijven moeten worden vervoerd toe nemen bij het zelfde volume.

3.3 Invloed van klei op de plantengroei

Door toevoeging van klei aan het substraat zijn geen voordelen voor de groei van Begonia en Cyclamen waargenomen (Rivière and al., 1995). De auteurs vonden bij toevoeging van een commerciële klei tot 10 % geen effect op de groei van Begonia. Aangezien er geen omschrijving is van het type klei, is ook slecht te achterhalen wat de oorzaak is. Het is mogelijk, dat er geen effect van het substraat is gevonden, omdat de overige teeltomstandigheden optimaal waren. De houdbaarheid werd niet onderzocht. Ook als de watergift gestopt werd, is geen verschil in reactie gezien tussen de verschillende substraatmengsels. Volgens het onderzoek zou de aanwezigheid van een bepaald mineraal nog wel een rol kunnen spelen bij de herbevochtiging van het substraat. Mogelijk dat klei dan een belangrijke rol kan spelen in de periode na de teelt (transport- en consumentenfase).

In Aalsmeer zijn bij Cyklaam substraatmengsels met turfmolm en klei met elkaar vergeleken. Het ras 'Perle von Zehlendorf' vertoonde meer groei in een zogenaamd 'Aalsmeers mengsel', maar in een mengsel klei en turf was een betere bloeirijkheid te zien (Anonymus, 1960). In een mengsel van één deel klei + vijf delen turf ten opzichte van een mengsel van vijf delen klei + één deel turf was er geen verschil. Een jaar later was ook bij het ras 'Vuurbaak' te zien dat meer bloemen aangelegd werden in een mengsel met meer turfmolm en minder klei. Van dit ras zijn geen gegevens van de houdbaarheid bekend (Anonymus, 1961a). In later onderzoek is nogmaals aangetoond dat de groeisnelheid, zowel van Cyclamen als van Poinsettia, op een kleirijk substraat geringer is dan op een veenrijk mengsel (Anonymus, 1969; Anonymus, 1978). Men had een theorie dat er een omgekeerd verband zou bestaan tussen groeisnelheid en houdbaarheid: geringere groeisnelheid zou een betere houdbaarheid geven.

In deze onderzoeken op het proefstation in Aalsmeer is ook vaak naar de bemesting gekeken. Er bleek een interactie te bestaan tussen het substraat en de voorraad- en overbemesting (Anonymus, 1960). Uit verschillende proeven met Cyclamen en Gloxinia bleek dat minder zoutschade optrad als het turfgehalte in het substraat hoger was (Anonymus, 1961a; Anonymus, 1961b). Later is uit onderzoek gebleken dat voor een kleihoudend substraat de normen voor fosfor en kalium lager kunnen zijn. Door de binding worden lagere waarden in het bodemvocht geaccepteerd.

In Duitsland zijn substraatmengsels met turf en met turf en klei vergeleken voor een teelt van Impatiens (Fischer, 1991). Hieruit bleek dat op een turf-klei-mengsel in de winter sneller problemen optraden met de schimmel Rhizoctonia. Werden planten in een turfmengsel geteeld dan was veel minder uitval te zien. Er waren geen verschillen in bloeirijkheid en groei. Tevens bleek uit dit onderzoek dat de bemesting en de pH aangepast moeten worden aan het substraat. De pH voor turfsubstraat ligt lager (5.5 - 6.0) dan voor een turf-klei-mengsel (6.0 - 6.5).

Fischer en Bürkle (1982) vonden bij de teelt van bij Cyklaam in een kleihoudend en een veen mengsel bij een hoge $MgSO_4$ gift een kleiner aantal knoppen en lager vers gewicht dan bij een lage $MgSO_4$ gift. Door de hoge giften ontstond een 'zout-effect' en daarmee een achterblijvende groei. Bij het klei-mengsel was dit negatieve zout-effect minder dan bij het veenmengsel. Het is mogelijk, dat de klei Mg vastlegde. Dit wordt overigens niet

vermeld. Er waren geen zichtbare fysiologische afwijkingen (bijv misvorming) van blad of bloem door de hoge MgSO₄ giften. Hieruit zou geconcludeerd kunnen worden, dat bij gebruik van klei met slechtere waterkwaliteit (hoog Mg in water) geteeld zou kunnen worden dan zonder klei.

Grantzau (1988^a) vond een negatief effect van kleigranulaat met een lage CEC en met een hoge CEC (Unicam A) op de groei van *Pelargonium*. De oorzaak van de verminderde groei door de klei wordt echter niet vermeld. Grantzau (1988^b) vond ook dat lage P-verzorging bij een grond met klei (Einheitserde) een veel sterker negatief effect had op de groei van *Cyclaam* dan bij een lage P-verzorging in een grond zonder klei (Weisstorf). Dit is te verklaren door de sterke P-vastlegging door de klei. De auteur adviseert dan ook om bij een grond met klei meer P in de voorraadbemesting te geven dan in een grond zonder klei. Grantzau (1997) vond door toevoeging van klei een compactere groei van *Poinsettia* dan zonder klei, maar hij kon niet aangeven wat de oorzaak was. Er was namelijk een slechte relatie tussen de P-binding door de klei en de compactheid van de plant. Een kleisoort (Bentonit) met de hoogste CEC gaf de meest compacte planten. Peikert (1997) rapporteert over een studiedag over klei en geeft aan dat er een buffer van voedingselementen ontstaat door toevoeging van klei. Voor een lange teelt (> 2 maanden) zou klei daarom gunstig zijn. Voor een korte teelt zou klei niet nodig zijn.

In een proef met *Ficus* werden 4 stikstofniveaus en een mengsel met veen en veen met 40 kg/m³ klei vergeleken. Het doel was na te gaan hoe de ophoping van zouten bovenin de pot optraden en met hoeveel water van bovenaf deze zouten konden worden uitgespoeld. Bij de potgrond met klei was het zoutgehalte bovenin de pot hoger dan bij de potgrond zonder klei. Bovendien was er bij de potgrond met klei meer water nodig om het zoutgehalte in de bovenlaag te verlagen dan bij de potgrond zonder klei (Høyer, circa 1983).

Klei (15 % Lents) in potgrond had een beperkt remmend effect op de groei van primula en klei veroorzaakte een latere bloei dan zonder klei (Bartels en Van der Hulst, 2002 en Bartels-Schouten en Van der Hulst, 2002). Er werd met eb/vloed water gegeven, zodat er niet 'droog' geteeld kon worden. Mogelijk speelde de binding van fosfaat aan deze ijzerrijke klei een rol.

Het effect van klei op de groei was voor vijf gewassen per gewas verschillend. Daarom kon geen algemene aanbeveling worden gedaan voor de samenstelling van de potgrond. Wel was bij de potgrond met klei het waterindringend vermogen beter dan zonder klei (Aendekerk, 1997). Aendekerk (2000) vond verder dat door toevoeging van klei de wortelontwikkeling beter werd en de groei van *Chamacyparis* en *Cytisus* verminderde maar van *Viburnum* juist verbeterde.

4. Invloed van substraat en voeding op groei en kwaliteit

In dit hoofdstuk worden verschillende factoren genoemd, die invloed hebben op de groei en de kwaliteit. Dit hoeft dus niet alleen door klei te ontstaan. Wel zal klei deze groeifactoren beïnvloeden en indirect gaat het dus ook over de invloed die klei op de kwaliteit kan hebben.

4.1. Groei

Zowel voor Cyclamen als voor Poinsettia is aangetoond dat verschillende rassen verschillend reageren op de samenstelling van het substraat. (Anonymus, 1978; Anonymus, 1983). Bij één van de vier rassen Cyclamen was de sierwaarde van de planten beter en hadden de planten meer bloemen als ze geteeld waren op een kleirijk substraat. Bij de andere drie rassen is geen verschil in sierwaarde en aantal bloemen gezien als gevolg van een bepaald substraat.

4.2. Beheersen lengtegroei

Groeiregulatie door fosfaatbeperking is mogelijk bij Petunia en Pelargonium (Baas en Brandts, 1991). Groeiremming bleek mogelijk, maar dan moet naast de fosforgift in de voedingsoplossing ook de voorraadbemesting aangepast (niet toegediend) worden. Of dit een alternatief kan zijn voor chemische remmiddelen was nog de vraag, want de scheutaanleg bleek beter na toediening van deze chemische remmiddelen ten opzichte van een gelimiteerde fosforgift. Een zeer lage P-gift van 0,05 mmol/l heeft bij Poinsettia wel geleid tot een remmende werking van planthoogte, maar met kwaliteitsverlies (gewicht takken en aantal en gewicht bracteeën) ten opzichte van de standaard P-bemesting van 1,0 mmol/l (inclusief chemisch remmen) (Straver, 1994). Wel was bij P = 0,25 mmol/l de kwaliteit voldoende, maar waren de planten alléén nog te lang. In Denemarken is recent onderzoek gedaan naar het gebruik van een fosfaatbuffer tijdens de teelt van verschillende soorten potplanten (Jagers op Akkerhuis en Wang Hansen, 2002). Door deze fosfaatbuffer wordt fosfaat gebonden en komt op een later tijdstip weer vrij. Hierdoor wordt kunstmatig een stabiele lage fosfaatconcentratie gecreëerd. De wortelgroei van planten wordt hierdoor gestimuleerd ten koste van scheutgroei. Dit leverde planten op met weliswaar iets minder bloemen, maar de bloeiduur van de afzonderlijke bloemen bleek langer te zijn. Tevens bleek dat de planten beter een stress-periode kunnen doorstaan. Door deze teeltwijze kan het gebruik van chemische groeiremmers mogelijk drastisch worden beperkt. Volgens Ueber and Masemann (2002) ontstond er door lage P-gehalten bij gebruik van Compalox (een aluminium-verbinding die sterk P bindt) in zonnebloemen schade. Mulderij (1998) vond dat drooghouden van de potgrond een effectiever middel was voor verminderen lengtegroei van Impatiens en Petunia dan een hoge EC.

4.3. Houdbaarheid

Bij potchrysan bleek dat een hoge EC tijdens de teelt geen nadelig effect had op de houdbaarheid (Bulle et al., 1996). Zelfs een EC van het bodemvocht van 8 à 9 mS/cm aan het eind van de teelt gaf geen slechtere houdbaarheid. Richter en Sommer (1997) en Richter et al. (1997) vonden tijdens de houdbaarheidsfase bij *Phalaenopsis* geteeld bij een EC van 1,6 mS/cm meer bloemval dan geteeld bij een EC van 0,8 mS/cm. Een EC van 1,2 mS/cm nam een tussenpositie in. Wel waren aan het eind van de teelt de planten geteeld bij een EC van 1,6 mS/cm groter dan die geteeld bij 0,8 mS/cm. De geringere bloemval bij de lage EC zou samenhangen met de wortelontwikkeling. Wortels maken cytokinine en hiervan werd een hoger gehalte (althans het actieve gedeelte daarvan) gevonden in de bladeren van de planten opgekweekt bij de lage EC. De lage EC gaf ook meer wortels dan de hoge EC. In een latere studie is vooral gekeken naar de effecten van EC op actieve/inactieve cytokinine, auxine en andere hormonen. De bladval bij *Poinsettia* kon gecorreleerd worden met bepaalde verhoudingen van de hormonen (Matscke et al, 2000). De bladval tijdens de houdbaarheidsfase kon worden voorspeld met de photonanalyse (Matscke et al, 2000). *Poinsettia* gaf bij een EC van 3,2 mS/cm een slechtere houdbaarheid dan geteeld bij een EC van 0,8 mS/cm (Richter en Sommer, 1996). Bij de lage EC waren de bladeren wel lichter gekleurd, maar de houdbaarheid was beter dan bij de hoge EC. Een EC van 0,5 mS/cm gaf lichtere bladeren van *Poinsettia* maar betere wortels en minder bladval tijdens de houdbaarheidstest dan een EC van 1,5 en 2,5 mS/cm (Sommer et al, 2000).

Duitse onderzoekers hebben waargenomen dat het stikstofgehalte aan het eind van de teelt verlaagd moet worden. Is het stikstofgehalte aan het eind van de teelt te hoog dan treden in de consumentenfase vaker problemen op met bloem- en knopval bij onder andere *Impatiens*, *Poinsettia* en *Cyclamen* (ter Hell, 1995 en 1997; Schäfer en Grantzau, 2000). Er moet echter op worden gelet, dat de N-voorziening niet te laag wordt aan het eind van de teelt want dat ging ten koste van de uiterlijke kwaliteit bij de verkoop van *Cyclamen*. De houdbaarheid van deze *Cyclamen* (waar aan het eind het N-gehalte in het substraat zeer sterk was gedaald tot 3 mg/l substraat) was wel het allerbeste. Daarbij moet ook gelet worden op de verhouding tussen ammonium en nitraat. Een hoog ammonium gehalte gaf veel wortelsterfte, mogelijk veroorzaakt door nitriet en dit zou de oorzaak zijn van de bladval tijdens de houdbaarheidsfase (Hendriks en Damerau, 1992). Ter Hell en Grantzau (1997) vonden ook een verschil in houdbaarheid door het watergeefstelsel, maar dit zou veroorzaakt zijn door verschil in N-voeding: bij het eb/vloed systeem was het N-gehalte in de plant het laagst en de houdbaarheid het beste in vergelijking tot andere watergeefsystemen.

Een laag of hoog kalium-gehalte aan het eind van de teelt bleek niet belangrijk voor de houdbaarheid van *Cyclamen* (Ter Hell en Grantzau, 1997). Later heeft Ter Hell (1999) gevonden, dat hoge K-bemesting het verlies van blad tijdens de houdbaarheidsfase bevorderde. Het bladverlies kan dan weer worden tegengegaan met bespuitingen van CaCl₂. Volgens Nell (1994) en Schäfer en Grantzau (2000) zou er geen effect zijn van kalium op de houdbaarheid.

Bij de houdbaarheid van *Poinsettia* is calcium een belangrijk element. In de consumentenfase kunnen bruine randen aan de schermen ontstaan als gevolg van calciumgebrek (Stromme, 1993). Een hoog Ca gehalte in de plant kan worden bereikt

met een lage EC en een laag K-gehalte in de voeding en eventueel bespuitingen met CaCl_2 .

In de houdbaarheid van gerbera zou Si een gering effect hebben (Richter, 1999).

Naast bemesting heeft ook de watergift invloed op de houdbaarheid van een aantal gewassen. In Florida is bij Ficussen die vaak water kregen tijdens de teelt juist veel bladval waargenomen in de consumentenfase (Johnson et al., 1981). Gaf men de planten minder vaak water zodat in de periode tussen twee gietbeurten enige waterstress ontstond, dan had de plant minder problemen met bladval. Uit Deens onderzoek is gebleken dat als de planten, waaronder potrozen, met waterstress worden geteeld, de huidmondjes actiever zijn waardoor de verdamping van de planten efficiënter verloopt (Williams et al., 1999). De planten die op deze wijze zijn geteeld bleken beter bestand te zijn tegen andere vormen van stress.

Literatuur

- Aendekerk, Th., 1997. Iedere kuipplant zijn eigen mengsel. De Boomkwekerij 48:22
- Aendekerk, Th, 2000. Niet elke potgrond is hetzelfde. De Boomkwekerij, 21 september 2000.
- Anonymus, 1960. Jaarverslag 1960. Proefstation voor de Bloemisterij in Nederland te Aalsmeer. 70-72.
- Anonymus, 1961a. Jaarverslag 1961. Proefstation voor de Bloemisterij in Nederland te Aalsmeer. 63-65.
- Anonymus, 1961b. Jaarverslag 1961. Proefstation voor de Bloemisterij in Nederland te Aalsmeer. 79-82.
- Anonymus, 1969. Jaarverslag 1969. Proefstation voor de Bloemisterij in Nederland te Aalsmeer. 149-150.
- Anonymus, 1976. Jaarverslag 1976. Proefstation voor de Bloemisterij in Nederland te Aalsmeer. 175.
- Anonymus, 1978. Jaarverslag 1978. Proefstation voor de Bloemisterij in Nederland te Aalsmeer. 220-221.
- Anonymus, 1983. Jaarverslag 1983. Proefstation voor de Bloemisterij in Nederland te Aalsmeer. 117-118.
- Baas, R. en A. Brandts, 1991. Sterke fosfaatbeperking remt Petunia en Pelargonium. Vakblad voor de Bloemisterij 30 (1991): 48-49.
- Baas, R., A. Bulle, C. Vonk Noordegraaf, M. ten Hoope, en H. Koedijk. 2001. Bepalen van de vochtinhoud en verdamping in de afzet van potplanten met behulp van een vochtmeting. Rapport 307.
- Bartels-Schouten, K, en J. Van der Hulst, 2002. Groeiremming bij *primula acaulis*. LTO groeiservice – gewasnieuws. Eénjarige zomerbloeiërs. 5(1):3
- Brun, R., 1993. Choix d'un substrat de culture hors-sol: connaitre sa réactivité chimique. PHM- Revue Horticole 334:25-35
- Bartels, K, en J. Van der Hulst, 2002. Groeiregulatie bij *Prinula acaulis*. Rapport GT 12006
- Bulle, A., H. Verberkt, L. La Brijn, M.A. de Jongh en D. van der Bree, 1996. Invloed bemesting op groei en houdbaarheid potchrysanthe. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente, rapport nr 31.
- Conteh, I.K. 1996. The pool of plant available soil potassium in agricultural soils. WUR, dept of soil fertility and plant nutrition, msc thesis. .
- Conover, C.A., en R.T. Poole, 1991. Utilization of Agrisoil compost in production of foliage plants. Proceedings of the Florida State Horticultural Society 103:163-165.
- Dirksmeyer, T en E. Grantzau, 1998. Wieviel Ton ist drin? Deutscher Gartenbau 49 en Gemüse 34 (12) Spezial Kulturtechnik. 9-10
- Ehret, D.L., Zebarth, B.J., Portree, J., en T. Garland, 1998. Clay addition to soilless media promotes growth and yield of greenhouse crops. Hortscience 33:67-70.
- Fischer, P., 1991. Impatiens-Neu Guinea: Düngung, Substrate und Giesswasser. Gärtnerbörse/Gartenwelt 17/1991: 844-848.
- Fischer, P. en P. Bürkle, 1982. Verschiedene K₂O:Mg-Verhältnisse bei Cyclamen. Deutscher Gartenbau 36(19):894-896.
- Fricke, A., en R. Munuz-Carpena. 1998. Influence of different surplus irrigation and substrate on production of greenhouse tomatoes. Acta Horticulturae 458:33-41.
- Grantzau, E. 1988^a. Austauschkapazität eines Substrates. Gärtnerbörse und Gartenwelt 12:507-509.
- Grantzau, E. 1988^b. Blühende Topfplanzen. Phosphatverfügbarkeit in TKS und Einheitserde. Gb+Gw 29:1240-1242.
- Grantzau, E. 1997. Verschiedene Tonherkünfte und Wachstum. DeGA 48:6-8
- Grantzau, E. und H. Walther. 2001 Al-Oxid statt Ton. DeGa 31:28-29
- Grantzau, E. 1996. P-Düngung überprüfen. Poinsettien mögen Phosphat. DeGA 32:1752-1754

- Hanan, J.J. 1983. Use of rockwool as a potting mixture. Comparison with peatmoss, soil and vermiculite. Research Bulletin, Colorado Greenhouse Growers Association 395:1-5.
- Hendriks, L. en I. Damerau, 1992. Erhöhtes Risiko von Wurzelschäden durch Ammoniumdüngung. Versuche im deutschen Gartenbau 95
- Høyer, L. circa 1983. Ledningsværdien i pottjorden – kan den reduceres ved udvaskning?
- Hell, B. ter, 1995. The influence of nitrogen nutrition on keeping quality of pot plants. Acta Horticulturae 405, sixth international symposium on postharvest physiology of ornamental plants: 138-147.
- Hillel, D. 1998. Environmental soil physics. Academic Press, New York.
- Høyer, L. circa 1983. Ledningsværdien i pottjorden – kan den reduceres ved udvaskning?
- Jagers op Akkerhuis, F. en C. Wang Hansen, 2002. Fosfaatbuffer biedt alternatief voor chemische groeiremmers. Vakblad voor de Bloemisterij 17 (2002): 56-57.
- Johson, C.R., D.L. Ingram and J.E. Barrett, 1981. Effects of irrigation frequency on growth, transpiration and acclimatization of *Ficus benjamina* L. HortScience Vol. 16(1): 80-81.
- Kalra, Y.P. and D.G. Maynard, 1994. A comparison of extractants for the determination of cation exchange capacity and extractable cations by mechanical vacuum extractor. Comm. soil sci. plant anal. 25(9-10):1505-1515.
- Koorevaar, P., Menelik, G., en C. Dirksen. 1983. Elements of Soil Physics. Developments in Soil Science 13. Elsevier Science, The Netherlands.
- Kumar, R.R. en A.R. Mehta. 1996. Effect of different potting mixtures on survival of in vitro plantlets of eggplant. Himachal Journal of Agricultural Research 22:135-138.
- Matschke, J., A. Sommer en M. Richter, 2000. Einfluss unterschiedlicher Düngung auf Phytohormone und Haltbarkeit bei Poinsettien (Sorte 'Peterstar'). Versuche im deutschen Gartenbau
- Matschke, J., M. Richter en A. Sommer, 2000. Biophotonik als Prognoseverfahren der Haltbarkeit von Poinsettien. Versuche im deutschen Gartenbau
- Mulderij, B., 1998. Eénjarige zomerbloeiërs: EC en kwaliteit. Rapport 128.
- Nell, T.A., J.E. Barrett and R.T. Leonard, 1989. Fertilization termination influences postharvest performance of pot chrysanthemum. HortScience, Vol.24(6): 996-998.
- Nell, T.A., 1994. Haltbarkeit blühender Topfpflanzen steigern. Gärtnerbörse 39/1994:1964-1967.
- Ngewoh, Z.S., R.W. Taylor and J.W. Shuford, 1989. Exchangeable cations and CEC determinations of some highly weathered soils. Comm. soil sci. plant anal. 20(17-18):1883-1855.
- Parkhurst, D.L., en C.A.J. Appelo. 1999. User's Guide to PHREEQC (version 2)- A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. Water Resources Investigations Report 99-4259. U.S. Department of the Interior. Denver, Colorado.
- Peikert, K., 1997. Tone im Substrat. Zierpflanzenbau 37(6):374-375
- RHP, 1977. Verslag nr. 4
- RHP, 2002. Potgrond en substraten.
- Richter, M., J. Matschke en A. Sommer, 1997. Bessere der Blüten von *Phalaenopsis*-Hybriden bei niedriger Düngungsintensität. Versuche im deutschen Gartenbau 129
- Richter, M. en A. Sommer, 1996. Wachstum und Haltbarkeit von Poinsettien ist abhängig von Düngungsintensität und Sorteneigenschaften. Versuche im deutschen Gartenbau 67
- Richter, M. en A. Sommer, 1997. Bessere äußere Verkaufsqualität von *Phalaenopsis*-Hybriden bei höherem Nährstoffangebot. Versuche im deutschen Gartenbau 130
- Richter, M. 1999. Haltbarkeit von Gerbera in geringem Maße durch Siliciumdüngung gefördert. Versuche im deutschen Gartenbau
- Rivière, L.M. et al., 1995. The use of clay in organic substrates for pot plants. Acta Horticulturae 401, Growing media & Plant Nutrition: 97-105.
- Rodriguez, S.J., en C. Rivera-Lopez, 1976. The performance of Pelargonium stockplants in different potting mixtures. Journal of Agriculture, University of Puerto Rico 60:224-227.
- Schäfer, B. en E. Grantzau, 2000. Einfluss der Düngung auf Qualität und Haltbarkeit blühender Topfpflanzen. Deutscher Gartenbau 22/2000: 43-44.

- Straver, N. 1994. P(fosfaat)-beperking in de bemesting bij *Euphorbia Pulcherrima* (Poinsettia). Rapport 175.
- Stromme, E., 1993. Brakteen-randnekrosen bei Poinsettien. Gärtnerbörse/Gartenwelt 43/1993: 2052-2054.
- Sommer, A., J. Matschke en M. Richter, 2000. Haltbarkeitsverluste bei stark gedüngten Poinsettien. Versuche im deutschen Gartenbau
- Ter Hell, B. 1997. Überhöhte Stickstoffversorgung vermindert Haltbarkeit. Versuche im deutschen Gartenbau 51.
- Ter Hell, B., en E. Grantzau. 1997. Haltbarkeit durch K-Ernährung nicht beeinflusst. Versuche im deutschen Gartenbau 50.
- Ter Hell, B. 1999. Poinsettienarten reagieren unterschiedlich auf eine Konditionierung mit Calciumchlorid. Versuche im deutschen Gartenbau 75
- Ter Hell, B., en E. Grantzau. 1995. Bewässerungssysteme beeinflussen Qualität und Haltbarkeit unterschiedlich. Versuche im deutschen Gartenbau
- Tukaki, J.L. en R.L. Mahler. 1989. Evaluation of potting mix composition on potato plantlet tuber production under greenhouse conditions. *Journal of Plant Nutrition* 12:1055-1068.
- Ueber, E. und S. Masemann, 2002. Phosphatpuffer Compalox. Gezielter P-Mangel kann Hemmstoffe nicht ersetzen. DEGA 14:39-41.
- Verhagen, J.B.G.M., 2001. Effectiveness of clay in peat base growing media. Proceedings ISHS 2001 Alnarp Sweden, in press.
- Verhagen, J.B.G.M., 2001. Het klei-effect. Kleisymposium 20 november 2001
- Warren, S.L., en T.E. Bilderback, 1992. Arcillite: effect on chemical and physical properties of pine bark substrate and plant growth. *J. Environmental Horticulture* 10:63-69.
- Wever, G., A.A. van Leeuwen and M.C. van der Meer, 1997. Saturation rate and hysteresis of substrates. *Acta Hort.* 450: 287-295
- Wever, G. and E. Eymar, 1999. Characterisation of the hydrophysical and mechanical properties of pressed blocks for transplanting. *Acta Hort.* 481:111-119
- Williams, M.H., E. Rosenqvist and M. Buchhave, 1999. The effect of reducing production water availability on the post-production quality of potted miniature roses (*Rosa x hybrida*). *Postharvest Biology and Technology* 18 (2000): 143-150.

Bijlage 1. Mengverhouding klei : turf (vol:vol)

| | 1200 kg/m ³ | d.w.z. 1 kg komt overeen met | 0.83 liter | | | | | | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------------|------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Dichtheid klei: | 120 kg/m ³ | d.w.z. 1 kg komt overeen met | 8.33 liter | | | | | | | | |
| Dichtheid veen: | 120 kg/m ³ | d.w.z. 1 kg komt overeen met | 8.33 liter | | | | | | | | |
| CEC klei (cmol/kg) --> | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 100 |
| CEC turf (cmol/kg) | 10.0 | 20.0 | 30.0 | 40.0 | 50.0 | 60.0 | 70.0 | 80.0 | 90.0 | 100.0 | 100.0 |
| | 20 | 5.0 | 10.0 | 15.0 | 20.0 | 25.0 | 30.0 | 35.0 | 40.0 | 45.0 | 50.0 |
| | 30 | 3.3 | 6.7 | 10.0 | 13.3 | 16.7 | 20.0 | 23.3 | 26.7 | 30.0 | 33.3 |
| | 40 | 2.5 | 5.0 | 7.5 | 10.0 | 12.5 | 15.0 | 17.5 | 20.0 | 22.5 | 25.0 |
| | 50 | 2.0 | 4.0 | 6.0 | 8.0 | 10.0 | 12.0 | 14.0 | 16.0 | 18.0 | 20.0 |
| | 60 | 1.7 | 3.3 | 5.0 | 6.7 | 8.3 | 10.0 | 11.7 | 13.3 | 15.0 | 16.7 |
| | 70 | 1.4 | 2.9 | 4.3 | 5.7 | 7.1 | 8.6 | 10.0 | 11.4 | 12.9 | 14.3 |
| | 80 | 1.3 | 2.5 | 3.8 | 5.0 | 6.3 | 7.5 | 8.8 | 10.0 | 11.3 | 12.5 |
| | 90 | 1.1 | 2.2 | 3.3 | 4.4 | 5.6 | 6.7 | 7.8 | 8.9 | 10.0 | 11.1 |
| | 100 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 | 9.0 | 10.0 |
| | 150 | 0.7 | 1.3 | 2.0 | 2.7 | 3.3 | 4.0 | 4.7 | 5.3 | 6.0 | 6.7 |
| | 200 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 |

Voorbeeld:

Stel: klei heeft een dichtheid van 1200 kg/m³ en veen van 120 kg/m³.

En stel: De kleifractie heeft een CEC heeft van 40 cmol/kg en de veen een CEC van 100 cmol/kg.

Uit de tabel valt dan af te leiden dat de CEC van 1 liter klei overeen komt met de CEC van 4,0 liter turf.