

NN31545.1633

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

Nota ICW 1633^{II}
augustus 1985



nota

— instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding . wageningen —

WATERHUISHOUDING POTPLANTEN

ir. M. de Graaf

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS



0000 0164 5650

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-middelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking

14 NOV. 1985

JSN 231304.02

I N H O U D

	Blz.
1. INLEIDING	1
2. LITERATUURSTUDIE	1
2.1. Algemeen	1
2.2. Reactie van potplanten op de watervoorziening	4
2.2.1. Droogte	4
2.2.2. Aeratie	11
2.3. Watergeefstrategie	12
3. VOORSTEL TOEKOMSTIG ONDERZOEK	16
LITERATUUR	20

1. INLEIDING

Tijdens het Waterhuishoudkundig Onderzoek Akker- en Tuinbouw (WOAT) is door het Proefstation voor de Bloemisterij in Nederland (PBN) te Aalsmeer de wens naar voren gebracht, onderzoek te verrichten naar de waterhuishouding van bloemisterijgewassen, in het bijzonder bij potplanten. Tussen het Proefstation en het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW) te Wageningen is afgesproken allereerst een literatuurstudie naar de waterhuishouding van potplanten uit te voeren. Vervolgens zou een voorstel voor nader onderzoek worden opgesteld.

In deze nota is een verslag van de literatuurstudie in een voorstel voor het toekomstige onderzoek opgenomen. Dit voorstel is in overleg met ir. C. de Krey van het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid (IB) te Haren opgesteld.

2. LITERATUURSTUDIE

2.1. Algemeen

De toediening van water aan potplanten dient frequent plaats te vinden. De gelimiteerde hoeveelheid substraat in de pot kan slechts een beperkte hoeveelheid water bergen. Bovendien is niet de gehele voorraad aan water in het natuurlijke of kunstmatige substraat gemakkelijk voor de plant opneembaar. Dit heeft tot gevolg dat wanneer geen automatische watergeefsystemen worden gebruikt, de benodigde arbeidstijd voor de watertoediening relatief hoog is. Indien het water met de slang wordt verstrekt, schatte SHEARD (1971) de arbeidskosten ten behoeve van watertoediening op ca. 20% van de totale arbeidskosten. Automatische watergeefsystemen kunnen echter voor een aanzienlijke arbeidsbesparing zorgen. Vanwege hoge economische waarde per plant is het echter belangrijker dat alle planten optimaal van water worden voorzien.

In de potplantenteelt levert uniformiteit binnen één partij potplanten belangrijke economische voordelen op. Aan watergeefsystemen wordt daarom de eis gesteld dat de waterverdeling gelijkmatig is. In de praktijk zijn er diverse systemen voor de toediening van water in gebruik (POST, 1976a). De meest bekende en eenvoudige wijze van watergeven is het van bovenaf toedienen van water met behulp van een slang of een beregeningsleiding. De uniformiteit van de watergift is dan meestal slecht en om ook de drogere potten van voldoende water te voorzien wordt er overgedoseerd. Het waterverbruik per m² kas is daardoor hoog.

Een andere mogelijkheid is om iedere plant te voorzien van een druppelaar. Het voordeel van deze methode is dat het blad droog blijft, hetgeen om redenen van ziektebestrijding wenselijk is. Het installeren van een druppelsysteem is echter arbeidsintensief zodat toepassing van dit systeem beperkt is tot planten die relatief een lange periode in de kas verblijven.

Door gebruik te maken van de capillaire werking van de potgrond kunnen de potplanten ook van onderaf van water worden voorzien. Een voorbeeld hiervan is het eb-vloed watergeefstelsel (POST, 1976b). In dat geval zijn de potplanten op een tafel geplaatst waarop regelmatig een laagje water van enkele centimeters wordt aangebracht. Gedurende de 'vloed'-stand zal door capillaire werking het substraat water opnemen. Een recente ontwikkeling bij dit systeem is om de planten op een betonnen vloer te plaatsen (WEEL, 1984). Bij systemen waarbij van onderaf water wordt toegediend, zal een duidelijk verloop van het vochtgehalte met de hoogte in de pot ontstaan. Onder in de pot zal het vochtgehalte hoog zijn en zal de luchtuitwisseling worden belemmerd. De O₂-toevoer naar de plantenwortels kan daardoor in gevaar komen. Boven in de pot is het vochtgehalte laag waardoor de wortels niet optimaal water kunnen opnemen. Bovendien treedt in de bovenste lagen accumulatie van zouten op. Voor potten die op een eb-vloed watergeefstelsel stonden, onderzochten SHARF en GRANTZAU (1985) het verloop van de N- en zoutconcentratie en de pH. Uit dit onderzoek bleek dat boven in de pot de zoutconcentratie belangrijk toenam. Voorts werd duidelijk dat onder in de pot de pH laag was, hetgeen vermoedelijk werd veroorzaakt door de geringe wortelactiviteit en de hiermee samenhangende lagere stikstofopname. Volgens SHARF en GRANTZAU (1985) was de verminderde wortelactiviteit onder in de pot voornamelijk te wijten aan de slechte

O₂-voorziening. De O₂-voorziening zou kunnen worden verbeterd door het water regelmatig te beluchten.

De relatief hoge frequentie waarmee water wordt toegediend, kan worden verlaagd door de beperkte voorraad aan water in de pot te vergroten. Dit is mogelijk door de potten in de kasgrond in te graven of op een zandbed te plaatsen. Als voorbeeld zijn in fig. 1 schematisch enige teeltsystemen weergegeven. Bovendien is de geschatte vergroting van de buffervoorraad aan water vermeld.

Zoals uit fig. 1 blijkt is bij het eb-vloed systeem de voorraad aan water beperkt tot de hoeveelheid die in de pot aanwezig is. De potplanten dienen daarom frequenter van water te worden voorzien.

OPREL (1981) deed een onderzoek op 19 potplanten bedrijven naar het waterverbruik en de kosten van de verschillende watergeefsystemen. Uit dit onderzoek bleek dat bij berekening van bovenaf het waterverbruik 36 à 100% hoger was dan bij druppel- of onderbevloeiing. Voorts bleek het waterverbruik van plastic potten 75% van het verbruik bij stenen potten te bedragen. De kosten van de toegepaste watergeefsystemen bleken onderling niet veel te verschillen, uitgezonderd het met de hand watergeven dat veel duurder was.

In veel gevallen wordt in de potplantenteelt gebruik gemaakt van regenwater dat in bassins is opgevangen. Grondwater kan in verband met kwaliteitseisen meestal alleen na hyperfiltratie worden gebruikt.

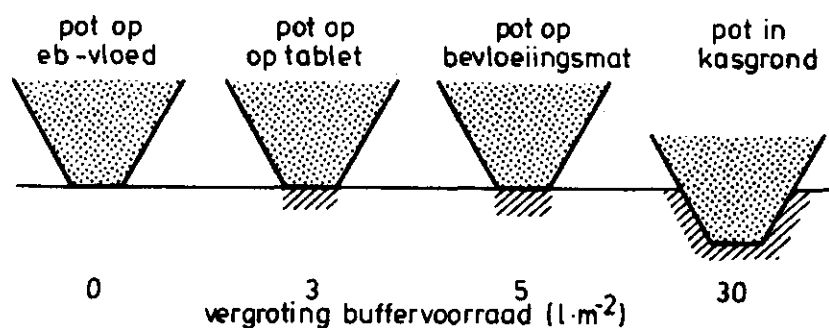


Fig. 1. Schematische weergave van enige belangrijke teeltsystemen waarbij de vergroting van de buffervoorraad aan water is vermeld (naar POUWER, 1983).

2.2. Reactie van potplanten op de watervoorziening

2.2.1. Droogte

Veelal worden potplanten in kassen geteeld. Het klimaat in een kas verschilt nogal van het klimaat in het open veld. Dit geldt met name voor de temperatuur, relatieve vochtigheid en windsnelheid. Het kas-klimaat resulteert meestal in een relatief hoge verdampingsvraag. Als gevolg van een niet-optimale watervoorziening zullen potplanten toch op eenzelfde wijze reageren als planten in het open veld. Echter de grootte van de reactie en het moment waarop de droogteverschijnselen ontstaan zullen verschillen vertonen. Verder is met name in de pot-plantenteelt de gewaskwaliteit een belangrijk aspect.

De vochttoestand in de plant wordt bepaald door de wateropname door de wortels en de waterafgifte aan de atmosfeer.

Om inzicht te krijgen in de processen als stroming van water door de bodem en opname van water door de plant, is kennis van de potentiaaltheorie noodzakelijk. Daarom zal nu in het kort worden ingegaan op de wijze waarop de waterpotentialen in de grond zijn samengesteld.

Het begrip potentiaal kan worden gedefinieerd als zijnde de potentiële energie per eenheid van massa. Deze definitie impliceert dat de potentiaal een relatieve waarde is.

De totale potentiaal van water in onverzadigde grond Ψ_t is opgebouwd uit een aantal deelpotentialen:

$$\Psi_t = \Psi_g + \Psi_m + \Psi_{p,ext} + \Psi_{osm} \quad (\text{J.kg}^{-1} \text{ of } \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}) \quad (1)$$

waarbij: Ψ_g = potentiaal veroorzaakt door zwaartekracht
 Ψ_m = potentiaal veroorzaakt door matrixkrachten
 $\Psi_{p,ext}$ = potentiaal veroorzaakt door externe druk
 Ψ_{osm} = potentiaal veroorzaakt door osmotische druk

Voor de meeste toepassing kon $\Psi_{p,ext}$ als een constante worden beschouwd. Indien alleen de potentiaalgradiënten van belang zijn, kon $\Psi_{p,ext}$ worden verwaarloosd:

$$\Psi_t = \Psi_g + \Psi_m + \Psi_{osm} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}) \quad (2)$$

In de hydrologie wordt echter bij voorkeur met de potentiaal op gewichtsbasis gerekend: $h = \frac{\Psi}{g}$, waarin ($m \cdot s^{-2}$) is

$$h_t = h_g + h_m + h_o \quad (m) \quad (3)$$

Met behulp van de Wet van Darcy kan de 1-dimensionale stroming van water door de onverzadigde zone als volgt worden weergegeven:

$$q = K(h) \cdot \frac{\partial h}{\partial z} \quad (m \cdot s^{-1}) \quad (4)$$

waarbij: q = flux van water per tijd- en oppervlakte-eenheid
 $K(h)$ = hydraulisch geleidingsvermogen als functie van h_m ($m \cdot s^{-1}$)
 z = diepte, bijvoorbeeld ten opzichte van maaiveld (m)

Voor de opname en afgifte van water door de plant is voorts de waterpotentiaal in het blad h_ℓ en in de atmosfeer h_a van belang. In fig. 2, ontleend aan SLAYTER (1967), zijn veel voorkomende waarden van de waterpotentiaal van bodem h_m , blad h_ℓ en lucht h_a gedurende een uitdrogingsperiode weergegeven.

Uit fig. 2 blijkt dat bij uitdroging, h_m meer negatief, de waarde van h_ℓ ook afneemt. Met de waarde van de potentiaal in het blad h_ℓ kan de vochttoestand van de plant worden gekarakteriseerd. Indien de bladwaterpotentiaal beneden een bepaalde waarde komt, zullen de groei- en

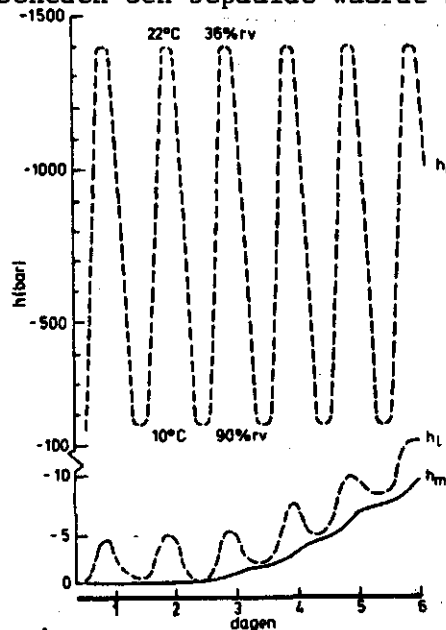


Fig. 2. Representatieve waarden voor de waterpotentiaal in de bodem h_m , blad h_ℓ en atmosfeer h_a in cm gedurende een periode van uitdroging bij dagelijks constante meteorologische omstandigheden

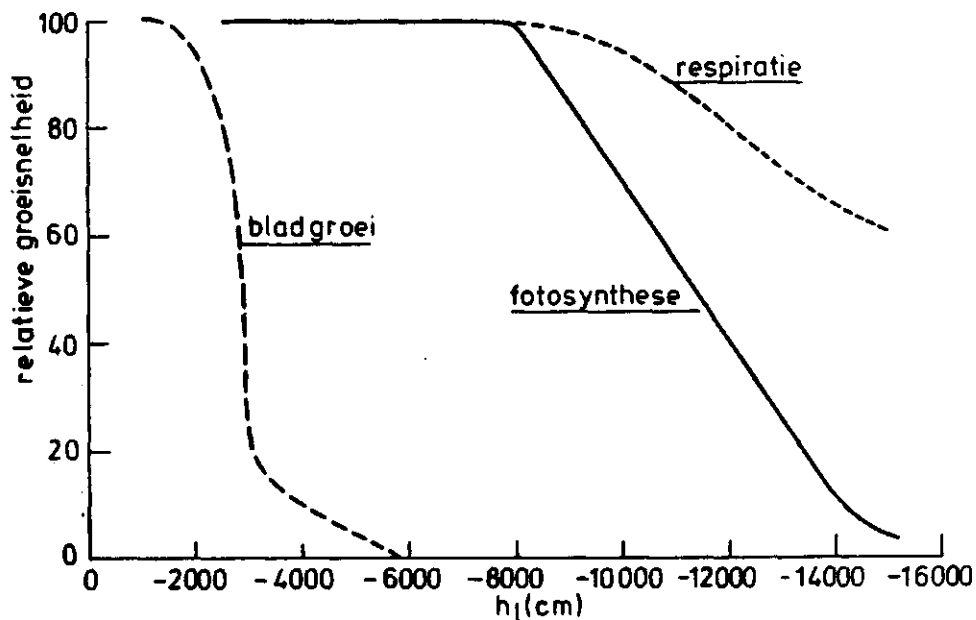


Fig. 3. De relatieve groeisnelheid (optimaal = 100%) in procenten van de bladgroei, fotosynthese en respiratie uitgezet tegen h_l in cm (naar HARTGE en WIEBE, 1977)

cessen zoals fotosynthese, respiratie en celstrekking- en deling worden vertraagd. Uit onderzoek is echter bekend dat deze waarde verschillend is voor de genoemde groeiprocessen. In fig. 3 is het verband tussen enerzijds bladgroei, fotosynthese- en respiratiesnelheid en anderzijds de waterpotentiaal in het blad, h_l weergegeven.

Uit fig. 3 is af te leiden dat voor waarden van h_l in het traject van -2000 tot -4000 cm de bladgroei sterk wordt gereduceerd. De fotosynthese- en respiratiesnelheid nemen af indien de waarde voor h_l lager wordt dan ca. -10 000 cm. Voorts blijkt dat de respiratie minder wordt gereduceerd dan de fotosynthese, waardoor de netto fotosynthese sneller wordt verminderd als op grond van de fotosynthese curve, zoals in fig. 3 is aangegeven, zou worden verwacht. In het geval dat de h_l -waarden zich bevinden in het traject van -4000 tot -10 000 cm zal de bladgroei wel worden gereduceerd maar de fotosynthese snelheid niet. Hierdoor zal de plant kleinere, dikkere bladeren gaan vormen die zijn opgebouwd uit kleinere cellen. Aldus ontstaat een kortere en meer gedrongen plant. Hieruit blijkt dus dat de watervoorziening nauw samen-

hangt met de kwaliteit van de plant.

Veelal wordt in proeven niet h_o gemeten maar de drukhoogte h_m van het water in de bodem. De waarde voor h_m wordt veroorzaakt door de matrixkrachten in de bodem, en kan met tensiometers worden gemeten. Voor een bepaalde plant is de kritieke waarde van de drukhoogte h_{krit} waaronder de groei van de plant wordt gereduceerd, niet constant maar onder andere afhankelijk van de potentiaal van het water in de atmosfeer h_a . FEDDES et al (1978) beschrijft dit verschijnsel door h_{krit} afhankelijk te stellen van de potentiële transpiratie. In het LAGO-rapport (1984) zijn waarden voor h_{krit} opgenomen voor enige akker- en tuinbouwgewassen. Hieruit blijkt dat h_{krit} voor de meeste gewassen varieert tussen -100 en -1000 cm.

In de potplantenteelt wordt de watergift in de regel gecombineerd met de toediening van meststoffen. En in perioden waarin de verdamping hoog is, verloopt de opname van water relatief sneller dan de opname van voedingselementen. De zoutconcentratie in het substraat neemt daardoor toe. De hogere zoutconcentratie heeft tot gevolg dat de weerstand voor de opname van water door de plant wordt vergroot. Voor de potentiaal die de wortels moet aanleggen om water aan de bodem te onttrekken h_p geldt:

$$h_p = h_m + h_o \quad (\text{cm}) \quad (5)$$

Bij hoge zoutconcentraties wordt h_o meer negatief en kan in eenzelfde orde van grootte komen als h_m (ARNOLD BIK, 1969). HILLEL (1980) en LETEY (1968) stelden dat pas bij h_m -waarden kleiner dan -250 à -1000 cm, h_o een niet te verwaarlozen grootte gaat aannemen. In de potplantenteelt komt h_m meestal niet lager dan -100 cm.

ARNOLD BIK (1969) verrichte proeven met gloxinia's waarin 3 vochttrappen werden aangebracht. Dagelijks werden de potplanten van water voorzien en op verzadigingsgraden gebracht van 90, 65 en 40%. Deze waarden kwamen overeen met gemiddelde drukhoogten in de pot van respectievelijk -25, -80 en -6300 cm. Bovendien werden in de proef 5 stikstofniveaus ingesteld. In fig. 4 zijn enkele resultaten van ARNOLD BIK (1969) samengevat.

Zoals uit fig. 4 blijkt, treedt al reductie in de droge stofproductie op bij een ingestelde gemiddelde drukhoogte in de pot van -80 cm.

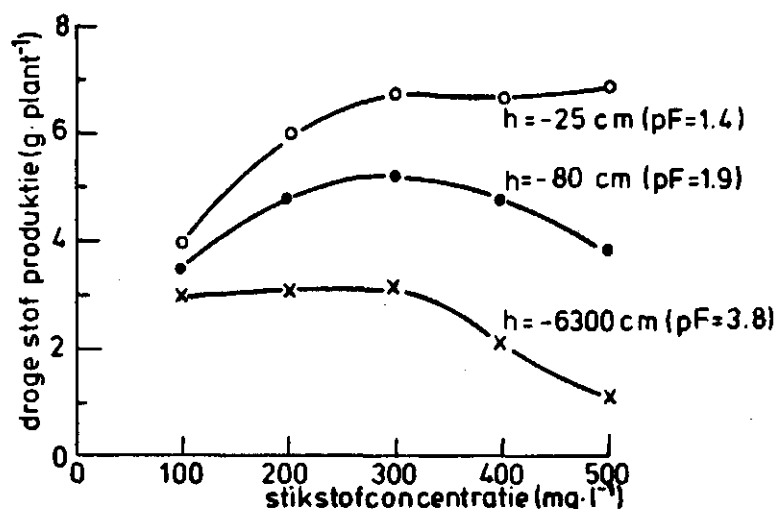


Fig. 4. De droge stofproduktie als functie van de N-concentratie in het toegediende water voor de 3 ingestelde vochttrappen. Ontleend aan ARNOLD BIK (1969)

Voorts blijkt uit fig. 4 dat de verschillen in droge stofproduktie tussen de vochttrappen toenemen naarmate de N-concentratie in het toegediende water hoger wordt. Dit wordt veroorzaakt doordat lage N-concentratie de groei van de planten vertragen. De watervoorziening is dan minder beperkend dan de N-concentratie. Bij hoge N-concentratie nemen de verschillen in produktie sterk toe. Bij de gemiddelde drukhoogten van -80 en -6300 cm neemt de produktie af bij verhoging van de N-gift. Waarschijnlijk is dit het gevolg van de hoge N-concentratie die een verlagende werking heeft op de osmotische druk en aldus het effect van uitdroging versterkt. MORGAN et al (1981) deed een onderzoek naar de produktie van stekken van *Nephrolepis exaltata* in relatie tot de vochtvoorziening in de potgrond. De potgrond was samengesteld uit het luchtigemengsel van 50% veen en 50% Perlite. De toediening van water geschiedde op basis van h_m in de grond. De volgende waarden van h_m werden ingesteld: -50, -100, -200, -300 en -400 cm. In fig. 5 waarin de droge stofopbrengst van de stekken is uitgezet tegen h_m , blijkt de optimale drukhoogte te liggen tussen -50 en -100 cm. De optimum waarden voor de verse stofproduktie liggen waarschijnlijk hoger. BOODT et al (1971) vond voor de lengtegroei van *Ficus elastica* optimale drukhoogten in het substraat van -20 tot -50 cm.

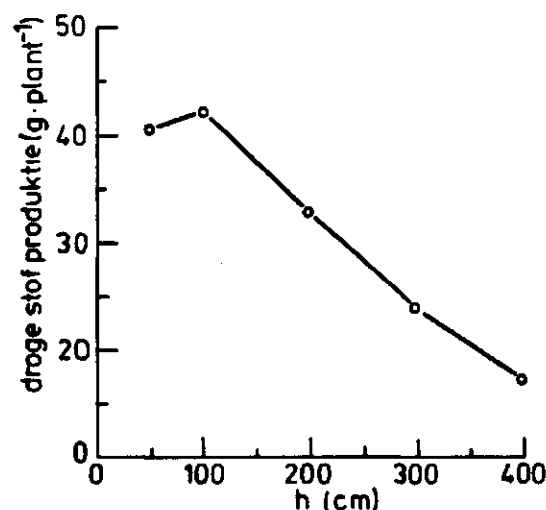


Fig. 5. De droge stofproduktie van *Nephrolepis exaltata* uitgezet tegen de drukhoogte in de grond h_a

Uit bovengenoemde onderzoeken blijkt dat in de potplantenteelt de optimale drukhoogte te liggen in het traject tussen -20 en -50 cm. Deze waarden zijn opmerkelijk hoger, minder negatief, dan de waarden van -100 tot -1000 cm die voor akkerbouwgewassen worden gehanteerd. Waarschijnlijk hangt dit ook nauw samen met de fysische eigenschappen van de potgronden die bij een relatief hoge drukhoogte toch nog een voldoende hoog luchtgehalte verkrijgen.

Het toestaan van een lichte mate van uitdroging kan bij de teelt van potplanten soms ook tot positieve effecten leiden. Uit onderzoek van JOHNSON et al (1981) bleek dat door het minder frequent water toedienen de houdbaarheid van *Ficus* planten werd vergroot. De lengtegroei werd hier wel door vertraagd. ROBERT et al (1981) rapporteert een verminderde bloemuitval bij Chrysanten als gevolg van het onder drogere omstandigheden telen. REIMHERR et al (1979) deed proeven met *Euphorbia* eulgens waarbij water met verschillende frequenties werd toegediend. Hieruit bleek dat bij hoge frequenties en dus hoge vochtgehalten, de planten later in bloei kwamen.

Onderling kunnen de reacties aan potplanten op uitdroging verschillen. MARFA et al (1983) vergeleek de verschillen in reactie tussen *Asplenium nidus* Avi en *Cyclamen persicum* Mill. Uit dit onderzoek bleken de huidmondjes in het blad van *Asplenium* bij een drukhoogte h_ℓ van -7000 cm te sluiten. Volledige sluiting werd bereikt bij $h_\ell = -15\ 000$ cm.

Voor Cyclamen lagen deze grenzen op respectievelijk -2000 en -24 000 cm. Voorts bleek dat na herstel van de droogtestress de groeisnelheid van de Cyclamen niet meer het niveau bereikten van voor de proef. Blijkbaar is er sprake van een blijvend schadelijk effect. Asplenium daarentegen bleek na enige dagen wederom de initiële groeisnelheid te hebben bereikt.

Echter niet alleen tussen rassen maar ook tussen cultivars zijn verschillen in droogteverschijnselen te onderkennen. CEULEMANS et al (1979) onderzocht de reacties van de Azalea cultivars 'H. Vogel' en 'R. Ambrosius'. Er werd met name gekeken naar de stomatale weerstand als functie van bladwaterpotentiaal. In fig. 6 zijn de uitkomsten uitgezet. Uit fig. 6 blijken de verschillen die tussen de cultivars optreden. De stomatale weerstand van de cultivar 'R. Ambrosius' blijkt relatief minder snel toe te nemen, waardoor deze cultivar minder gevoelig voor droogte is. CEULEMANS e.a. (1979) verklaart deze verschillen op basis van de stengel-wortel ratio. Zo wordt aangenomen dat de cultivar 'R. Ambrosius' die een relatief groter wortelstelsel bezit, daardoor een grote aanpassingsvermogen heeft aan droge omstandigheden.

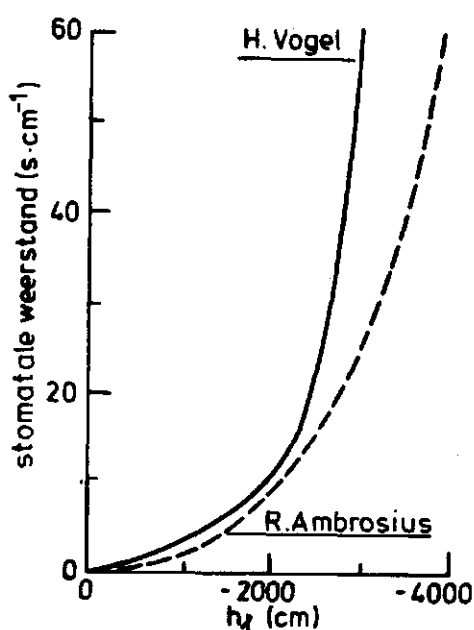


Fig. 6. De stomatale weerstand uitgezet tegen de bladwaterpotentiaal h_l voor de Azalea cultivars 'H. Vogel' en 'R. Ambrosius' (ontleend aan CEULEMANS et al., 1979)

2.2.2. Aeratie

De wortels van een actief groeiende plant gebruiken O_2 en produceren CO_2 . Een goede aeratie in de potgrond is daarom noodzakelijk voor een goede O_2 -voorziening van de wortels en de afvoer van CO_2 .

Het transport van O_2 naar de plantenwortels verloopt via diffusie door de luchtgevulde poriën en vervolgens door de waterfilm die zich rondom de wortels bevindt.

De diffusiesnelheid van een gas door de met luchtgevulde poriën, kan met de volgende diffusievergelijking worden beschreven:

$$q_g = - D_s \frac{\partial C}{\partial z} \quad (\text{g.s}^{-1}.\text{cm}^{-2}) \quad (6)$$

waarbij: q_g = flux van het gas per tijd- en oppervlakte-eenheid
($\text{g.s}^{-1}.\text{cm}^{-2}$)
 D_s = diffusiecoëfficiënt van het gas in de bodem ($\text{cm}^2.\text{s}^{-1}$)
 C = concentratie van het gas (g.cm^{-3})
 z = diepte (cm)

Als gevolg van de beperkte hoeveelheid luchtgevulde poriën is de diffusiecoëfficiënt van een gas in de bodem D_s lager dan in de lucht D_a . De relatie tussen de diffusiecoëfficiënten D_a en D_s is als volgt:

$$\frac{D_s}{D_a} = a \cdot (\epsilon_g)^b \quad (-) \quad (7)$$

waarbij: ϵ_g = luchtgehalte ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$)
 a, b = constanten

Wat de diffusiecoëfficiënt van O_2 in de bodem D_s , O_2 betreft leidt BAKKER (1985) af dat bij waarden groter dan $30.10^{-4}.\text{cm}^2.\text{s}^{-1}$ geen O_2 -gebrek is te verwachten. In geval van actief groeiende planten is bij D_s , O_2 -waarden lager dan $1,5.10^{-4}.\text{cm}^2.\text{s}^{-1}$ vrijwel altijd sprake van een onvoldoende O_2 -voorziening voor de plantenwortels.

Nadat de O_2 via de gasfase tot nabij de wortels is gediffundeerd, zal de O_2 door de waterfilm, welke zich rondom de wortels bevindt, moeten diffunderen. Weliswaar is de dikte van de waterfilm gering (ca. 0,038 cm), toch vormt deze een extra weerstand als gevolg van van de lage diffusiecoëfficiënt van O_2 in vloeibaar water. De diffusiecoëfficiënt van O_2 in water is namelijk circa een factor 10^4 lager dan die

van O_2 in lucht. Voorts geldt dat bij toenemende vochtgehalten, de dikte van de waterfilm ook toeneemt.

Voor een verdere beschouwing betreffende bodemaeratie en de fysische beschrijving ervan, wordt verwezen naar WESSELING (1974).

Voor een voldoende luchthuishouding wordt in de potplantenteelt de eis gesteld dat het volume luchtgehalte minimaal $0,20 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ moet bedragen. Dit is echter een weinig gefundeerde waarde die niet op metingen aan potplanten is gebaseerd. Het meten van het O_2 -transport door de potgrond is mogelijk. Met behulp van een ODR (Oxygen Diffusion Rate)-meter kan de maximale O_2 diffusie naar een platina elektrode worden gemeten (o.a. LEMON and ERICKSON, 1952; WIERSUM, 1967). Deze ODR-meting representeert het potentiële O_2 -transport naar de plantenwortels. LETEY et al (1962, 1965) heeft de ODR-meting in verband gebracht met de groei van gewassen. Voor een normaal groeiend gewas werkt een ODR van $0,40 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ of hoger niet belemmerend voor de plantengroei. Simulatie van het O_2 -transport is ook mogelijk met behulp van een wiskundig model (NOORDWIJK en RAATS, 1984a en 1984b).

In de potplantenteelt wordt relatief nat geteeld en na toediening van water zal het luchtgehalte laag zijn. De verdamping kan het luchtgehalte weer snel op een aanvaardbaar niveau brengen. In de winter zal als gevolg van de lage stralingsflux en de korte daglengte, de verdamping laag zijn, zodat na het watergeven het vochtgehalte gedurende een langere periode hoog is. Problemen wat de aeratie in de potgrond betreft doen zich dan ook met name in de winter voor (ARNOLD BIK, 1973). Bovendien zijn in de afgelopen jaren energiebesparende maatregelen genomen, zoals minder ventileren, isolatie aanbrengen en gebruik van dubbeldek of schermdoek, die alle een lagere verdamping tot gevolg hebben. Onderzoek op dit gebied heeft echter nog nauwelijks plaatsgevonden.

Een mogelijkheid om de luchthuishouding te verbeteren is onder andere het toevoegen van Perlite aan de potgrond. Perlite beïnvloedt de fysische eigenschappen van het substraat zodanig dat een luchtiger mengsel ontstaat (WILSON, 1983).

2.3. Watergeefstrategie

De watergeefstrategie is in principe vastgelegd door de grootte van de gift en de frequentie van toediening (voor eb-vloed watergeefsystemen betekent dit de tijd dat het water op de tafel staat, de vloedhoogte

en de frequentie). De watergeefstrategie dient afgestemd te zijn op de vochttoestand in de pot. De vochttoestand in de pot kan met bijvoorbeeld tensiometers worden gemeten of kan als restterm uit de waterbalans worden berekend.

In geval de vochttoestand wordt berekend uit de waterbalans dient onder andere de actuele verdamping bekend te zijn. De verdamping in kassen is echter een moeilijk te voorspellen grootte. Dit wordt veroorzaakt door de invloed op de verdamping van onder andere groei van plant, type watergeefstelsel, stoken, ventileren en schermen. Bovendien treden in een kas verschillen in verdamping op tussen de planten onderling. In geval geen luchttransport door ventileren optreedt, toonde STANGHELLINI (1983) aan dat een op PENMAN gefundeerde combinatieformule geschikt is voor de berekening van de potentiële verdamping van tomaten in kassen. Door zowel de aerodynamische weerstand als de hoeveelheid straling die door de plant wordt geabsorbeerd aan te passen, zal de geldigheid kunnen worden uitgebreid tot andere gewassen. DE GRAAF et al (1981) relateerde evaporatie en transpiratie aan de buiten de kas gemeten globale straling. Indien rekening werd gehouden met het groeistadium van de plant en de stookinvloed bleek er een goede correlatie tussen dagelijkse waarden voor de verdamping en de globale straling te bestaan. Uit het onderzoek van DE GRAAF (1981) was, opmerkelijk dat gedurende de nacht een significante transpiratiesnelheid werd gemeten. GUTTORMSEN (1974) vond een goede correlatie tussen de in de kas bepaalde 'pan'-evaporatie en de verdamping. STANLEY en HARBAUGH (1984) gebruikte de gewaslengte als extra parameter in de relatie tussen verdamping en 'pan'-verdamping. Aldus was deze relatie onafhankelijk van het groeistadium van de plant.

Een belangrijk nadeel van bovengenoemde, empirische relaties is de beperkte geldigheid ervan. Voor vrijwel elke variatie van kas en plant, dient de relatie opnieuw te worden bepaald. Voor praktische doeleinden lijken deze methoden minder geschikt. Het direct meten van de vochttoestand in de pot zou daarom de voorkeur verdienen.

FRENZ et al (1983) ontwikkelde een automatisch watergeefstelsel voor potplanten waarbij het tijdstip van watergeven door tensiometers werd vastgesteld. De tensiometers werden in een beperkt aantal potten geïnstalleerd: 'Pilot'-planten. Het water werd met behulp van druppelaars toegediend. FRENZ et al (1983) testte dit systeem voor verschillende rassen. De watertoediening bleek zodanig te zijn dat de vochttoestand

in de potten bevredigend was. Een voorwaarde voor het functioneren van dit systeem is dat de 'Pilot'-planten op een representatief niveau verdampen. Voorts dienden men attent te zijn op insluiting van lucht in de tensiometers. OLIRO FELIPO et al (1978) deden ook onderzoek met een dergelijk watergeefstelsel. Evenals uit het onderzoek van Frenz kwamen FELIPO e.a. (1978) tot bevredigende resultaten. De tensiometers bleken geschikt te zijn om het tijdstip waarop water moet worden toegediend te bepalen. Daarentegen lukte het niet om de tensiometer te gebruiken voor de vaststelling van het tijdstip waarop de watertoediening moet worden beëindigd. Vermoedelijk hangt dit samen met de heterogene vochtverdeling en de insteltijd van de tensiometer.

GRANTZAU (1985) vergeleek in een praktijkproef de volgende sturingsmethoden ter bepaling van de watertoediening:

- tijdschakelaar
- tensiometer
- stralingsmeter
- vochtvoeler in potgrond
- vochtvoeler in mat

In de praktijk wordt veel waarde toegekend aan het verkrijgen van een homogeen produkt. De watertoediening dient afgestemd te zijn op de droge planten zonder dat andere planten aeratie problemen vertonen. Grantzau bekeek daarom het relatieve aandeel uitgedroogde potkluiten voor elk watergeefstelsel apart. In fig. 7 zijn de resultaten hiervan schematisch weergegeven. Uit fig. 7 is af te leiden dat met name de sturing met tensiometers en vochtvoeler in plant voor een voldoende watertoevoer voor vrijwel alle planten garant staat. Het waterverbruik bleek voor de systemen ongeveer gelijk uitgezonderd voor de voeler in de mat, waarbij het verbruik tweemaal zo hoog was. Als meest bedrijfszeker systeem wordt de tijdschakelaar vermeld. De tijdschakelaar vereist echter ook de meeste ingrepen om de watertoediening af te stemmen op de verdamping.

Indien de watergift niet afgestemd wordt op de verdamping, zullen de verliezen aan water- en meststoffen toenemen. In het onderzoek van MORGAN et al (1981) werden de verliezen gemeten bij twee besturingsmethoden voor de watertoediening. Er werd met vaste tijden water toegediend en op basis van tensiometers. De gebruikte potplanten waren *Nephrolepis exaltata* en het substraat was samengesteld uit 1 deel veen

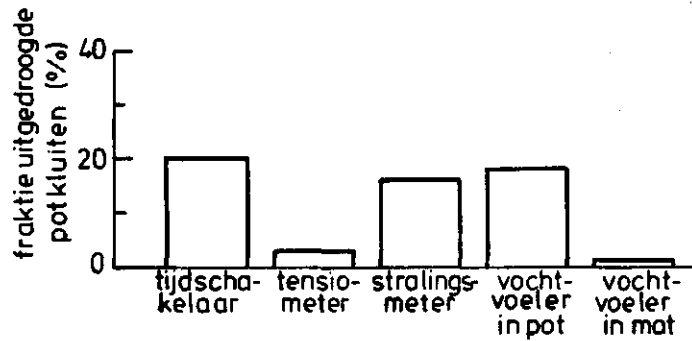


Fig. 7. De fractie uitgedroogde potkluiten in % uitgezet tegen de wijze van sturing ter bepaling van het tijdstip van watertoediening

en 1 deel perlite. In fig. 8 zijn de waterverliezen per pot per week uitgezet tegen de tijd voor de twee verschillende sturingsmethoden. Uit fig. 8 blijkt dat in de eerste 8 weken grote verliezen optreden bij toepassing van een constante gifgrootte en frequentie, omdat dan geen rekening wordt gehouden met het groeistadium. De verliezen aan water bij gebruik van tensiometers blijken relatief klein te zijn.

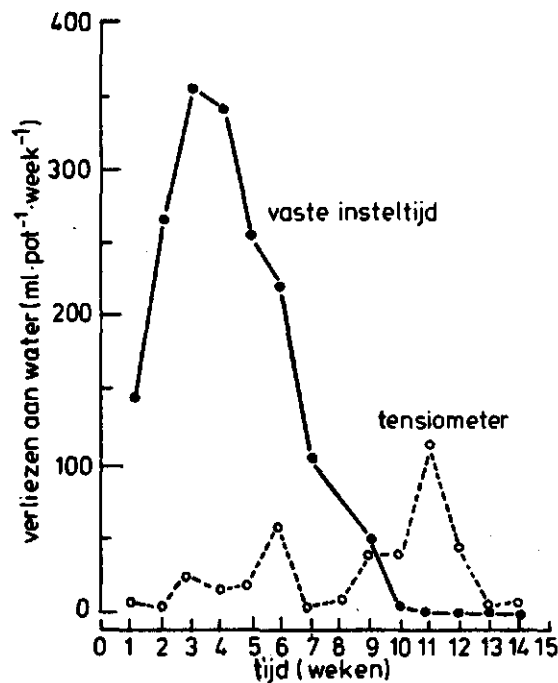


Fig. 8. De verliezen aan water bij toediening op basis van tensiometers en vaste tijden, uitgezet tegen de tijd

De watergeefstrategie wordt voorts bepaald door de fysische eigenschappen van het substraat. Een groot deel van de in de handel zijnde potgronden wordt beoordeeld door de RHP (Rijksregeling Handels Potgronden). De beoordeling vindt onder andere plaats op basis van de volgende criteria:

- totale porositeit groter dan 85% vol. procenten
- volume luchtgehalte bij $pF = 1,5$ groter dan 25%
- volume vochtgehalte bij $pF = 1,5$ groter dan 45%

Voordat de bepaling wordt verricht, wordt de grond samengedrukt met een druk van 0,1 bar (BOERTJE, 1983). Door ARNOLD BIK (1983) is een literatuuroverzicht gegeven betreffende het fysisch onderzoek van potgronden. Dit onderzoek heeft zich meestal beperkt tot de vocht karakteristiek, totale porositeit en krimpgevoeligheid. Het capillair geleidingsvermogen is vrijwel nooit in het onderzoek betrokken, terwijl met name bij het watergeven van 'onderaf' het geleidingsvermogen bepalend is voor het vochtverloop in de pot.

De fysische samenstelling van potgrond dient afgestemd te zijn op het type watergeefstelsel. Zo is bijvoorbeeld voor een eb-vloed watergeefstelsel een luchtige potgrond noodzakelijk om aeratie problemen te voorkomen (BEUZENBERG, 1985). Om een luchtiger mengsel te verkrijgen wordt in toenemende mate kunstmatige substraten zoals vermiculite, perlite en polyurethaan, toegevoegd. De invloed van bijmenging van deze producten op de fysische eigenschappen wordt onder andere beschreven door VERDONCK (1983) en WILSON (1983).

3. VOORSTEL TOEKOMSTIG ONDERZOEK

Bepaling van de optimale combinatie tussen watergeefstrategie en fysische eigenschappen van de potgrond bij met name het eb-vloed watergeefstelsel.

Probleemstelling

Toediening van water en voedingsstoffen is in veel gevallen afhankelijk van de subjectieve beoordeling van de teler. Objectieve criteria ontbreken en vormen een belemmering voor de invoering van geautomatiseerde systemen, zoals het eb-vloed systeem. Het eb-vloed systeem heeft echter belangrijke voordelen:

- a. arbeidsbesparend;
- b. tegengaan onnodige verdamping, hetgeen uit energetisch oogpunt gewenst is;
- c. mogelijkheid tot grote ruimtebenutting van de kas;
- d. door hergebruik van de voedingsoplossing is enerzijds besparing van meststoffen en water mogelijk en anderzijds treedt geen belasting van het milieu op.

Het ontwikkelen van objectieve criteria vereist onder andere een goed inzicht in de relatie tussen watergeefstrategie en fysische eigenschappen van de potgrond.

Bovendien dienen de eisen die de plant stelt aan de vochtvoorziening in de pot bekend te zijn. Wat het voor planten optimale vochtgehalte in de potgrond betreft ontbreekt met name kennis omtrent het benodigde minimale luchtgehalte. Voor de ademhaling van plantenwortels is immer O_2 nodig. Door de geringe diffusiesnelheid van O_2 door water, kan bij hoge vochtgehalten in het substraat de O_2 -toevoer onvoldoende worden. Om de planten optimaal te laten groeien hanteert men in het algemeen de eis dat het luchtgehalte minimaal 0,20 moet bedragen. Dit is echter een weinig gefundeerd getal en bovendien is niet bekend of dit minimum geldig is voor de gehele pot danwel een gemiddelde waarde is. Uit de praktijk is bekend dat problemen met betrekking tot de luchthuishouding zich met name in de winter voordoen. De verdampingsvraag is dan laag waardoor na het watergeven het vochtgehalte in de pot gedurende langere tijd hoog blijft. Bovendien zijn in de afgelopen jaren diverse energiebesparende maatregelen genomen zoals isolatie van de kas, minder ventileren en het aanbrengen van een schermdoek of dubbeldek. Al deze maatregelen leiden tot een lagere verdamping waardoor de kans op O_2 tekort in het substraat wordt vergroot.

Doel

Bij een bepaald watergeefstelsel wordt de strategie in principe vastgelegd door de frequentie en de grootte van de gift. Voor eb-vloed systemen betekent dit de tijdsduur dat het water op de tafel staat, de hoogte van de vloedstand en de frequentie. Deze variabelen dienen onder andere ingesteld te worden op basis van de fysische eigenschappen van de potgrond. De eigenschappen van de potgrond dienen zodanig te zijn,

dat de instelling van deze variabelen zeer ruim gekozen mogen worden. Dit heeft het voordeel dat automatisering eenvoudiger wordt. De ruime instelmogelijkheden mogen niet ten koste gaan van kwaliteit en kwantiteit van de planten.

Onderzoek zal gericht zijn op de juiste watergeefstrategie bij de verschillende potgronden. Er zijn echter veel combinaties mogelijk tussen watergeefstrategie, fysische eigenschappen en kasklimaat. Om tot een volledig inzicht te komen, zouden veel praktijkproeven nodig zijn.

Door een modelmatige benadering kan met minder proeven toch een volledig inzicht worden verkregen. Bovendien kan dit model worden ingezet om op een snelle wijze nieuwe potgronden te evalueren.

Wat de O_2 -huishouding betreft zullen eisen ten aanzien van de minimale luchtgehalten bij bepaalde drukhoogten, worden opgesteld.

Werkwijze

Er zal een model worden ontwikkeld die de waterstroming op een fysisch-mathematische wijze beschrijft en er zullen enkele proeven worden uitgevoerd.

Uitgaande van fysisch verschillende potgrondmengsel worden in proeven gedurende de teelt het verloop van het vochtgehalte met de hoogte van de pot gemeten. De drukhoogte zal worden vastgesteld met tensiometers. Voor de bepaling van het vochtgehalte zal worden getracht capacitieve sensoren in te zetten.

De maximaal mogelijk O_2 -diffusie zal met behulp van een ODR (Oxygen Diffusion Rate)-meter worden gemeten. Vervolgens zal de relatie worden bepaald tussen de gemeten O_2 -diffusie en de gewassenmerken zoals bewortelingsintensiteit, vers gewicht, bovengrondse delen en planthoogte. Hieruit is dan de minimale O_2 -diffusiesnelheid en het minimale luchtgehalte benodigd voor een optimale groei, af te leiden.

Op basis van de resultaten zullen directe adviezen voor de praktijk ten aanzien van de watertoediening worden opgesteld. Bovendien dienen de resultaten ten behoeve van het vaststellen van de randvoorwaarden en de calibratie en verificatie van het te ontwikkelen model.

Het model zal de waterstroming in een pot op een fysisch mathematische wijze beschrijven. De differentiaalvergelijkingen die het watertransport beschrijven worden met behulp van een eindige differentiemethode

(analoog aan het SWATRE model) opgelost. Als bovenrandvoorwaarde dient de verdampingsvraag in de kas. De onderrandvoorwaarde is bij toepassing van eb-vloed gedefinieerd als eb: flux = 0, vloed: drukhoogte = 0 (grondwaterstand). Voor beschrijving van het watertransport zullen de relaties tussen drukhoogte, hydraulische doorlatendheid en volumetrisch vochtgehalte worden bepaald.

Binnen een kas of binnen eb-vloed tafel bestaat er een variatie in verdampingsvraag, bodemfysische eigenschappen, vloedduur en vloedhoogte. Door variatie in de randvoorwaarden kunnen als deze gevallen worden doorgerekend. Als output worden onder andere alle termen van de waterbalans verkregen.

Tenslotte zal uit de resultaten de optimale watergeefstrategie geldig voor een bepaalde potgrond worden afgeleid.

Samenwerking ICW/IB

Een aantal van bovengenoemde proeven zal in samenwerking met het IB worden uitgevoerd. Een belangrijk voordeel van het eb-vloed systeem is de mogelijkheid tot hergebruik van water- en voedingstoffen. Hierbij worden dan specifieke eisen gesteld aan de kwaliteit van het gietwater en waarschijnlijk de samenstelling van de voedingsoplossing. Sturing van de voedingsoplossing vindt nu plaats op basis van de systemen zonder recirculatie. Bij recirculatie is er echter ook sprake van retourwater van wellicht andere samenstelling, wat uiteindelijk weer invloed heeft op de chemische samenstelling van de potgrond. Ten einde hier inzicht in te krijgen wordt een balans opgesteld voor enkele elementen. Om na te gaan in hoeverre ionenaanbod afgestemd is op de ionen- en wateropname zal er een relatie gelegd worden tussen het aanbod van water en ionen en de vraag.

Voor de goed oplosbare zouten, die voor het gewas belangrijk zijn (voeding en verzouting), kan door verdunning met water en bepaling van deze elementen in dat water, het totaalgehalte worden gemeten. Bovendien zullen de concentraties van de elementen in het gewas worden bepaald, zodat hiermee een balans per element opgesteld kan worden. Op basis van de uitkomsten zullen adviezen voor de praktijk wat de meststoftoediening betreft worden opgesteld.

LITERATUUR

- ARNOLD BIK, R., 1969. Vochtvoorziening, stikstofbemesting en interne waterbalans bij bloemisterijgewassen. *Tuinbouwmededelingen* 32: 373-379, 385.
- , 1973. Some thoughts on the physical properties of substrates with special reference to aeration. *Acta Horticulturae* 31: 151-160.
- , 1983. Substrates in Horticulture. Proc. XXI-st. Intern. Hort. Congress., 29th August - 4th September 1982, Hamburg, Vol. II: 811-822.
- BAKKER, J.W., 1985. Persoonlijke Mededeling.
- BEUZENBERG, M.P., 1985. 'Vitale' potgrond voorkomt wortelrot op eb-vloedstroom. *Vakblad voor de Bloemisterij* 40, 17: 28-29, 31.
- DE BOODT, M., O. VERDONCK and I. CAPPAERT, 1971. Determination and study of the water availability of substrates for ornamental plant growing. *Acta Horticulturae* 35: 51-58.
- BOERTJE, G.A. Physical laboratory of potting composts. *Acta Horticulturae* 150: 47-50.
- CEULEMANS, R.I., I. IMPENS and R. CABRIELS, 1979. Comparative study of leaf water potential, diffusion resistance, and transpiration of Azalea cultivars subjected to water stress. *Horticulturae Science* 14, 4: 507-509.
- FEDDES, R.A., P.J. KOWALIK and H. ZARADNY, 1978. Simulation of field water use and crop yield. *Simulation Monographs Series*, Pudoc, Wageningen.
- FELIPO ORIOL, M.T., M. DE BOODT, D. VERDONCK and I. CAPPAERT, 1978. Design of an automatic irrigation system. *Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent*, 43, 314: 1373-1387.
- FRENZ, F.W. and R. RÖBER, 1983. Automatic watering and fertilizing in greenhouses. *Acta Horticulturae* 133: 153-160.
- GRAAF, R. DE and J. VAN DER ENDE, 1981. Transpiration and evaporation of the glasshouse crops. *Acta Horticulturae* 119: 147-158.
- GRANTZAU, E., 1984. Bewässerungsautomation bei Topfplanzen, *Gb + Gw* 84, 33: 780-783.

- GUTTORMSEN, G., 1974. Effects of root medium and watering on transpiration, growth and development of glasshouse crops. Part II: The relationship between evaporation pon measurements and transpiration in glasshouse crops. *Plant and Soil* 40: 461-478.
- HARTGE, K.H. und H.J. WIEBE, 1977. Der Wasserzustand von Pflanze und Boden, sein Einfluss auf die Ertragsbildung und seine Bestimmung, *Gartenwissenschaft* 42, 2: 71-76.
- HILLEL, J., 1968. Movement of water through soil as influenced by osmotic pressure and temperature gradients, *Hilgardia* 39: 405-418.
- JOHNSON, C.R., D.L. INGRAM and J.E. BARETT, 1981. Effects of irrigation frequency on growth, transpiration, and acclimatization of *Ficus Benjamin* L. *Horticultural Science* vol. 1: 80-81.
- LANDBOUWKUNDIGE ASPECTEN VAN GRONDWATER ONTTREKKINGEN? LAGO., 1984. Werkgroep Landbouwkundige aspecten COGROWA, Utrecht.
- LEMON, E.R. and A.E. ERICKSON, 1952. The measurement of oxygen diffusion in the soil with a platinum microelectrode. *Soil Science Society American Proceedings* 16: 160-163.
- LETEY, J., L.H. STOLZY, N. VALORAS and T.E. SZUSZKIEWICZ, 1962. Influence of Oxygen Diffusion Rote on Sunflower growth at various soil and air temperatures. *Agronomy Journal* 54: 316-319.
- , L.H. STOLZY and N. VALORAS, 1965. Relationships between oxygen diffusion rate and even growth. *Agronomy Journal* 57: 91-92.
- , J., 1968. Movement of water through soil as influenced by osmotic pressure and temperature gradients. *Hilgardsen* 39: 405-418.
- MARFA, O. and F. SABATER, 1983. Effects of different substrates and irrigation regimes on crop and plant-water relationships of *Asplenium nidus-avis* Hort and *Cyclamen persicum* Mill. *Acta Horticulturae* 150: 337-348.
- MORGAN, D.L., B.W. HIPPI and R.W. JONES, 1981. Use of tensiometers in irrigation management of Roosevelt ferns. Publication Texas Agricultural Experiment Station No. PR-3879, 6 p.
- NOORDWIJK, M. VAN and P. DE WILLIGEN, 1984. Mathematical models on diffusion of oxygen to and within plant roots, with special emphasis on effects of soil-root contact. Part I: Derivation of the models; *Plant and Soil* 77: 215-231. Part II: Applications. *Plant and Soil* 77: 233-241.

- OPREL, C.J. VAN DER, 1976a. Mechanization in watering pot plants. *Acta Horticulturae* 64: 125-132.
- POST, C.J. VAN DER, 1976b. 'Eb-vloed-systeem': nieuwe methode water-voorziening *Vakblad voor de Bloemisterij* 31, 37: 58-59.
- POUWER, A., 1983. Mechaniseren van watergeven in potplantenteelt. *Vakblad voor de Bloemisterij* 38, 51/52: 52-55.
- REIMHERR, P. und U. GRADNER, 1979. Bodenfeuchte und temperatur bei *Euphorbia folgers*, *Deutscher Gartenbau* 33, 30: 1257-1258.
- RÖBER, R. and M. HAFEZ, 1981. The influence of different water supply upon the growth of *Chrysanthemums*. *Acta Horticulturae* 125: 69-78.
- SLAYTER, R.P., 1967. *Plant-water relationships*. Academic Press, New York. 366 p.
- STANTKELLINI, C., 1983. Evaporation of a greenhouse crop and its relationship to the supply of heat, IMAG, Wageningen, Research Report 83-6, 31 p.
- STANLEY, C.D. and B.K. HARBAUGH, 1984. Estimating daily water use for potted *Chrysanthemum* using pon evaporation and plant height. *Horticultural Science* 19, 2: p 287-288.
- SHARF, H.C. and E. GRANTZAU, 1985. Sauerstoff-Mangel bei Ebbe und Flut Setzt Schäden. *Gb + Gw* 85, 10: 410-411.
- SHEARD, G.F., 1971. The mechanisation of pot plant production in Britain. *Acte Horticulturae* 150: 27-34.
- VERDONCK, O., 1983. New developments in the use of graded perlite in horticultural substrates. *Acta Horticulturae* 150: 575-581.
- WEEL, P.A., 1984. Mechanisatie watergen en bemesten op betonvloeren. *Vakblad voor de Bloemisterij* 39, 5: 114-115, 117.
- WESSELING, J., 1974. Crop growth and wet soils. In: *Drainage for Agriculture*. Edt. J. van Schilfgaarde. Am. So. of Agronomy, Winconsin, USA, 30 p.
- WIERSUM, L.K., 1967. Potential subsoil utilization by roots. *Plant and Soil* 27: 383-400.
- WILSON, G.C.S., 1983. Analytical analyses of Perlite substrates. *Acta Horticulturae* 150: 41-46.