



PRAKTIJKONDERZOEK
PLANT & OMGEVING



BIBLIOTHEEK
PPO sector Bloembollen
Postbus 85
2160 AB Lisse
0252 462121

Waterbesparing in de Boomteelt

Ir. A.A. Pronk, Ing. M. de Beuze

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.
Sector Bomen
december 2001

ISBN 1671745

PPO 406



WAGENINGEN UR

© 2001 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, 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 B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Sector Bomen

Adres : Rijnveld 153, 2771 XV Boskoop
: Postbus 118, 2770 AC Boskoop
Tel. : 0172-236700
Fax : 0172-236710
E-mail : infobomen@ppo.dlo.nl
Internet : www.ppo.dlo.nl

Inhoudsopgave

1.	Inleiding: water en waterbeheersing in Nederland	4
2.	Gewasgroei en verdamping	5
3.	Beschikbaarheid van water voor gewasgroei	6
4.	Modelmatige benadering van gewasgroei en verdamping	8
4.1	Eenvoudige modelbenadering	8
4.2	Complexe modelbenadering 1	8
4.3	Complexe modelbenadering 2	9
4.4	De giftgrootte.....	10
5.	Beregeningsplanners.....	11
5.1	Het onderzoek.....	11
5.2	Resultaten onderzoek.....	11
5.2.1	Bodemkarakteristieken.....	11
5.2.2	Kritisch vochtgehalte.....	12
5.3	Beregeningsplanners	14
5.3.1	Implementatie.....	14
5.4	Kritische opmerkingen.....	14
6.	Conclusies en aanbevelingen	16
	Literatuur	17

1. Inleiding: water en waterbeheersing in Nederland

Nederland ligt voor ongeveer de helft onder water. In het gedeelte dat boven de zeespiegel ligt zijn de zandgronden bijzonder in trek voor de boomteelt. Een deel van deze zandgronden heeft een lage grondwaterstand en door de structuur een beperkt vochtleverend vermogen (droge zandgronden). In droge perioden is beregenen daarom nodig voor een optimale gewasgroei van de bomen (Pronk en Ravesloot, 1999). Te veel beregenen heeft echter nadelige gevolgen door het onnodig verlies aan waardevolle nutriënten (Pronk en Challa, 2000), de onnodige onttrekking van doorgaans grondwater en daarmee een mogelijke versnelling van een dalende grondwaterspiegel. Te veel beregenen brengt ook onnodige kosten met zich mee voor de ondernemer voor het uitvoeren van de beregening.

Met name in het zuidelijk zandgebied van Nederland stimuleren provinciale overheden een efficiënter waterverbruik door agrarische ondernemers (Optimaal waterbeheer, beregenen op maat, etc.).

Ook de boomteelt heeft te maken met deze regelgeving voor waterverbruik in de desbetreffende gebieden. Optimaal water geven is daarom ook in de boomteelt van groot belang. Optimaal water geven kan leiden tot een verbetering van de benutting van water en een efficiënter gebruik van grondwater.

Door de grote diversiteit van gewassen en de diversiteit van teeltsystemen binnen gewassen (o.a. grootte uitgangsmateriaal, teeltduur en plantdichtheid), is het niet eenvoudig om in de boomteelt zeer specifieke adviezen voor beregening te geven. In dit onderzoek, uitgevoerd door Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V., sector Bomen, wordt gewerkt met gewasgroepen (Wegwijzer 2000-2001 voor de boomkwekers, 2001), waarbij binnen gewasgroepen standaard teeltsystemen gebruikt worden. Voor het opstellen van beregeningsadviezen en voor het ontwikkelen van methoden voor een goede beregeningsstrategie van de boomkweker, wordt gebruik gemaakt van representatieve gewassen uit de verschillende gewasgroepen. De resultaten van deze individuele gewassen worden gebruikt voor beregeningsadviezen voor de gehele gewasgroep. Bovendien gaan we er vanuit dat de gewasgroepen verschillende waterbehoefte hebben. Er wordt geen rekening gehouden met de verschillende teeltsystemen.

Een verbetering van de waterbenutting kan met name gerealiseerd worden als de ondernemer het moment van beregenen afstemt op de vochttoestand van de bodem en als de dosering van de beregening aangepast wordt aan de diepte van de wortelzone en de bodemkarakteristieken (vochtbergend vermogen). Het doel van het uitgevoerde onderzoek is daarom om het moment van groeiremming door vochttekort in de bodem vast te stellen, het zogenaamde kritisch vochtgehalte. Het kritisch vochtgehalte is het moment dat de boomkweker een beregening moet uitvoeren voor een goede gewasgroei. Tevens is het doel van het onderzoek om beregeningsplanners te ontwikkelen, waarbij de methoden van planners uit andere sectoren gebruikt worden en geschikt gemaakt worden voor boomteelt (Bleumink en Buys, 1995; Boland et al, 1996). De parameters van deze beregeningsplanners worden in dit rapport gepresenteerd. Drie werkwijzen worden besproken met een toenemende complexiteit, waarbij de complexe benadering 2 nog een stapje uitgebreider is dan in de planners tot nu toe. De resultaten van dit onderzoek lenen zich voor een verdere automatisering van de watergift in de boomteelt in de vollegrond.

Het onderzoek is uitgevoerd op de droge zandgrond in het centrum van de onderzochte gewasgroepen, de locatie Horst-Meterik van Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. Het project werd uitgevoerd in samenwerking met de DLV Adviesgroep nv in opdracht van de LLTB. Het onderzoek werd gefinancierd door het Productschap Tuinbouw, met een bijdrage uit de 5b-subsidiegelden.

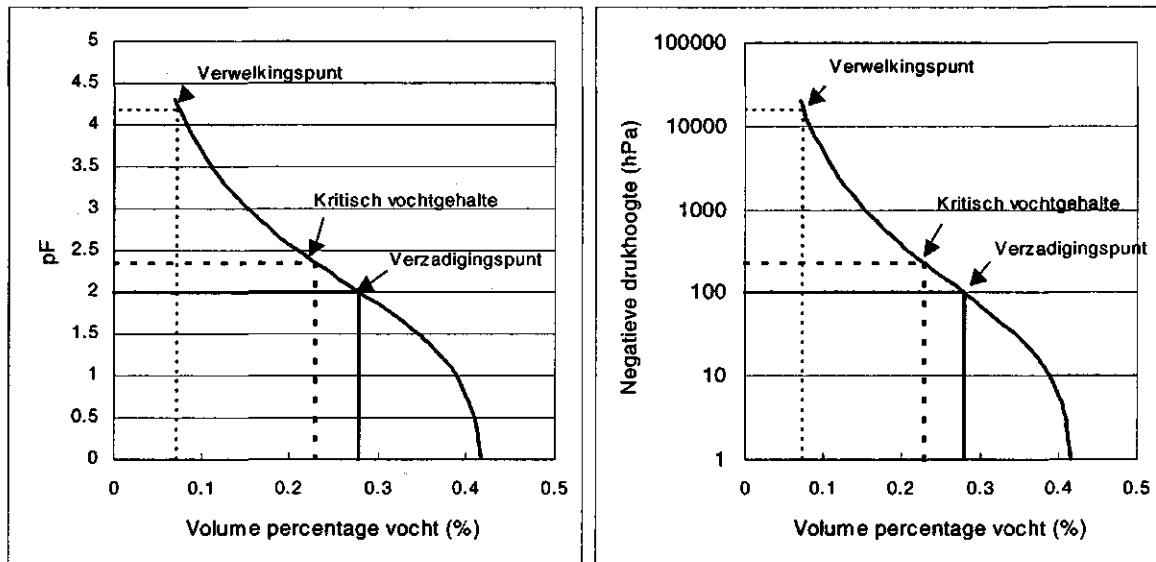
2. Gewasgroei en verdamping

Gewasgroei wordt primair gestuurd door energie in de vorm van licht. Planten vangen licht op met de bladeren en gebruiken dat om drogestof te vormen. Hiervoor is ook koolstofdioxide (CO_2) nodig uit de buitenlucht. Door de opening van het huidmondje op het blad, waar CO_2 door opgenomen wordt en zuurstof (O_2) als restproduct uitgescheiden wordt, verliest de plant waterdamp (H_2O). De omzetting van water naar waterdamp kost energie en wordt door de planten gebruikt om oververhitting door een overmaat van straling te voorkomen. Water is daarmee essentieel voor het gewas om de energiebalans in evenwicht te houden. Bij een zeer hoge straling op het blad is het verlies aan water vaak groter dan de aanvoer vanuit de wortels en ontstaat er een onderdruk in de plant (zichtbaar door het slap hangen van het gewas), verwelking. Hoe meer bladmassa per m^2 aanwezig is, hoe groter het verdampend oppervlak en hoe groter de vraag naar water vanuit de bodem. Bij verwelking worden de huidmondjes gesloten om verder waterverlies te voorkomen en stopt de drogestof productie van het gewas. Dit is direct een vermindering van de potentiële groei van het gewas. De plant regelt het openen en sluiten van de huidmondjes gradueel bij een toenemende hoeveelheid opgevangen straling en een toenemende onderdruk in het gewas. Bij een zeer lage wateropname vanuit de bodem, sluiten de huidmondjes sneller en treedt er eerder groeireductie op. Een goede vochtvoorziening in de wortelzone en het op tijd water geven is daarmee een belangrijke factor voor een goede gewasgroei.

3. Beschikbaarheid van water voor gewasgroei

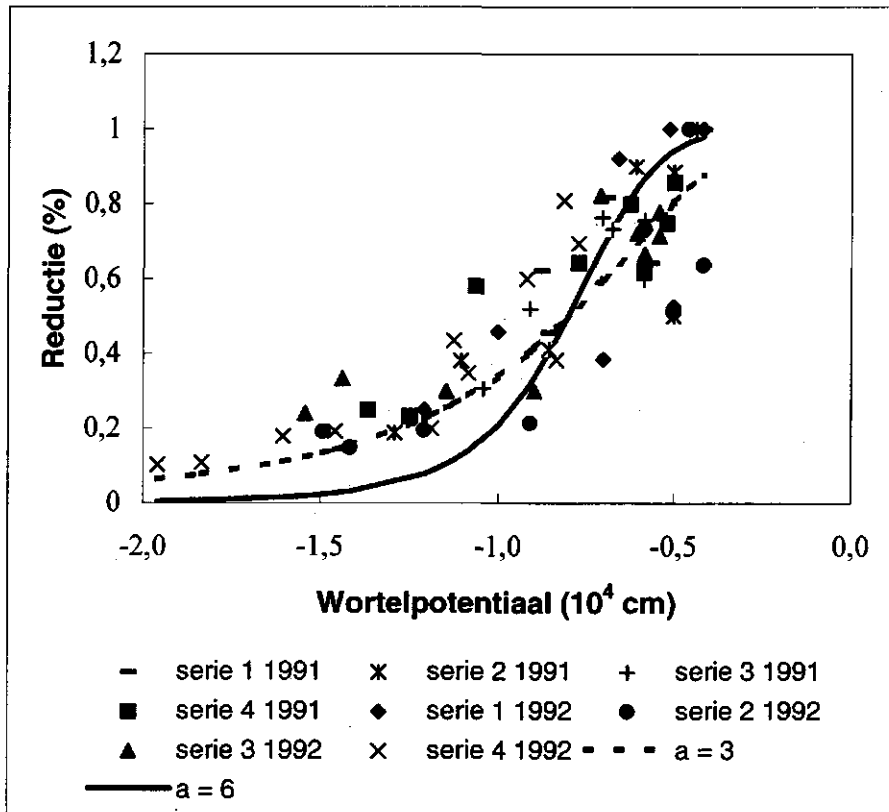
Voor vollegrondsteelten zijn algemene vochtspanningen van de bodem bekend waarbij het gewas onvoldoende water op kan nemen voor gewasgroei (Fig. 1). Tussen $pF=2$ (veldcapaciteit) en $pF=4.2$ (verwelkingspunt) kan het gewas voldoende water opnemen om te blijven leven en te groeien (Kuipers, 1956). Wordt een gewas gedurende een langere periode geteeld bij een $pF > 4.2$ dan zal het afsterven wegens vochttekort. De hoeveelheid water tussen $pF=2$ en $pF=4.2$ is de beschikbare hoeveelheid water voor gewasgroei, in het voorbeeld in figuur 1 en bijlage 1 is dat $502 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Groeiremming, het moment waarop de plant de huidmondjes gaat sluiten bij een naderend vochttekort, kan echter bij een veel lagere vochtspanning optreden (Richards en Wadleigh, 1952). Dit moment heet het kritisch vochtgehalte voor de beregening. Dit kritisch vochtgehalte kan sterk verschillen per gewas en is afhankelijk van de opnamekarakteristieken van de wortels, de hoeveelheid wortels en de verdeling van wortels in de bouwvoor. In de wortels wordt door de verdamping in de bladeren een vochtspanning opgebouwd, een wortelpotentiaal. Daarmee wordt het water uit de bodem aangezogen. De vochtspanning in de bodem neemt toe bij een voortdurende onttrekking van de wortels en er komt een moment waarop het water sterker aan de bodemdeeltjes gebonden zit dan dat de zuigkracht van de wortels is. De vermindering van de verdamping van het gewas door een verminderde wateropname in de wortels, wordt doorgaans beschreven met een zogenaamde transpiratie-reductiefunctie (Campbell, 1991). Deze functie laat zien dat dit evenals het sluiten van de huidmondjes een gradueel proces is. Het moment dat de helft van het water opgenomen wordt is het 50% punt. Een voorbeeld voor *Thuja* is gegeven in figuur 2 (in navolging van Heinen, 1997, gegevens van Edwards, 1993).

Figuur 1: Het verloop van het vochtgehalte in de zandgrond van de proeftuin Meterikse veld te Horst (zandgrond b2 van de Staring reeks, Wösten et al, 2001).



Aangegeven zijn het vochtgehalte bij verzadiging, verwelking en het kritisch vochtgehalte voor *Thuja*.

Figuur 2: Transpiratiereductie functie voor *Thuja*, gebaseerd op meetgegevens van Edwards (1994). De Campbell functie is gebruikt in navolging van Heinen (1997).



4. Modelmatige benadering van gewasgroei en verdamping

Een modelmatige benadering betekent dat de werkelijke en gecompliceerde processen op een vereenvoudigde wijze bekeken worden. Ook binnen modelmatige benaderingen kan een toenemende complexiteit voorkomen. Alle modelmatige benaderingen hebben tot doel om het moment te bepalen dat het kritisch vochtgehalte in de bodem bereikt is voor het desbetreffende gewas. De acties die daarna ondernomen moeten worden zijn voor alle benaderingen gelijk. De eerste modelmatige benadering is het eenvoudigste en voorziet in een aantal eenmalige bepalingen en regelmatig te herhalen bepalingen (door de ondernemer) om tot een beslissing te komen: Beregenen of niet. Bij de complexere benaderingen worden de regelmatig te bepalen waarnemingen (door de ondernemer) vervangen door berekeningen van deze waarden. Met deze waarden wordt het beslismoment bepaald.

4.1 Eenvoudige modelbenadering

Deze eenvoudige benadering bestaat uit twee delen: eenmalig te bepalen parameters die over een lagere periode constant blijven (bodemkarakteristieken: profielopbouw en pF-curve), en metingen die de ondernemer in het veld uitvoert. Deze metingen van de ondernemer bestaan eruit dat de vochtmeters in het veld afgelezen worden. Op grond van de waarden van de meter wordt de beslissing genomen om te beregenen of niet. Bij het bereiken van het kritisch vochtgehalte wordt een beregening uitgevoerd.

4.2 Complexe modelbenadering 1

Evenals in de eenvoudige modelbenadering wordt bij deze benadering gebruik gemaakt van eenmalig te bepalen invoergegevens over de bodemkarakteristieken en de toename van de bewortelingsdiepte. Daarnaast zijn de actuele lokale weersgegevens van belang voor het berekenen van de actuele verdamping en de actuele natuurlijke neerslag. Naast de bekende invoerfunctie van de bewortelingsdiepte waarmee het bewortelbaar volume berekend wordt, worden standaardfuncties van het bladoppervlak ingevoerd voor de berekening van de gewas- en bodemverdamping (gewas- plus bodemverdamping = evapotranspiratie, berekend m.b.v. actuele weersgegevens). De bodemverdamping wordt berekend met behulp van Makkink (1957) of Penman (1948) (Kraalingen & Stol, 1997). De watervraag van het gewas en het grondoppervlak zijn daarmee bekend en per dag wordt uitgerekend hoeveel de watervoorraad is op moment t door een eenvoudige balansberekening (in navolging van: Naar een beregeningsplanner voor agrariërs II, Boland et al., 1996):

$$V(t) = V(t-1) + N + B + C + P + E \quad (\text{mm}) \quad 1$$

waarin:

$V(t)$ = beschikbare hoeveelheid water in de wortelzone op dagnummer t (vandaag);

$V(t-1)$ = beschikbare hoeveelheid water in de wortelzone op dagnummer $t-1$ (gisteren);

N = neerslag;

B = beregening;

C = capillaire opstijging;

P = percolatie van water uit de wortelzone naar ondergrond;

E = verdamping (evapotranspiratie)

Er wordt gerekend met een waterbalans volgens het 'tipping bucket' systeem. Dit houdt in dat bij een verzadigd bewortelbaar volume (de emmer) het overtollige water uit het bewortelbaar volume stroomt, zonder dat aangegeven wordt of dat in verticale of horizontale richting zal plaatsvinden (percolatie). Daarmee is het vrijwel onmogelijk om voorspellingen te doen over mogelijke verliezen van nutriënten door

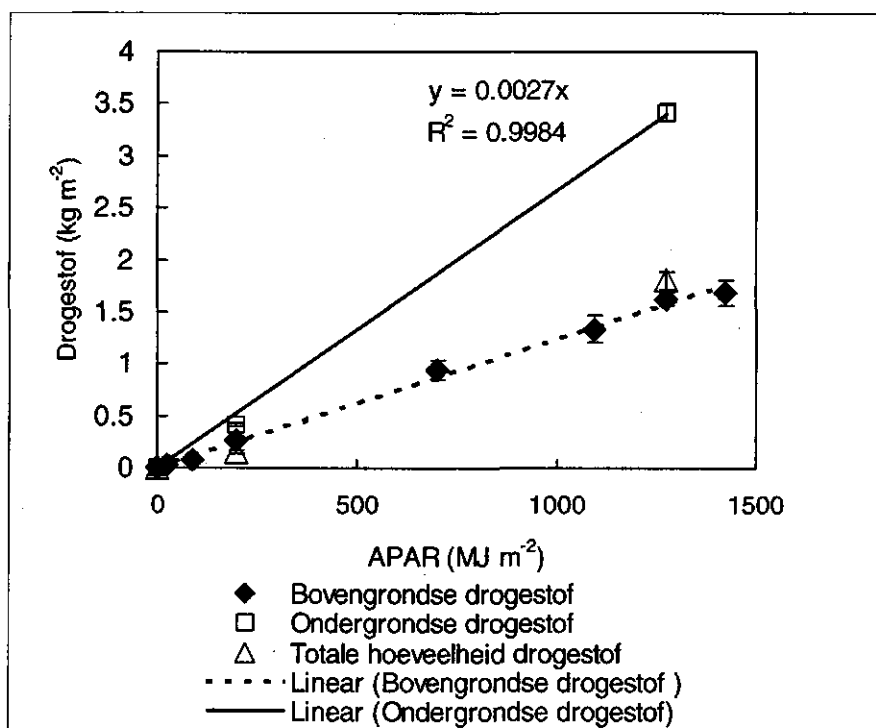
overmatig water geven. Bij het bereiken van het kritisch vochtgehalte wordt een berekening uitgevoerd. De capillaire opstijging is op de meeste (droge) zandgronden (grondwaterspiegel lager dan 2 meter) onvoldoende om een bijdrage te leveren aan de vochtvoorziening. De capillaire opstijging van matig grof zand bedraagt 40 tot 60 cm en van fijn zand 70 tot 100 cm (Kuipers, 1956). Deze methode vereist een hoge interactie tussen de uitvoerende ondernemer en de berekenende instantie. Zowel de actuele neerslag en de uitgevoerde berekeningen moeten adequaat in de rekenformule ingevoerd worden.

Het moment van beregenen wordt bepaald door het kritisch vochtgehalte: indien de beschikbare hoeveelheid water $V(t)$ minder is dan het kritisch vochtgehalte moet de berekening gestart worden (Fig. 1).

4.3 Complexe modelbenadering 2

Deze benadering bouwt voort op de werkwijze bij modelbenadering 1. De inschatting van de actuele verdamping wordt verder uitgewerkt en afhankelijk gesteld van de actuele drogestofproductie. Deze gewasverdamping per geproduceerde hoeveelheid drogestof heet de 'Water Use Efficiency' [WUE, $\text{g H}_2\text{O g DM}^{-1}$]. De drogestof productie is lineair afhankelijk van de hoeveelheid opgevangen hoeveelheid fotosynthetisch actieve straling (APAR) en heet de 'Radiation Use Efficiency' [RUE, g DM MJ APAR^{-1}] (Fig. 3, overgenomen van Pronk en Challa, 2001). Voor deze berekening is gebruik gemaakt van het bestaande model LINTUL2: a simple general crop growth model for water-limited growing conditions (example: spring wheat). Het model is (uit een ander project gefinancierd) aangepast aan boomteeltgewassen, in dit geval *Thuja*, voor wat betreft de lichtonderschepping. Dit model heeft tot voordeel dat in matige tot slechte groei-jaren de vraag naar water aangepast wordt door de terugkoppeling naar een verminderde gewasgroei bij lage lichtintensiteiten (weinig straling). De berekening van de WUE voor *Thuja* is weergegeven in figuur 4. Of aan de vraag naar water voldaan kan worden, wordt net als bij modelbenadering 1 door een balansberekening bepaald. Bij het bereiken van het kritisch vochtgehalte wordt een berekening uitgevoerd.

Figuur 3: De Radiation use efficiency is de hellingshoek van de lijn ($Y=2,7 \text{ g DM J APAR}^{-1}$).



4.4 De giftgrootte

De giftgrootte (de berekening) hangt af van de bodemkarakteristieken en het bewortelbare volume van het gewas. Vanuit de bodemkarakteristieken is bekend hoeveel water de bodem maximaal vast kan houden, V_{max} . Vanuit het onderzoek is vastgesteld bij welk vochtgehalte er berekend zou moeten worden, V_{act} (het kritisch vochtgehalte uit tabel 2). Vanuit de pF-curve is nu af te lezen dat de zandbodem van het proefveld Meterikse veld in Horst 5% volume procenten vocht kan vasthouden, voordat uitspoeling optreedt, Fig.1. Bij een bewortelbare zone van 25 cm is de maximale giftgrootte dan 12.5 mm. Bij de teelt van laanbomen is de bewortelingsdiepte aan het einde van het tweede groeiseizoen meer dan 85 cm op de proeftuinlocatie. Een simpele berekening leert dat het vochtbergend vermogen dan 425 m³ is en dat er dan 42 mm water gegeven zou moeten worden. Dit is een grote gift en daarom zal het in deze situatie beter zijn om de halve dosering te geven, 20 tot 25 mm. Algemeen kan gesteld worden dat een gift van meer dan 25 mm op een vergelijkbare zandgrond niet wenselijk is. Het risico van ongewenste verplaatsing van nutriënten (uitspoeling) nemen toe.

Voorbeeld berekening giftgrootte voor beregenen voor het beregenen van *Thuja* is (zie figuur 1)
vol% vocht bij pF = 2.0 (verzadigingspunt) – vol% vocht bij pF = 2.35 (kritisch vochtgehalte) = 28 – 23 = 5.
Bij een volume van de bouwvoor van 100 (lengte)*100 (breedte)*0.25 (diepte) = 2500 m³ is dat 125 m³ per ha, 12.5 mm.

5. Beregeningsplanners

5.1 Het onderzoek

Verschillende gewasgroepen zijn in dit onderzoek opgenomen, namelijk sierconiferen, struikrozen, verplant bos- en haagplantsoen en laanbomen. Door de veelheid van gewassen in de boomkwekerij is het niet mogelijk voor alle gewassen dit kritisch vochtgehalte te bepalen. Bij aanvang van het onderzoek en met enige inschattingen vanuit andere sectoren, is het uitgangspunt dat dit kritisch vochtgehalte voor ieder gewas verschillend is. Daarbij is de verdamping van het gewas verschillend en daarmee zal bij het ene gewas sneller beregend moeten worden dan een ander gewas. Voor iedere gewasgroep is een voorbeeldgewas geselecteerd in overleg met DLV. Dit voorbeeldgewas is een gewas dat bekend is bij de boomtelers en een gewas waarvan bekend is dat het groeiremming laat zien bij vochttekort. Voor sierconiferen is dat *Thuja occidentalis* 'Brabant' vanuit een p9 (bepaalde potmaat van het uitgangsmateriaal, 2 jarige teelt: 1998-1999), voor struikrozen *Rosa Laxa* onderstam met 'Climbing Bonica' cultivar geoculeerd (2 jarige teelt: 2000-2001), voor verplant bos- en haagplantsoen *Carpinus betulus* 1+1 als uitgangsmateriaal (2 jarige teelt: 2000-2001) en voor laanbomen *Carpinus betulus* spil als uitgangsmateriaal (3 jarige teelt, 2 jaar onderzocht: 1999-2000).

Bij alle benaderingen van beregenen in het onderzoek is de belangrijkste parameter het vaststellen van het moment van beregenen: kritisch vochtgehalte in de bodem. De veldproeven zijn erop gericht dit kritisch vochtgehalte vast te stellen. Daarnaast is (uit andere projecten gefinancierd) voor deze gewassen de toename van het bladoppervlak bepaald gedurende de eerste twee teeltjaren en de drogestofproductie (niet voor de laanbomenteelt). Tevens is (uit andere projecten gefinancierd) de potentiële verdamping per cm² bladoppervlak bepaald voor *Thuja*, *Rosa corymbifolia* 'Laxa' en *Carpinus*, als onderdeel van de complexe modelbenaderingen.

5.2 Resultaten onderzoek

5.2.1 Bodemkarakteristieken

Van de grondsoort is een veldkartering gemaakt en van de drie meest prominent te onderscheiden bodemlagen is de zeeffractie bepaald. Samen met de Van Genuchten parameters, waarmee de pF-curve beschreven kan worden (gegevens overgenomen van Schans en Hellings, 1994), geeft dit een goed beeld van de grondsoort en de mogelijkheden (tabel 3). Uit de pF-curve (Fig. 1) is af te lezen dat de grond ongeveer 20 volume% water kan bergen tussen veldcapaciteit en het verwelkingspunt.

Tabel 1: Bodemkarakteristieken en de Van Genuchten parameters voor de proeftuinlocatie Meterikse veld in Horst voor de verschillende bodemlagen. Deze gegevens geven aan dat dit een B2 bovengrond is en een O2 gevolgd door een O3 ondergrond is (Wösten et al, 2001).

Diepte Meter	Textuur	θ_s m ³ m ⁻³	θ_r m ³ m ⁻³	α cm ⁻¹	α_e cm ⁻¹	α_w cm ⁻¹	n	λ	K_s cm d ⁻¹
0-0.60	Fijn zand	0.5127	0.05	0.027	0.0275	0.0550	1.5806	0.5	15.0
0.60- 0.75	Zwak lemig, fijn zand	0.4905	0.05	0.022	0.0223	0.0446	1.7107	0.5	15.0
0.75- 1.00	Sterk lemig, fijn zand	0.3653	0.00	0.131	0.1318	0.2636	1.6190	0.5	15.0

Het vol.% vocht afhankelijk van de drukhoogte wordt als volgt berekend (Van Genuchten 1998):

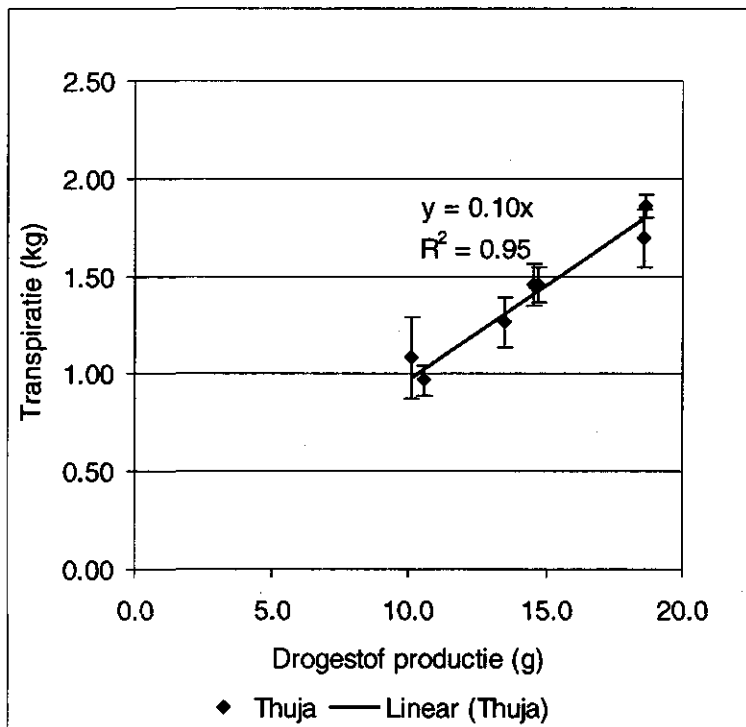
$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + \alpha h)^{1/n}} \quad \text{vol\% vocht}$$

5.2.2 Kritisch vochtgehalte

Thuja

Gedurende 1998 werd bij de proef met *Thuja* geen verschil in drogestof productie gevonden. Dit had te maken met de kleine planten (lage bladbezetting), de daarmee gepaard gaande lage vraag naar water en de matige zomer. In het tweede jaar kon wel een verschil in drogestof productie vastgesteld worden en het kritisch vochtgehalte is berekend. Het kritisch vochtgehalte voor *Thuja* in de tweejarige teelt van plantgoed vanuit een p9, is $pF=2.35$ (Tabel 2). De drogestof productie per opgevangen fotosynthetisch actieve straling was 2,7 g DM/MJ (Fig. 3). Het gaat hierbij om resultaten van 1 veldproef. Om een indruk te krijgen van de juistheid van deze gegevens, zijn een aantal andere teelten doorgerekend. De drogestof productie kon in de vergelijkbare teeltsystemen op dezelfde locatie goed voorspeld worden (Pronk en Challa, 2001). De hoeveelheid water die nodig is om deze droge stof te kunnen produceren is 0.1 kg H₂O per g DM (Fig. 4).

Figuur 4: De water use efficiency voor *Thuja* is de hellingshoek van de lijn ($Y=0.10 \text{ kg H}_2\text{O g DM}^{-1}$).



Rosa

Bij de teelt van *Rosa* bleek dat de onderstam een duidelijk andere benutting van het opgevangen licht heeft dan de cultivar. De cultivar groeit harder doordat het licht efficiënter benut wordt dan de onderstam. Alleen van de onderstam is de WUE bepaald. Deze wordt echter tevens in de berekeningen gebruikt voor de cultivar. De WUE van 0.13 kg H₂O per g DM (tabel 3) komt overeen bij de gevonden waarden van Stilma (2001).

Het kritisch vochtgehalte voor *Rosa* is $pF= 2,4$.

Carpinus betulus verplant bos- en haagplantsoen

Carpinus betulus had een RUE van 1,98 g DM MJ APAR⁻¹. Deze waarde is goed vergelijkbaar bij literatuurwaarden voor verplante populieren (1,5 g DM MJ APAR⁻¹) en wilgen (1.58 g DM MJ APAR⁻¹) (Cannell, 1987). De gegevens uit de literatuur zijn voor 1 teeltseizoen en deze stemmen goed overeen met de gevonden RUE van het eerste teeltseizoen van *Carpinus betulus* (1,4 g DM MJ APAR⁻¹, R²=0.99). Omdat in de praktijk met een teeltduur van 2 jaar gewerkt wordt, wordt gebruik gemaakt van de RUE over een periode van twee jaar voor de berekening van de drogestof per dag en de bijbehorende verdamping. Het kritisch vochtgehalte voor *Carpinus betulus* (verplant bos- en haagplantsoen) is pF= 2,35.

Carpinus betulus laanbomen.

De teelt van de laanbomen is moeilijk verlopen. Het percentage uitval was minder in de behandeling zonder extra water, maar in dat jaar konden slechts tendensen van een toegenomen groei door extra water vast gesteld worden. In het tweede jaar werd het verschil in groei iets duidelijk aantoonbaar en kon een kritisch vochtgehalte berekend en aangetoond worden van pF = 2,4. De waarde ligt in de buurt van de waarde voor *Thuja* en dat is een verrassend resultaat van dit onderzoek.

Tabel 2: Kritisch vochtgehalten in de bouwvoor van de verschillende gewassen (in verschillende eenheden).

Gewas	Kritisch vochtgehalte			
	hPa	KPa	MPa	pF
Thuja occ. 'Brabant'	225	22.5	2.25	2.35
Rosa corymbifolia 'Climbing bonica'	252	25.1	2.5	2.4
Carpinus betulus bos- en haagplantsoen	225	22.5	2.25	2.35
Carpinus betulus laanbomen	252	25.1	2.5	2.4

Tabel 3: Radiation use efficiency (RUE) en de water use efficiency (WUE) van de verschillende gewassen

Gewas	RUE	R ²	WUE	R ²
	(g DM MJ APAR ⁻¹)		(g H ₂ O g DM ⁻¹)	
Thuja occ. 'Brabant'	2.7	0.99	0.10	0.95
Rosa corymbifolia "Laxa" (onderstam)	1.4	0.96	0.13	0.77
Rosa corymbifolia 'Climbing bonica' (cultivar)	3.8	0.98	0.13	0.77
Carpinus betulus bos- en haag plantsoen	1.98	0.92	0.20	0.94
Carpinus betulus laanbomen	²		0.20	0.94

¹ APAR = absorbed photosynthetic active radiation (opgevangen fotosynthetisch actieve straling)

² doordat het van laanbomen zeer moeilijk is de drogestof productie te bepalen en het een driejarige teelt is, is RUE niet bepaald.

De resultaten omtrent het kritisch vochtgehalte liggen voor de voorbeeld gewassen uit de verschillende gewasgroepen dicht bij elkaar. Dit is een verrassend resultaat, omdat er vooraf vanuit gegaan is dat er wel degelijk grote verschillen zouden optreden tussen de gewassen. Tevens moet hierbij opgemerkt worden dat deze resultaten in 1 proef per gewas vastgesteld zijn. Dit houdt in dat er in de jaren geen herhalingen uitgevoerd zijn en daarom zijn deze resultaten goede richtlijnen voor een globale benadering voor optimaal water geven. Tevens verdient het aanbeveling om de gevonden resultaten te verifiëren op andere typen zandgronden.

5.3 Beregeningsplanners

De beregeningsplanners zijn zoals eerder genoemd afhankelijk van het kritisch vochtgehalte, de evapotranspiratie, natuurlijke neerslag, percolatie en capillaire opstijging. Na het vaststellen van de bodemkarakteristieken kunnen de volgende parameters berekend worden:

Capillaire opstijging = 70-100 cm

Percolatie = de hoeveelheid water die extra in de bodem komt bij een verzadigde toestand ($pF=2$)

Bij de eenvoudige methode is het de kweker die in het veld het moment van beregenen bepaald. De bodemkarakteristieken zijn nodig voor het vaststellen van de giftgrootte.

Bij de complexere methoden wordt de evapotranspiratie voor de beregeningsplanners per dag uitgerekend met behulp van de actuele weersgegevens en andere benodigdheden.

De adviesdosering voor de berekening is afhankelijk van het vochtbergend vermogen van de grond en de diepte van de beworteling. Een voorbeeldberekening van de adviesdosering staat in bijlage 1. Hoe vaak er beregend moet worden hangt af van de onttrekking door het gewas en het moment waarop groeireductie door vochttekort optreedt.

5.3.1 Implementatie

Het meten van het kritisch vochtgehalte in de bodem en de berekening aanpassen aan de gevonden waarden, is de meest overzichtelijke methode voor de ondernemer. Het nadeel is dat er per perceel een aantal meters geplaatst moeten worden en dat er regelmatig in het veld waarnemingen uitgevoerd moeten worden. Het succes van deze methode hangt daarom af van de discipline van de teler. Tijd is op alle bedrijven een belangrijk productiemiddel dat vaak onvoldoende voorhanden is. Toch geeft deze werkwijze de ondernemer het beste inzicht in wat er in het veld gebeurt en heeft zeker in het bewustwordingsproces van de teler met het productiemiddel water de voorkeur. De adviesdosering voor het perceel is een belangrijk onderdeel in het goed water geven. De bodemkarakteristieken veranderen nagenoeg niet in de tijd per perceel en deze zouden eenmalig vastgesteld kunnen worden. Aan de hand van een veldkartering kan met de 'Staring reeks' een goede inschatting van de pF -curve gemaakt worden. Afhankelijk van de bewortelingsdiepte kan dan de adviesdosering vastgesteld worden. De bewortelingsdiepte kan eenvoudig door de ondernemer bekeken worden, door twee maal per groeiseizoen een gat te graven en met een mesje in de grond de onderste wortels bloot te leggen.

De complexere methoden zijn bewerklijker en de interactie tussen de adviserende (berekende) organisatie en de ondernemer is cruciaal. De ondernemer moet een plaatselijke regenmeter bijhouden voor de actuele neerslag, aangeven op welke dagen er ene berekening uitgevoerd is en hoe groot de berekening was. Hoewel er systemen in de praktijk op deze manier uitgevoerd worden (fruitteelt), is dit onderdeel nog niet praktijkklaar. De gegevens van dit onderzoek zijn geschikt om hier een goede voorzet voor te geven, maar de samenwerking met commerciële organisaties die toegang hebben tot lokale weersgegevens en voldoende software zijn nog niet afgerond.

5.4 Kritische opmerkingen

Beregenen in vollegrondsteelten is een onderwerp dat regelmatig in de belangstelling staat. Bestudering van weersgegevens van de laatste 50 jaar geeft aan dat in droge perioden waarin een optimale gewasgroei in gevaar komt, beregenen onder de aandacht komt (eind jaren 70). Enkele jaren later, bij nattere en koelere zomers is er veel minder belangstelling voor dit onderwerp. De problematiek van beregenen is daarmee sterk weersafhankelijk. Tegenwoordig spelen ook andere aspecten dan een optimale gewasgroei een rol. Vanuit de maatschappelijke vraag naar voldoende drinkwater, schoon milieu en natuurwaarden (hogere grondwaterstanden) wordt de agrarische sector in toenemende mate beperkingen opgelegd om aan deze behoeften te voldoen. Genoeg water geven voor een goede gewasgroei is daarmee niet meer voldoende: overmatig water geven is ongewenst. Genoeg water geven wordt daarmee omgezet in voldoende maar zeker niet teveel.

Zoals ook uit dit onderzoek blijkt, hebben de weersomstandigheden een grote invloed op de resultaten. In 1998 werd bij *Thuja* geen hogere drogestof productie behaald door meer water te geven. De lage waterbehoefte van de kleine plantjes en de 'matige' zomer zijn hier mogelijke oorzaken van. Bij de teelt van laanbomen wordt vooral het risico van uitval verminderd door goed water geven in het eerste jaar na aanplant. In de daarop volgende jaren werd in onze proeven geen extra groeiwinst waargenomen door meer water. Een extra complicerende factor in het onderzoek is, dat bij veel water geven er ook veel stikstof verloren gaat. Hoewel er regelmatig bepaald is of de minerale stikstof in de bouwvoor nog voldoende was, duiden de analyses ook aan dat niet altijd de optimale hoeveelheid stikstof beschikbaar was voor opname voor het gewas.

Hoewel er voor de vier gewasgroepen vergelijkbare kritisch vochtgehalten gevonden werden, betekent dit niet dat deze waarden voor de overige gewasgroepen van de boomkwekerij geldig zijn. Met name gewassen met zachte en sponsige bladeren (tomaten, komkommers), hebben een kritisch vochtgehalte dat veel lager ligt. Bij de bladverliezende boomkwekerijgewassen zoals heesters en de vaste planten zijn er vergelijkbare gewassen. Een ander aspect is dat er slechts een aantal teelten (teeltmethoden) onderzocht zijn. De kritisch vochtgehalten kunnen voor het gewas ook in een ander teeltsysteem toegepast worden, maar de complexere methoden maken gebruik van de bladbezetting (bladoppervlak/grondoppervlak) en die is sterk afhankelijk van het teeltsysteem (met name plantdichtheid, maar ook leeftijd gewas).

Een beregeningsplanner kan een ondersteuning zijn voor goed water geven, waardoor water efficiënter gebruikt gaat worden en de kans op te veel water geven verminderd wordt. Daarmee wordt een besparing gerealiseerd, ten opzichte van standaard beregenen of overmatig beregenen. Het goed uitvoeren van de beregeningsplanner vraagt een grote inzet van de ondernemer. De planner kan niet gebruikt worden voor het aan banden leggen van beregenen, omdat de hoeveelheid die nodig is voor de gewasgroei sterk afhankelijk is van de actuele weersomstandigheden.

De onderdelen van de beregeningsplanner zijn met dit onderzoek voor een aantal gewasgroepen bekend. Alle onderdelen brengen een foutmarge/onzekerheid met zich mee in de planner. Het goed inschatten van de pF-curve van de grond, de heterogeniteit van een perceel, de afwijkende bewortelingsdiepte bij storende lagen in de bouwvoor en nog vele andere onzekerheden zijn ingebouwd in de beregeningsplanner. Het is nodig dat de ondernemer werkt met een betrouwbare planner. De planner is een hulpinstrument met een bepaalde foutmarge. De kritische vochtgehalten van dit onderzoek zijn geschikt om in deze planner te gebruiken en bij het vaststellen van deze waarden is rekening gehouden met de foutmarges van alle onderdelen.

6. Conclusies en aanbevelingen

Dit onderzoek is een eerste, noodzakelijke stap naar richtlijnen voor een goede berekening in de boomkwekerij. De belangrijkste resultaten uit dit onderzoek zijn de kritisch vochtgehalten in de bodem die het moment aangeven waarop de ondernemer een berekening zou moeten uitvoeren. En misschien nog belangrijker, bij welke waarden hij dat nog niet hoeft te doen. Een tweede zeer belangrijk onderdeel van dit onderzoek is, dat de giftgrootte op deze zandgrond per berekening vrij klein zou moeten zijn, 10 tot maximaal 25 mm.

De gevonden kritisch vochtgehalten zijn een eerste robuuste benadering. In tegenstelling tot wat vooraf verwacht werd liggen de kritisch vochtgehalten van de onderzochte gewasgroepen dicht bij elkaar, het zijn vrijwel gelijkwaardige getallen. Hierbij moet in ogenschouw genomen worden dat onder de heersende veldomstandigheden een foutmarge op kan treden.

Beregenen blijft een complex en moeilijk onderwerp. De beperkingen van dit driejarige onderzoek zijn duidelijk: vier gewasgroepen waarvan één voorbeeldgewas onderzocht is gedurende één groeiperiode. In onderzoek waarbij het weer zo'n invloedrijke factor is, zou het eigenlijk gedurende meerdere jaren onderzocht dienen te worden.

De praktijk zal moeten aangeven of een verdere verfijning van deze getallen wenselijk is. Tevens kunnen deze wensen ook vanuit de milieukundige kant geformuleerd worden.

De gevonden kritisch vochtgehalten zijn een goede eerste aanzet. Er zijn echter nog grote onduidelijkheden over andere gewasgroepen en teeltsystemen. Om de gevonden waarden verder te valideren verdient het aanbeveling om de uitgevoerde bepalingen gedurende meerdere jaren te herhalen, vooral als blijkt dat de kritische vochtgehalten voor andere gewasgroepen onder nattere omstandigheden al bereikt worden. De kans op natter telen dan vanuit milieukundig oogpunt wenselijk is wordt hierbij namelijk groot. De kritische vochtgehalten voor de hier onderzochte gewasgroepen zijn zodanig dat bij het beregenen met een juiste giftgrootte de kans op overmatig water geven en daarmee uitspoeling van nutriënten, klein is.

Als laatste dient nog opgemerkt te worden dat het terug dringen van overmatig beregenen door gebruik van de beregeningsplanners een zaak blijft van de ondernemer. Het goed uitvoeren van de beregeningsplanner is geen gemakkelijke onderneming en vereist een grote inzet en nauwkeurigheid van de betrokken ondernemers.

Literatuur

- Bleumink, H. En J.C. Buys, 1995. Naar een beregeningsplanner voor agrariërs (ontwikkeling en plan van toepassing). Centrum voor Landbouw en Milieu, Utrecht, 1995. pp 132
- Boland, D., H. Bleumink, J.C. Buys, 1996. Naar een beregeningsplanner voor agrariërs II: Toetsing in de praktijk. Centrum voor Landbouw en Milieu, Utrecht, 1996. pp 101
- Campbell, G.S., 1991. Simulation of water uptake by plant roots. IN: J. Hanks and J.T. Ridchie (eds), Modeling Plant and Soil Systems. Agronomy Monograph 31, American society of Agronomy, Madison, Wisconsin., p 273-285.
- Cannell, M.G.R., 1987. Light interception, light use efficiency and assimilate partitioning in poplar and willow stands. In: J.S. Pereira en J.J. Landsberg, Biomass production by fast-growing trees. Series E: Applied Sciences Vol. 166. p. 2-12
- Edwards, D.E., 1993. The water relationships of *Thuja occidentalis* L. in response to repeated water stress conditions. M.Sc. thesis, The University of Guelph, pp. 167.
- Genuchten, M.Th. van., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 892-898
- Heinen, 1997. Dynamics of water and nutrients in closed, recirculating cropping systems in glasshouse horticulture. With special attention to lettuce grown in irrigated sand beds. PhD Thesis Wageningen Agricultural University, p 19.
- Kraalingen D.W.G. en W. Stol. Evapotranspiration modules for crop growth simulation. Implementation of the algorithms from Penman, Makkink and Priestley-Taylor. Quantitative Approaches in Systems Analysis No 11. DLO Research Institute for Agrobiology and Soil Fertility, The C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology. p. 29
- Kuipers, S.F., 1956. Bodemkunde. Stam Robijns b.v., 14 de druk, 1981. pp. 284.
- LINTOL 1, A simple general crop growth model for optimal growing conditions (example: spring wheat). CT.T. de Wit Graduate School for Production Ecology. Dept. of Theoretical Production Ecology of the Wageningen Agricultural University, and DLO-Research Center for Agrobiology and Soil Fertility. P. 20.
- Makkink, G.F., 1957. Testing the Penman formula by means of lysimeters. International Journal of Water Engineering, 11: 277-288.
- Penman, H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Royal Society, London Proc. Series A, 193: 120-146.
- Pronk, A. 1999. Waterbesparing in de Boomteelt. De Boomkwekerij 29-30. p16-17.
- Pronk, A.A. en H. Challa, 2000. Integrated Cropping Systems: An Answer to Environmental Regulations Imposed on Nursery Stock in the Netherlands. Proceedings of the XXV International Horticultural Congress: Culture Techniques with Special Emphasis on Environmental Implications Nutrient Management. Ed. C. Sonneveld, Brussels, 2-7 Augustus 1998. p. 115-124.
- Pronk, A.A. en M.B.A. Ravesloot, 1998. Fertigation of field grown nursery stock on sandy soils in the Netherlands. In Fertilization for sustainable plant production and soil fertility. Vol I. Eds. O. Van Cleemput, S. Haneklaus, G. Hofman, E. Schnug and A. Vermoesen. pp 480-486. Proceedings of the 11th International World Fertilizer Congress, 7-13 September 1997, Gent.
- Richards, L.A. en C.H. Wadleigh, 1952. Soil water and Plant Growth. In soil physical conditions and plant growth. Agronomy 2: 73-251.
- Schans, D.A. van der en A.J. Hellings, 1984. Beregeningsonderzoek bij asperges op de proeftuin "Noord-Limburg":1978 t/m 1980. Verslag nummer 25, Proefstation AGV, Lelystad, 22 p.
- Stilma, E., 2001. In afronding
- Wegwijzer 2000-2001 voor de boomkwekers, 2001. Nederlandse Bond van Boomkwekers, Eds. S.E. van Voorst, Drukkerij Giethoorn Ten Brink, Meppel. P 192.
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot en J. Stolte, 2001. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 2001. Alterra rapport 153, pp. 86.

Bijlage 1

Berekening adviesdosering beregning voor Thuja op zandgrond (proeftuinlocatie Meterikse veld, Horst), direct na planten.

Type zandgrond: B2 (volgens Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 2001. Alterra-rapport 153, ISSN 1566-7197)

Bewortelingsdiepte: 0.20 m

Bewortelbaar volume: $100 \cdot 100 \cdot 0.20 = 2000 \text{ m}^3/\text{m}^2$

Hoeveelheid water in bewortelbaar volume bij verzadiging ($pF=0$): 48.6% $\Rightarrow 972 \text{ m}^3$

Hoeveelheid water in bewortelbaar volume bij veldcapaciteit ($pF=2$): 32.1% $\Rightarrow 642 \text{ m}^3$

Hoeveelheid water in bewortelbaar volume bij kritisch vochtgehalte ($pF=2.35$): 26.4% $\Rightarrow 528 \text{ m}^3$

Hoeveelheid water in bewortelbaar volume bij verwelkingspunt ($pF=4.2$): 7% $\Rightarrow 140 \text{ m}^3$

Vanuit verzadiging is er beschikbaar voor het gewas:

$972 - 528 = 444 \text{ m}^3/\text{ha}$ (=44 mm)

Vanuit veldcapaciteit is er beschikbaar voor het gewas:

$642 - 528 = 114 \text{ m}^3/\text{ha}$ (11.4 mm)

Voor het afsterven van het gewas is er beschikbaar voor het gewas:

$642 - 140 = 502 \text{ m}^3/\text{ha}$ (50 mm)

Bijlage 2

Schematisch overzicht van de uitgevoerde activiteiten voor het project waterbesparing in de boomteelt

1998-1999: veldproef met *Thuja occidentalis* 'Brabant' waarin de volgende vraagstelling beantwoord is: op welk moment treedt er groeireductie op door vochttekort in de bodem? (kritisch vochtgehalte).

Om deze vraag te kunnen beantwoorden zijn de volgende gegevens bepaald en verzameld:

- lengte en breedte van het gewas, drogestof bovengronds en bladoppervlak (8 maal totaal)
- beworteling, bewortelingsdiepte, wortellengte-dichtheid en droge stof ondergronds (3 maal totaal).
- bodemvochtmetingen bepaald per twee uur gedurende proef, watermark op drie diepten op twee locaties per plant in twee herhalingen in twee behandelingen
- actuele weersgegevens bepaald per uur gedurende proef.
- Gegevens bepaald over bodemsamenstelling en profielopbouw. Gegevens verzameld over bodemkarakteristieken (pF-curven).
- Statistische analyse van droge stof gegevens en bodemvochtmetingen
- Bepaling van minerale hoeveelheid stikstof in de bouwvoor op 4 tijdstippen per groeiseizoen.
- Bepaling van minerale stikstof in diepere bodemlagen in het voorjaar en in het najaar, om indicatief te kunnen vaststellen of er stikstofverliezen optreden.

Dit was een tweejarige teelt wat goed aansluit bij de huidige praktijk van de teelt van sierconiferen.

1999-2000: veldproef met *Carpinus betulus* (spil) als laanboom geteeld. Bij deze veldproef was dezelfde vraagstelling speerpunt en zijn met kleine veranderingen dezelfde handelingen uitgevoerd. Het onderzoek is uitgevoerd in de eerste twee jaar van de teelt zoals in de opdracht aangegeven was. In de praktijk is dit een driejarige teelt.

2000-2001: veldproef met *Rosa corymbifolia* 'Laxa' (onderstam) waarop in juli van het eerste teeltseizoen 'Climbing bonica' geoculeerd is. Bij deze veldproef was dezelfde vraagstelling speerpunt en zijn met kleine veranderingen dezelfde handelingen uitgevoerd. In de praktijk is dit een tweejarige teelt.

2000-2001: veldproef met *Carpinus betulus* 1+1 geteeld als bos en haagplantsoen. Bij deze veldproef was dezelfde vraagstelling speerpunt en zijn met kleine veranderingen dezelfde handelingen uitgevoerd. In de praktijk is dit een tweejarige teelt.