

Waterkwantiteit en bos

Het bosbouwkundig onderzoek in de vijftiger en zestiger jaren heeft zich vooral gericht op de samenhang tussen bodem, waterhuishouding en groei. Daarna hebben grondwaterdaling en bosaanleg op natte gronden de vraag naar kennis van de waterhuishouding van bossen doen toenemen. Een voor de bosbouwpraktijk belangrijke vraag betreft de invloed die watervariabelen (neerslag, grondwater, waterleverantie) uitoefenen op bossen. Dit artikel geeft een samenvatting van de bestaande kennis over de betekenis van de watervoorziening op de groei van bomen in de Nederlandse bossen.

Het vaststellen van de geschiktheid van land voor bosbouw vereist kennis van de bijdrage van groeiplaatsfactoren aan de groei en de ontwikkeling van het bos. Eén van de groeiplaatsfactoren die een belangrijke rol speelt, is de watervoorziening. Om tot een bosbouw geschiktheidsbeoordeling te komen moeten twee vragen worden beantwoord:

- Welke van de variabelen die de watervoorziening beschrijven, kan worden gebruikt?
- Welke relatie bestaat er tussen deze variabelen en het gedrag van bossen?

Vanaf de aanvang van de heidebebossingen in Nederland is getracht om op basis van praktijkwaarnemingen en onderzoek een antwoord op deze vragen te geven. Het onderzoek naar de wa-

Summary

Water quantity and forest in the Netherlands

Relationships between various land characteristics indicating moisture supply for tree growth in the Netherlands have been studied since the early twenties. Soil moisture supply class, as defined by the former Soil Survey Institute, is a useful parameter and explains 30-80 % of the variation of the site index (S-value: stand dominant height in m, at infinite time). These relationships have been derived for some tree species and may be used in land evaluation studies and for prediction of the consequences of lowering the groundwater table.

terhuishouding van bossen begint in 1922 als de eerste lysimeter voor de bosbouw bij Stroe in gebruik wordt genomen door het Rijksbosbouwproefstation (Bruin 1952; Geerling 1933). De lysimeter was aangelegd met het nadrukkelijke doel om informatie te verschaffen voor de bosaanleg op heide- en stuifzandgronden. Ook is vermeldenswaard het onderzoek van de Commissie-Goethart (1925), die moest oordelen over de gevolgen van grondwaterdaling op de duinen en de Veluwe. Er is niet zo veel nieuws onder de zon.

Het onderzoek naar de waterhuishouding van bossen heeft na de Tweede Wereldoorlog lang in het teken gestaan van het groeiplaatsenonderzoek dat is uitgevoerd door "De Dorschkamp" en de Stichting voor Bodemkartering. Via een kwalitatief systeem van beoordeling van de watervoorziening van boomsoorten (Van Goor 1953, 1954) en een grondwater trappensysteem kwam men op basis van groeiplaatsenonderzoek voor een aantal boomsoorten en van waarnemingen in opstanden tot een systeem van bosbouwgeschiktheidsbeoordeling. De beoordelingsfactor voor de watervoorzie-

ning is de uit het voorafgaande onderzoek afgeleide synthese "gradatie van het vochtleverend vermogen" (Waenink & Van Lynden 1988).

Vanaf het einde van de zestiger jaren werd de bosbouw geconfronteerd met het vraagstuk van de gevolgen van kunstmatige grondwaterdaling ("verdroging") en dat van bosaanleg in stedelijke gebieden waar vaak sprake was van hoge grondwaterstanden. Het belang dat niet alleen de bosbouw, maar ook het beleid, hechtte aan het verband tussen bos en water is tenslotte uitgemond in de instelling van de SWNBL (Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap: 1982-1990). Deze commissie heeft in de tachtiger jaren gezorgd voor een toename van de kennis van de relaties tussen bos en water (Water boven water... 1988; Handboek Grondwaterbeheer... 1990; Olthof & Van den Burg 1990).

De situatie met betrekking tot de kennis van waterkwantiteit en bos zoals die thans in Nederland is, kan als volgt worden aangeduid:

- Een hoeveelheid onderzoeksmateriaal staat thans ter beschikking. Dit materiaal maakt het mogelijk om de relatie tussen de

watervoorziening en de boomgroei op empirische en experimentele basis aan te geven. Deze relatie is gebaseerd op statistische variabelen, d.w.z. variabelen die in de loop van de tijd geacht worden niet te veranderen of een regelmatig terugkerend patroon te vertonen.

– De ontwikkeling van op dynamische processen gebaseerde modellen is in de laatste jaren op gang gekomen, waarbij men allereerst belang stelt in de modelering van de waterhuishouding van de bodem (Van Lanen 1991; Dolman & Kabat 1993; Van den Broek et al. 1993) of waarbij de waterhuishouding van de boom centraal staat (Florax, Kowalik & Mohren 1990). De komende jaren zullen leren hoe empirie, experiment en model in het boshydrologisch onderzoek kunnen worden gecombineerd.

Waterkwantiteit

Overzicht

Als men voorspellingen wil doen over de invloed van de watervoorziening op bossen, dan moet de relatie daarvan met het bos worden bepaald. Dat laatste is in de bosbouw niet eenvoudig, omdat het uitvoeren van experimenten vaak stuit op het bezwaar dat die experimenten te uitgebreid zijn en te lang duren in verhouding tot beschikbaar personeel en middelen. Men is dan gedwongen om op grond van waarnemingen in opstanden te trachten een relatie vast te stellen door analogie of door regressieonderzoek (Nix, 1968) hetgeen met de meeste onderzoeken naar de relatie tussen waterkwantiteit en groei in Nederlandse bossen het geval is geweest. Het begrip "waterkwantiteit" houdt in dat het water in de atmosfeer of in de bodem kan worden gemeten met een absolute maat volgens een onderliggende

schaal of als een factor. Tot de meest gebruikte in Nederland behoren:

- neerslag
- grondwatertrap
- grondwaterstand
- vochtleverend vermogen
- transpiratie
- vegetatie

De bruikbaarheid van deze variabelen en factoren, en een aantal relaties ervan met boomsoorten worden hierna besproken en toegelicht

Neerslag

Het gebruik van de neerslag als waterkwantiteitsvariabele is in Nederland niet algemeen. Het nadeel van de variabele is dat de werking ervan indirect is en dat deze alleen op hangwaterprofielen een zekere voorspellende waarde heeft. De vraag is of men moet correleren met jaar-, maand- of periodegegevens. Ook is het niet onverschillig of men neerslag- en groeigegevens van hetzelfde jaar combineert of dat met de neerslag van voorafgaande jaren wordt rekening gehouden. Uit gegevens van De Hoogh (1925) laat zich een positief verband ($R^2_{adj} = +39.9\%$) vaststellen tussen de neerslag in de vegetatieperiode (Nve) en de lengtegroei van de douglas in hetzelfde jaar op hangwaterprofielen in de jaren 1918-1921 en 1923. Het jaar 1922 - volgend op de droge zomer van 1921 - gaf een minder dan met de neerslag in de vegetatieperiode van dat jaar overeenkomende lengtegroei te zien. De lengtegroei van Corsicaanse den en Oostenrijkse den in de jaren 1917-1926 in de boswachterij Kootwijk was daarentegen niet significant ($R^2_{adj} = 0$) gecorreleerd met Nve in hetzelfde jaar maar wel significant ($R^2_{adj} = +55.7$ resp. $+65.6\%$; $p < 0.05$) met Nve in het aan de groei voorafgaande jaar. Het onderzoek naar de groeiplateiseisen

van boomsoorten heeft voor enkele ervan op hangwaterprofielen eveneens bruikbare resultaten opgeleverd. In het traject Nve = 300-400 mm was de boniteit van Corsicaanse den, grove den en zomereik op droge gronden (GT VII en VIII) niet of zwak positief gecorreleerd met Nve. Daarentegen gaf extrapolatie van de boniteit naar de waarde nul aan dat dit punt voor douglas, Japanse lariks en fijnspar werd bereikt bij Nve = resp. 260; 290 en 320 mm. Met het oog op eventuele klimaatveranderingen, die wijzigingen in de neerslag kunnen inhouden, kan dat gegeven bruikbaar zijn.

Grondwatertrap

De grondwatertrap geeft in klassen de diepte van de gemiddeld hoogste (winter)grondwaterstand (GHG) en de gemiddeld laagste (zomer)grondwaterstand (GLG) aan. Het systeem van grondwatertrappen is in 1966 officieel door de STIBOKA ingevoerd (De Vries & Van Wallenburg 1990) maar het werd daarvoor al gebruikt in de bosbouw. Het is omstreeks 1977 uitgebreid met enkele subtrappen die extra informatie geven over de GHG. In 1988 heeft een tamelijk ingrijpende herziening plaatsgevonden, waarbij de hoofdingeling intact is gebleven maar het aantal subtrappen sterk is uitgebreid.

In de periode die loopt vanaf 1966 tot 1977 vormden de grondwatertrap met de bodemsubgroep de belangrijkste landhoeveelheden op basis waarvan de bodemgeschiktheid voor boomsoorten werd beoordeeld. Ook de tabellarische overzichten van de bodemgeschiktheid voor boomsoorten in "Aanleg en Beheer..." (1981) bevatten als één van de ingangen van het systeem de grondwatertrap. Debeoordelingsfactoren "Ontwateringstoestand" (OT) en "Vocht-

Tabel 1. De invloed van constante grondwaterstanden op de lengte-groei van loofboomsoorten in het grondwaterstanden proefveld "Geestmerambacht" (1973 t/m 1979)

| boomsoort | gemiddelde grondwaterstand (cm -m.v.) | grondsoort | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------|---------|------------|---------------|---------|------------|
| | | zavel | | | zware klei | | |
| | | hgem (cm.j-1) | rel (%) | uitval (%) | hgem (cm.j-1) | rel (%) | uitval (%) |
| zomereik | 40 | 39 | 39 | 71 | 35 | 39 | 66 |
| | 80 | 97 | 100 | 0 | 79 | 88 | 0 |
| | 120 | 94 | 97 | 9 | 90 | 100 | 12 |
| es | 40 | 0*) | 0 | 100 | 31 | 38 | 46 |
| | 80 | 76 | 76 | 16 | 80 | 98 | 26 |
| | 120 | 100 | 100 | 0 | 82 | 100 | 0 |
| esdoorn | 40 | 0**) | 0 | 100 | 0 | 0 | 100 |
| | 80 | 88 | 88 | 0 | 76 | 78 | 11 |
| | 120 | 100 | 100 | 2 | 98 | 100 | 0 |
| hybride zwarte populier ('Robusta') | 40 | 69 | 80 | 0 | 66 | 93 | 0 |
| | 80 | 82 | 95 | 6 | 67 | 94 | 5 |
| | 120 | 86 | 100 | 3 | 71 | 100 | 5 |
| grauwe abeel | 40 | 61 | 66 | 0 | 38 | 48 | 8 |
| | 80 | 78 | 84 | 6 | 79 | 100 | 0 |
| | 120 | 93 | 100 | 0 | 76 | 96 | 10 |
| zwarte els | 40 | 34 | 36 | 59 | 56 | 69 | 9 |
| | 80 | 95 | 100 | 0 | 80 | 99 | 11 |
| | 120 | 83 | 87 | 1 | 81 | 100 | 0 |
| schietwilg | 40 | 42 | 46 | 18 | 76 | 90 | 0 |
| | 80 | 92 | 100 | 0 | 79 | 94 | 3 |
| | 120 | 91 | 99 | 4 | 84 | 100 | 7 |

*) langzamerhand afstervend (over een periode van enkele jaren)
 **) snel afstervend (In een groeiseizoen)

hgem: absolute gemiddelde jaarlijkse lengtegroei per behandeling
 rel : relatieve gemiddelde jaarlijkse lengtegroei; per boomsoort is de behandeling met de hoogste waarde van hgem = 100 gesteld
 uitval: percentage uitval aan het einde van de proef

leverend vermogen" (VL) (Wae-nink & Van Lynden 1988) berusten voor een belangrijk deel op de Grondwatertrap. Men kan zich zelfs afvragen of het gebruik van de Grondwatertrap in het bosbouwkundig onderzoek soms niet de voorkeur verdient boven de Ontwateringstoestand vanwege de gedetailleerdere informatie. Verder vormen bij het gebruik van simulatiemodellen voor de waterhuishouding de GHG en de GLG belangrijke invoergegevens

(Van Lanen 1991). In het onderzoek naar de oorzaken van de achteruitgang van de vitaliteit van de zomereik in de laatste jaren (Oosterbaan & Nabuurs 1991) kon de grondwatertrap gebruikt worden als een onderscheidend criterium voor opstanden met veel of met tamelijk weinig schade. Zomereikenopstanden op gronden met GT III of V hadden in de jaren 1983-1989 veel meer schade opgelopen dan opstanden op gronden met

GT VI of VII. De relatie tussen boniteit en Grondwatertrap is over het algemeen niet uitgesproken groot, tenzij het uitersten als GT I, II en VIII betreft. Dat wordt veroorzaakt door het feit dat het grondwater slechts één van de componenten van de watervoorziening is. De bijdrage van de bewortelde zone aan de watervoorziening mag niet worden verwaarloosd en versluiert het effect van de grondwaterstand. Een variant op het gebruik van de

Grondwatertrap vormt de Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG). Dit is de gemiddelde grondwaterstand die op het tijdstip 1 april mag worden verwacht. Het bezwaar dat tegen de GVG kan worden ingebracht is dat de GVG is gebaseerd op twee variabelen die in hun betekenis voor de fysiologie van de boom sterk uiteenlopen. De GHG is nl. een maat voor de luchtvoorziening van de boom, de GLG is medebepalend voor de watervoorziening bij een meestal voldoende luchtvoorziening. De relatie van de GVG met de groeiklasse volgens "Aanleg en beheer ..." (1981) is toegepast bij de bepaling van de schade als gevolg van grondwaterdaling in het Oldenzaalse Veen (Bakker 1986) en in Veldhoven (Hendriks 1988). De Bijl (1990) heeft in het Leenderbos de GVG toegepast ter beoordeling van de veranderingen die kunnen optreden na wijzigingen in de waterhuishouding.

Grondwaterstand

De grondwaterstand heeft in de Nederlandse bosbouw bij de boomsoortenkeuze altijd een belangrijke rol gespeeld. Zoals hierboven is uiteengezet berust de oudste kennis op de in veldwaarnemingen door de Stichting voor Bodemkartering vastgestelde relaties tussen grondwatertrappen en boniteit, en op waarnemingen in het groeiplaatseisenonderzoek. Als over de betekenis van de grondwaterstand wordt gesproken, denkt men meestal aan de GLG. In de jaren 1973-1979 is onderzoek gedaan naar de invloed van constante grondwaterstanden in de vegetatieperiode in het proefveld "Geestmerambacht". De uitkomsten van dat onderzoek vindt men weergegeven in tabel 1.

Deze resultaten suggereren dat

er een duidelijk verband bestaat tussen GLG en groei van enkele boomsoorten zoals zomereik en esdoorn, terwijl 'Robusta'-populier nauwelijks reageerde. Het groeiplaatseisenonderzoek voor een aantal boomsoorten heeft enigszins afwijkende resultaten opgeleverd. Voor douglas en 'Robusta'-populier was de relatie tussen hoogteboniteit en GLG niet significant en voor zomereik slechts zwak significant. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat deze boomsoorten niet op de armste gronden zijn aangelegd, zodat het aandeel van de bewortelde zone aan de watervoorziening aanzienlijk is. De invloed van de GLG komt opvallend genoeg wel tot uiting bij de grove den. In het traject GLG = 100-290 cm - m.v. kan de boniteit worden beschreven als een logaritmische functie van de GLG:

$$S\text{-waarde (m)} = -117.9 - 0.1814 \cdot GLG + 32.97 \cdot \ln GLG$$

(R²adj = 21.0%; p < 0.001; < 0.001)

De toch nog grote variatie kan worden verklaard uit de invloed die de bodemvruchtbaarheid heeft op de relatie tussen water en groei (Bannink, Leijs & Zonneveld 1973).

In het buitenland is tamelijk veel onderzoek verricht naar de betekenis van de grondwaterstand. Het betreft hier echter meestal ad-hoc situaties, waarvan de resultaten slechts onder voorbehoud voor Nederland toepasbaar zijn omdat zowel bodem als klimaat verschillen. De Westduitse onderzoeker Benecke (1989) heeft een overzichtspublikatie samengesteld over de betekenis van de grondwaterstand voor boomsoorten. Zijn conclusies - die hoofdzakelijk op grove den betrekking hebben, maar blijkbaar ook op andere naald- en

loofboomsoorten van toepassing worden geacht - kunnen als volgt worden weergegeven:

a: In de meeste gronden is sprake van directe invloed van het grondwater op de boom als de grondwaterstand niet dieper is dan 2 - 0,5 m - m.v.

b: Soms is nog een geringe invloed merkbaar van grondwaterstanden met een diepte van 3 m of zelfs 4 m - m.v. Blijkbaar gaat de auteur uit van voor de grove den volgens Nederlandse begrippen nogal diepe beworteling.

c: Bij grondwaterstanden ondieper dan ca. 60 cm - m.v. ontstaan voor veel boomsoorten problemen wegens zuurstofgebrek.

Informatie over een of meerdere boomsoorten is bij diverse auteurs te vinden. Een overzicht van dit vrij omvangrijke materiaal kan men vinden in Van den Burg (1990).

Vochtleverend vermogen

Eén van de belangrijkste voorspellingen die de bosbouwer van de bodemgeschiktheidsbeoordeling verlangt is die van de boniteit. Omdat de groei van boomsoorten zich over vele decaden uitstrekt, is het noodzakelijk dat men kan beschikken over een variabele die een bruikbare maatstaf vormt voor de karakterisering van de watervoorziening op lange termijn. De watervoorziening hangt niet alleen van de waterhuishouding van de bodem af, maar ook van de atmosferische condities (straling, wind, dampspanning). Het vochtleverend vermogen zoals dat is gedefinieerd door de Stichting voor Bodemkartering (Interpretatie... 1979; Waenink & Van Lynden 1988) voldoet aan deze eis. Onder het vochtleverend vermogen (VL) van de grond wordt verstaan de hoeveelheid water die in een groeiseizoen van 150 dagen (1 april tot 1 september; ook wel

Tabel 2. Regressie van de relatieve S-waarde van een aantal boomsoorten op de gradatie van het vochtleverend vermogen (100 = maximale S-waarde per boomsoort volgens de groeitabel)

| boomsoort | n | regressie | R2adj | p (=A) | R2adj(mult) (=B) | C= 100*A/B |
|---------------------|-----|--------------------------|-------|--------|------------------|------------|
| Cors. den | 88 | 100-1.905*VLgr2 | 20.9 | <0.001 | 48.1 | 43.5 |
| douglas | 469 | 100-1.3289*VLgr2 | 9.9 | <0.001 | 32.8 | 27.8 |
| fijnspar | 267 | 100-1.143*VLgr2 | 28.0 | <0.001 | 40.9 | 68.5 |
| groveden | 116 | 100-1.5785*VLgr2 | 20.9 | <0.001 | 63.9 | 32.7 |
| Japane lariks | 314 | 100-1.9917*VLgr2 | 32.9 | <0.001 | 53.6 | 61.3 |
| Sitkaspar | 16 | 100-0.0325*(4.88**VLgr) | 76.7 | * | 90.8 | 84.5 |
| Am. eik | 28 | 100-2.282*VLgr2 | 24.8 | <0.001 | 65.3 | 37.8 |
| beuk | 58 | 100-1.4819*VLgr2 | 62.3 | <0.001 | 80.5 | 77.4 |
| es | 55 | 100-3.020*VLgr2 | 47.7 | <0.001 | * | * |
| esp | 47 | 100-1.876*VLgr2 | 24.6 | <0.001 | 83.6 | 29.4 |
| wintereik | 31 | 100-2.902*VLgr2 | 35.3 | <0.001 | 88.2 | 40.0 |
| zomereik | 138 | 100-1.3485*VLgr2 | 21.9 | <0.001 | 61.8 | 35.4 |
| zwarte els | 122 | 100-0.0000102*(81**VLgr) | 21.3 | * | 41.6 | 51.2 |
| 'Robusta'- populier | 210 | 100-0.1850*(3.56**VLgr) | 7.1 | * | 34.4 | 20.6 |

n = aantal meetperken; VLgr=gradatie van het vochtleverend vermogen; R2adj=percentage door variatie van VLgr verklaarde variatie van de relatieve S-waarde; p = significantie van de regressiecoëfficiënt van VLgr; R2adj(mult) = door multiple regressie op significante onafhankelijk variabelen verklaarde percentage variatie van de relatieve S-waarde; C=100*A/B = procentueel aandeel van VLgr aan de verklaring van de variatie van de relatieve S-waarde met multiple regressie; ** = symbool voor machtsverheffing

1 mei tot 1 oktober) in een droog jaar ("10% droogte-jaar", waarvoor in de vegetatieperiode geldt: $E_{pot} - N_{ve} + 200$ mm; cf. Van Soesbergen et al. 1986) aan de boomwortels kan worden geleverd. Het kan worden weergegeven als mm water, maar in de praktijk wordt de klasse (klassebreedte = 50 mm) geschat waarin het vochtleverend vermogen valt. Men spreekt dan van de gradatie van het vochtleverend vermogen (VLgr = 5:0-50; 4: 50-100; 3:100-150; 2:150-200 en 1:>200 mm). Het vochtleverend vermogen heeft een statisch karakter. De toepasbaarheid berust op de aanname dat de regelmaat in weersomstandigheden zoals die zich in het verleden heeft voorgedaan, zich ook in de toekomst zal blijven voordoen.

Het onderzoek naar het verband tussen boniteit en vochtleverend vermogen van boomsoorten vormt een onderdeel van het groeiplaatseisenonderzoek. Op basis van in de afgelopen decaden uitgevoerd onderzoek kunnen glo-

bale relaties worden geformuleerd tussen de S-waarde en de gradatie van het vochtleverend vermogen (Van den Burg 1987). Door de hoogste in de groei- en opbrengsttabellen vermelde S-waarde per boomsoort op 100 te stellen kunnen deze formules worden omgezet in formules waaruit de procentuele verandering van de S-waarde bij een verandering van VLgr kan worden geschat. Tabel 2 geeft een overzicht van de regressies van de relatieve S-waarde op de gradatie van het vochtleverend vermogen.

Het belang van de watervoorziening voor de groei van boomsoorten laat zich uit tabel 2 aflezen:

- voor alle onderzochte boomsoorten draagt de gradatie van het vochtleverend vermogen significant bij aan de verklaring van de variatie van de S-waarde
- het aandeel van die bijdrage aan de totale verklaarde variatie is meestal vrij groot, o.a. bij beuk en fijnspar; het geringe aandeel

bij 'Robusta'-populier wordt veroorzaakt door het ontbreken van deze populier op droge gronden waardoor de betekenis van een slechte watervoorziening ogenschijnlijk minder tot uiting komt

Transpiratie

Hoewel de relatie tussen transpiratie en groei op de grens van het bodemkundig vakgebied ligt, wordt er in het kort aandacht aan geschonken omdat de verhouding E_{act}/E_{pot} (relatieve verdamping) in het modelleringsonderzoek wordt gebruikt om de groei te kunnen berekenen onder de voorwaarde van een niet optimale watervoorziening (Florax et al. 1990; Van den Broek et al. 1993). De achtergrond wordt gevormd door het uitgangspunt dat enerzijds de drogestofproductie evenredig is met de ingestraalde energie (fotosynthese) maar dat anderzijds de verdamping ook evenredig is met de ingestraalde energie. Het is dan een plausible veronderstelling dat drogestofproductie en verdamping even-

Tabel 3. Enkele uit literatuurgegevens berekende waarden van de constante α in de evenredigheid "relatieve productie = α * relatieve verdamping" (tussen haakjes: plausibele waarde)

| boomsoort | (traject van) | α auteur(s) |
|-----------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| grove den | 0.42 - 0.43 | Wösten et al. (1983) |
| douglas | 0.58 - 1.89 | Giles, Black & Spittlehouse (0.65) 1985; Robertson, Josza & Spittlehouse 1990; Carter & Klinka 1990; Spittlehouse 1985 |
| Amerikaanse eik | 0.65 - 0.79 | Greeven (1981) (0.72) |
| Populie | 0.87 - 1.64 | Braun 1974; Schmidt 1977; (1.01) Hammes 1983 |

eens evenredig met elkaar zijn. Dit kan worden weergegeven met de relatie:

$$Prel = \alpha * Erel$$

waarin Prel = relatieve productie (de productie bij de actuele verdamping Eact, gedeeld door de productie bij de potentiële verdamping Epot) en Erel = actuele verdamping gedeeld door potentiële verdamping). De vraag is nu of de waarde van de constante α bij benadering op 1 mag worden gesteld en of deze onafhankelijk is van de boomsoort. In dat geval kan het in modellen berekende quotiënt Eact/Epot worden gebruikt om de relatieve productie te berekenen. De literatuur geeft hierover beperkte informatie, die in tabel 3 is samengevat. De waarden van α hebben betrekking op metingen in opstanden en in enkele gevallen in bakkenproeven.

Aan de relatie tussen relatieve verdamping en relatieve groei is tot nu toe weinig aandacht besteed. Meer informatie over de belangrijkste boomsoorten is noodzakelijk.

Vegetatie

De vegetatie speelt als indicator van de waterhuishouding in de Nederlandse bosbouw geen rol. Bannink, Leijns en Zonneveld (1973) hebben dit aspect in hun

systeem van groeiplaatsbeoordeling met behulp van de vegetatie grotendeels uitgeschakeld. De watervoorziening van Nederlandse bossen wordt beoordeeld op grond van bodemkundige variabelen. Wel is het mogelijk om een beoordeling te geven door gebruik te maken van de systemen van Van der Werf (1991) en van Wiertz, Van Dijk & Latour (1992). Dat laatste is gebaseerd op de Ellenbergse indicatorwaarden.

Droogte, verdroging en grondwaterdaling

Verdroging als oorzaak van schade aan bossen en natuurterreinen trekt thans zozeer de aandacht dat het bestaan van een verschijnsel als droogte uit het gezicht dreigt te geraken. Verdroging wordt in de laatste jaren vaak beschouwd als een van de twee hoofdoorzaken van het jaarlijks wisselende uiterlijk van de Nederlandse bossen, waarbij als tweede hoofdoorzaak de atmosferische depositie geldt. Beide veronderstellingen gaan eraan voorbij dat de watervoorziening van het bos van jaar tot jaar uiteenloopt als gevolg van het optreden van droge en natte perioden. Een lezenswaardig artikel hierover is dat van Asthalter (1984) die laat zien hoe het wel en wee van het bos in Midden-Europa door de eeuwen heen in

belangrijke mate door wisselende weersomstandigheden is veroorzaakt. Hij heeft vooral het onderzoek dat Wiedemann in de eerste helft van deze eeuw in Pruisen en Saksen uitvoerde weer onder de aandacht gebracht. Dat een verschijnsel als bladverlies in een droge zomer een normaal verschijnsel is, kan ook met Nederlands onderzoeksmateriaal worden aangetoond, voor zover dat nodig is. 'Robusta'-populier en beuk vertoonden in de droge zomers van 1982 en 1983 droogteschade die zeer significant was gecorreleerd met de gradatie van het vochtleverend vermogen. Droogteschade trad al op op gronden met VLgr = 2. Van belang, maar nog te weinig bekend, is de nawerkingsduur van droogteschade (Asthalter 1984; Ford 1979).

Een overzicht van de problematiek van de verdroging is te vinden in het Themanummer "Verdroging" van het Tijdschrift "Waterschapsbelangen"

Jaargang 76 (Nr.23/24), Leuven & Bles (1989), Gool et al. (1990), Nabuurs (1991), Nabuurs & Van Tol (1993), Rolf (1989) en in het Nationaal Onderzoekprogramma Verdroging (concept, maart 1993). Uit de literatuur over het onderwerp kan men concluderen dat verdroging wordt veroorzaakt door ontwatering van landbouwgronden en door het winnen van grondwater door waterleidingbedrijven. Naaldhoutbossen zijn geen verdrogers maar geven een deel van de neerslag (interceptiewater) direct weer terug aan de atmosfeer zodat het water niet in de lange kringloop van het grondwater terecht komt.

Het optreden van schade door grondwaterdaling aan bossen (ongeacht de oorzaak van die grondwaterdaling) werd in 1968 door de toenmalige Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven (thans Technische Com-

Tabel 4. Procentuele verandering van de jaarringbreedte van grovedennenopstanden in het "Oldenzaalse Veen" als gevolg van grondwaterdaling

| waterprofiel | | procentuele verandering in de jaarringbreedte |
|--------------|-----------|--------------------------------------------------|
| voor daling | na daling | |
| GW | GW | 0 |
| GW | TGW | + 14,4 |
| GW | HW | - 15,0 |

GW = grondwaterprofiel; TGW = tijdelijk grondwaterprofiel; HW = hangwaterprofiel

missie Grondwaterbeheer) onder de aandacht van het bosbouwkundig onderzoek gebracht. Vanaf 1970 is aan diverse aspecten aandacht besteed. Het onderzoekaspect van de gevolgen van grondwaterdaling voor bossen gaf veel problemen. In de vroege zeventiger jaren is intensief gezocht naar opstanden die slechts verschilden in het optreden van grondwaterdaling, maar die verder voor wat betreft bodemgesteldheid, voorgeschiedenis, bodemvruchtbaarheid, boomsoort, opstandstructuur en beheer identiek waren. Het bleek niet mogelijk om dergelijke opstanden te vinden, zodat naar andere oplossingen moest worden gezocht.

De eerste oplossing houdt in dat men probeert om een verband te vinden tussen de lopende bijgroei en een index die de verandering in de waterhuishouding aangeeft. Deze methode is met veel variaties gebruikt door Duitse onderzoekers (zie de literaturopgaven bij Van den Burg 1990). Literatuur over de invloed van grondwaterdaling op de wortelgroei is er nog nauwelijks (Larson 1980; Mahoney & Rood 1992). De onderzoekingen hebben veel informatie opgeleverd, maar de ad-hoc-resultaten zijn niet overdraagbaar en niet in algemene regels om te zetten. De methode is voor Nederland toe-

gepast in een grondwaterdalingsgebied in Overijssel, het "Oldenzaalse Veen" (Olthof & Van den Burg 1990). Globaal bleek daaruit het volgende:

- Het bepalen van de grondwaterstanden voor en na de daling op basis van bodemprofielkenmerken blijft een van de zwakke punten van dit onderzoek, als geen meetgegevens van de grondwaterstand ter beschikking staan. Men kan dit de boseigenaar of -beheerder niet verwijten, omdat deze de daling heeft moeten gedogen. Het verzamelen van grondwaterstandsgegevens zou logischerwijs de taak kunnen zijn van de veroorzaker of van de voordeelgenieter van de kunstmatige grondwaterdaling.

- Reconstructie van de hoogtegroei of van de diametergroei over een zo lang mogelijke periode voor en na de grondwaterdaling geeft inzicht in de leeftijdaf-

hankelijke groeitrend, waarbij men de beschikking moet hebben over niet door kunstmatige grondwaterdaling beïnvloede opstanden. Deze laatste maken het mogelijk om te corrigeren voor leeftijdseffecten. Wil men de lopende bijgroei reconstrueren dan moet vrij intensief worden gemeten en rekening worden gehouden met dunningen.

- Kennis van de bewortelingsdiepte is nodig om onderscheid te kunnen maken tussen grondwater-, tijdelijk grondwater- en hangwaterprofielen voor en na de daling.

- Door vergelijking van de veranderingen in de voor de leeftijd gecorrigeerde groei per grondwaterdalingsklasse kan men de veranderingen in de lopende bijgroei vaststellen in relatieve zin, als alleen de heersende bomen zijn gemeten.

In het onderzoekgebied "Het Oldenzaalse Veen" kon voor ca. 70-jaar oude grove dennenopstanden op veldpodzolgronden een globaal verband worden gevonden tussen grondwaterdaling en het waterprofiel (Tabel 4). De getallen geven de procentuele verandering aan van de jaarringbreedte na de grondwaterdaling (16-20 jaar; vanaf 1960) t.o.v. de jaarringbreedte voor de grondwaterdaling (10-30 jaar; tot 1930), waarbij is gecorrigeerd voor het leeftijdseffect.

Tabel 5. Procentuele verandering van de jaarringbreedte van opstanden in het "Oldenzaalse Veen" als gevolg van grondwaterdaling

| boomsoort | grondwaterdalingsklasse (cm) | | | |
|-----------------|------------------------------|-------|--------|-------|
| | 0-20 | 20-60 | 60-100 | >100 |
| groveden | 0 | 0 | +33.2 | + 1.1 |
| Amerikaanse eik | * | 0 | +29.0 | - 3.2 |
| zomereik | 0 | +31.6 | + 8.1 | -42.8 |
| fijnspaar | * | 0 | -17.5 | * |
| beuk | * | 0 | -55.7 | * |

*: geen gegevens beschikbaar

De overgang van een GW- naar een TGW-waterprofiel had de groei verbeterd. Dit is begrijpelijk als men bedenkt dat de onderzochte grove dennenopstanden op oorspronkelijk vrij natte gronden waren aangelegd. De overgang van een GW- naar een TGW-profiel heeft voor een aantal opstanden een verbetering van de ontwatering betekend. De overgang van een GW- naar een HW-profiel heeft daarentegen de watervoorziening verslechterd en groeiafname veroorzaakt.

Ook op andere boomsoorten had de grondwaterdaling invloed gehad. Wegens de heterogeniteit van de onderzochte boomsoort-bodem-grondwatercombinaties kunnen deze effecten slechts in grote lijnen worden aangegeven (Tabel 5). Ook hier zijn de aangegeven waarden de procentuele verandering van de jaarringbreedte na grondwaterdaling t.o.v. die voor grondwaterdaling.

In tabel 5 is geen rekening gehouden met de situatie bij het begin van de grondwaterdaling. Omdat de meeste onderzochte veldpodzolgronden vrij nat waren heeft de grondwaterdaling in een aantal opstanden de ontwatering verbeterd en daardoor de groei doen toenemen. In de volgorde grove den-Amerikaanse eik-zomereik-fijnspar-beuk nam het positieve effect van de door de grondwaterdaling verbeterde ontwatering af en het negatieve effect van de verdroging toe.

De uitkomsten van dit onderzoek zijn weliswaar duidelijk, maar alleen van locale geldigheid. In het algemeen is men minder geïnteresseerd in de veranderingen van de lopende bijgroei anders dan om aan te tonen dat de grondwaterdaling daadwerkelijk de groei beïnvloedt, maar meer in de boniteitverandering van het bestaande bos en de verande-

ring in de groeiplaatsgeschiktheid. De methode die dan kan worden toegepast is die van de schatting van het vochtleverend vermogen van de bodem voor en na de grondwaterdaling. Uit de kennis van relaties tussen boniteit en vochtleverend vermogen zoals die in tabel 2 zijn weergegeven kan de procentuele verandering van de S-waarde worden berekend.

Discussie en conclusies

De betekenis van het water voor het bos staat thans in het teken van verdroging en klimaatverandering. Even belangrijk is echter de invloed van het water op de groei en de conditie van het bos van jaar tot jaar. Hoewel nog veel over de relatie tussen bos en water onbekend is, staat na vier decaden Nederlands bosbouwkundig onderzoek de statische relatie tussen de boniteit van een aantal boomsoorten en het vochtleverend vermogen in grote lijnen vast. Deze relatie kan met eenvoudige formules worden weergegeven. De volgende fase is het modelleren en operationeel maken van het dynamische proces van de relatie tussen watervoorziening en boomgroei.

De bestrijding van "verdroging" vertoont overeenkomsten met die van de aanpak van het mestoverschot en van het autoverkeer. De bouw van mestfabrieken en het aanleggen van nog meer wegen en tunnels worden als oplossingen gezien. Evenzo wil men verdroging bestrijden door "verloving". Uit twee recente artikelen (Achtienribbe 1992, 1993) volgt dat het grootste deel van het door de waterleidingbedrijven gewonnen water niet als drinkwater wordt gebruikt. De werkelijke oplossing van het verdrogingsprobleem ligt niet in "verloving" maar in terugdringing van het waterverbruik, in de overgang naar meer oppervlaktewaterwin-

ning, in afzonderlijke voorzieningen voor drinkwater (ca. 5% van het waterverbruik) en voor huishoudelijk gebruikwater en in heroverweging van ontwateringseisen.

Literatuur

- Aanleg en beheer van bos en beplantingen. 1981. Redactie: P.R. Schütz & G. van Tol. 504 p. Pudoc, Wageningen.
- Achtienribbe, G.E. 1992. De Nederlander en zijn waterverbruik. "H2O" Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling 25(21): 593-593 en 26(13): 349-350
- Asthalter, K. 1984. Trockenperioden und Waldschäden aus forstgeschichtlicher und standortkundlicher Sicht. Allgemeine Forstzeit-schrift 39(22): 549-551.
- Bakker, G. 1986. Onderzoek naar schade in het "Oldenzaalse Veen". Rapport Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven, Technisch Secretariaat. Nr. GW 312. 18 p. + literatuur + bijlagen.
- Bannink, J.F., H.N. Leijns & I.S. Zonneveld. 1973. Vegetatie, groei-plaats en boniteit in Nederlandse naaldhoutbossen. Bodemkundige Studies: Mededelingen van de Stichting voor Bodemkartering, Wageningen. Nr. 9. 110 p.
- Benecke, P. 1989. Wald und Grundwasser. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 160: 21-27.
- Braun, H.J. 1974. Zum Wuchsverhalten von Pappeln bei optimalem und reduziertem Wasserangebot. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 145: 112-113.
- Broek, B.J. van den, J.G. Wesseling, P. Kabat & A.J. Doiman. 1993. Bodemwaterstromings- en gewas-groei modellen in het kwantitatief waterbeheer. Landinrichting 33 (5): 13-20
- Bruin, P. 1952. Het belang van land-, tuin- en bosbouw bij het lysimeter-onderzoek. In: Verslagen en Mededelingen Technische Bijeenkomsten 1-6. Verslagen en Mededelingen Commissie voor Hydrologisch onderzoek TNO, Den Haag. Nr. 1. p. 154-162
- Burg, J. van den. 1987. Relaties tussen het vochtleverend vermogen van de grond, het waterverbruik en de groei van een aantal boomsoorten: een literatuurstudie. Rapport Studiecommissie Waterbe-

- heer Natuur, Bos en Landschap. Utrecht. Nr. 7e. 77 p.
- Burg, J. van den. 1990. De betekenis van de watervoorziening voor de boomgroei in Nederland: voorgeschiedenis, onderzoek en resultaten. Rapport "De Dorschkamp", Instituut voor Bosbouw en Groenbeheer, Wageningen. Nr. 599. 98 p.
- Carter, R.E. & K. Klinka. 1990. Relationships between growing season soil water deficit, mineralizable soil nitrogen and site index of coastal Douglas-fir. *Forest Ecology and Management* 30(1-4): 301-311.
- Dolman, A.J. & P. Kabat. 1993. Verdroging en de waterhuishouding van bossen. *Nederlands Bosbouw Tijdschrift* 65(2): 119-122.
- Florax, J.P.G.G.M., P.J. Kowalik & G.M.J. Mohren. 1990. Water relations in Douglas-fir stands: a modelling approach to tree water status and transpiration. Rapport "De Dorschkamp", Instituut voor Bosbouw en Stedelijk Groen. Nr. 592. 44 p.
- Ford, E.D. 1979. An ecological basis for predicting the growth and stability of plantation forests. In: E.D. Ford., D.C. Malcolm & J. Atterson (eds.) *The ecology of even-aged forest plantations*. Proceedings of the Meeting of Division I IUFRO, Edinburgh, September 1978. p. 147-174. International Institute of terrestrial Ecology, Cambridge.
- Geerling, L.C. 1933. Lysimeterinstallatie te Stroe. Bericht van het Rijksbosbouwproefstation. *Nederlands Bosbouw Tijdschrift* 6: 82-87
- Giles, D.G., T.A. Black & D.L. Spittlehouse. 1985. Determination of growing season soil water deficits on a forested slope using water balance analysis. *Canadian Journal of Forest Research* 15: 107-114.
- Goethart, J.W.C., P. Tesch, E. Hesselink & M.D. Dijt. 1925. Onderzoek aangaande de onttekening van water aan den bodem door waterleidingen, in hoofdzaak wat betreft den invloed, die door de exploitatie der bestaande waterleidingen op de vegetatie wordt uitgeoefend. Rapport van de commissie, ingesteld bij beschikking van den Minister van Landbouw, Nijverheid en Handel, Directie van den Landbouw, dd. 16 Augustus 1917, No. 1129, afdeling 4. 109 p. + 2 p. bijlagen.
- Gool, C.R., C.L.G. Groen, J. Runhaar & A.R. van Amstel. 1990. Verdroging van natuur in Nederland. Deel I: Inventarisatie van het probleem. *Landschap* 7(3): 145-163
- Goor, C.P. van. 1953. De waterhuishouding van bosgronden. Voorzacht gehouden in 1953. Bosbouwproefstation T.N.O. "De Dorschkamp", Wageningen. 13 p. (manuscript)
- Goor, C.P. van. 1954. Groei en groeiplaats van de Japanse lariks. *Nederlands Bosbouw Tijdschrift* 26(11): 298-305.
- Greeven, P. 1981. De invloed van de vochtvoorziening op de jaarringgroei van bomen: een literatuurstudie en modelberekening. Nota Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen. Nr. 1268. 102 p.
- Hammes, W. 1983. Wachstum, Wasserverbrauch und Produktivität von Pappeln unterschiedlichem Alters *Populus x euramericana* [Dode] Guinier cv. Robusta. Dissertatie Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg im Breisgau. 183 S.
- Handboek Grondwaterbeheer voor Natuur, Bos en Landschap. 1990. Samengesteld door de Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap. SDU Uitgeverij, 's-Gravenhage. 187 p.
- Hendriks, C.M.A. 1988. Onderzoek naar de invloed van grondwaterstands daling op de houtbijgroei van bos: Een oriënterend onderzoek in een boscomplex van de gemeente Veldhoven. Rapport Stichting voor Bodemkartering, Wageningen. Nr. 1998. 44 p.
- Hoogh, J. de. 1925. Bijdrage tot de kennis van den groei van *Pseudotsuga taxifolia* Britton in Nederland in verband met zijn betekenis voor den Nederlandschen bosbouw. Dissertatie Landbouwhogeschool, Wageningen. 117 p.; Mededelingen van het Rijksbosbouwproefstation, Wageningen. Deel II, Aflevering 1. p. 1-114
- Interpretatie (De) van bodemkaarten. 1979. Rapport van de Werkgroep Interpretatie Bodemkaarten, stadium C. (Redactie J.C.F.M. Haans). Rapport Stichting voor Bodemkartering, Wageningen. Nr. 1463. 221 p.
- Koning, M. de. 1927. Onderzoek naar de uitkomsten, verkregen met de cultuur van den Oostenrijksden (Pinus nigra Arn. var. austriaca Endl.) en den Corsicaanschen den (Pinus nigra Arn. var. corsicana Hort.) in Nederland. Mededelingen van het Rijksbosbouwproefstation, Wageningen. Deel III, aflevering 2. p. 87-205
- Lanen, H.A.J. van. 1991. Qualitative and quantitative physical land evaluation: an operational approach. Dissertatie Landbouwuniversiteit Wageningen. 195 p.
- Larson, M.M. 1980. Effects of atmospheric humidity and zonal stress on initial growth of planted northern red oak seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 10: 549-554.
- Leuven, R.S.E.W. & F.J.J. Bles (red.) 1989. Verdroging in Nederland - Oorzaken, omvang en oplossingen. Proceedings van het symposium gehouden op 9 September 1988 in de Jaarbeurs te Utrecht. Stichting Natuur en Milieu, Utrecht. 188 p.
- Mahoney, J.M. & S.B. Rood. 1992. Response of a hybrid poplar to water table decline in different substrates. *Forest Ecology and Management* 54: 141-156
- Nabuurs, G.J. 1991. Effecten van verdroging op het Nederlandse bos. Werkdocument IKC-NBLF Nr. 13. Rapport Informatie- en Kenniscentrum NBLF. 37 p. + 2 bijlagen. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Directie Natuur, Bos, Landschap en Fauna. Wageningen.
- Nabuurs, G.J. & G. van Tol. 1993. Effecten van verdroging op het Nederlandse bos. *Bosbouwvoorlichting* 32(4): 57-61
- Nationaal Onderzoekprogramma Verdroging. 1993. Voorbereidingscommissie Onderzoekprogramma Verdroging. 38 p.
- Nix, H.A. 1968. The assessment of biological productivity. In: G.A. Stewart (ed.) *Land evaluation*. Papers of a CSIRO symposium organized in cooperation with UNESCO, 26-31 August 1968. p. 77-87.
- Olthof, R.K.C. & J. van den Burg. 1990. De gevolgen van grondwaterdaling voor de groei van boomsoorten in het 'Oidenzaalse Veen'. Rapport Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap. Nr. 7h. 62 p. Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos

- en Landschap, Utrecht
- Oosterbaan, A. & G.J. Nabuurs. 1991. Relationships between oak decline and groundwater class in The Netherlands. *Plant and Soil* 136: 87-93
- Robertson, E.O., L.A. Josza & D.L. Spittlehouse. 1990. Estimating Douglas-fir wood production from soil and climate data. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 357-364.
- Rolf, H. 1989. Verlaging van de grondwaterstanden in Nederland - Analyse periode 1950-1986. Nota TNO-Dienst Grondwaterverkenning. 46 p. + 4 bijlagen + 3 kaarten. Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren/RIZA. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Schmidt, P. 1977. Wachstum und Wasserverbrauch von Bäumen - Methodische Experimente und Untersuchungen an Pappelklonen. Dissertatie Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg im Breisgau. 217 S.
- Soesbergen, G.A. van, C. van Wallenburg, K.R. van Lynden & H.A.J. van Lanen. 1986. De interpretatie van bodemkundige gegevens. Rapport Stichting voor Bodemkartering, Wageningen. Nr. 1967. 66 p.
- Spittlehouse, D.L. 1985. Determination of the year-to-year variation in growing season water use of a Douglas-fir stand. In: B.A. Hutchinson & B.B. Hicks (eds.) *The Forest-Atmosphere Interaction - Proceedings of the Forest Environmental Measurements Conference held at Oak Ridge, Tennessee, October 23-28, 1983*. Reidel, Dordrecht. p. 235-254.
- Vries, F. de & C. van Wallenburg. 1990. Met de nieuwe grondwatertrappenindeling meer zicht op het grondwater. *Landinrichting* 30(1): 31-36.
- Waenink, A.W. & K.R. van Lynden. 1988. Een systeem voor de geschiktheidsbeoordeling van gronden voor bos 1: Opbouw en uitgangspunten. *Nederlands Bosbouw* tijdschrift 60: 12-22.
- Water boven water. 1988. Studiresultaten van de Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap. 132 p. Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap, Utrecht.
- Werf, S. van der. 1991. Bosgemeenschappen. Handboek Natuurbeheer in Nederland. Deel 5. 375 p. Pudoc, Wageningen.
- Wiertz, J., J. van Dijk & J.B. Latour. 1993. MOVE: vegetatie-module; de kans op voorkomen van ca. 700 plantesoorten als functie van vocht, pH, nutriënten en zout. RIN-Rapport Nr. 92/24.
- Wösten, J.H.M., K.R. van Lynden, A.W. Waenink, J. van den Burg, P.J. Faber & P.P.Th.M. Maessen. 1984. Onderzoek naar de relatie tussen vochtvoorziening en boomgroei in het "Oldenzaalse Veen". Rapport Stichting voor Bodemkartering, Wageningen. Nr. 1751. 68 p.