

De waterhuishouding

De waterhuishouding van bosgebieden in Nederland mag zich, met name sinds de plannen van de Provincie Gelderland om grote delen donker naaldbos door loofbos of stuifzanden te vervangen, in een grote belangstelling verheugen. De reden om naaldbos te vervangen door loofbos is dat uit modelberekeningen (Van Beusekom et al., 1990) zou zijn gebleken dat naaldbos meer water zou verbruiken dan loofbos. Ook de voorgenomen omzetting van landbouwgronden in bos in het kader van het EEG beleid roept vragen op naar de mogelijke effecten van dergelijke omzettingen op de lokale en regionale waterbalans. Een overzicht wordt gegeven van de beschikbare kennis op het gebied van interceptie en transpiratie van Nederlandse bossen. Uit een vergelijking van gemeten en gemodelleerde waarden wordt geconstateerd dat nauwkeurige calibratie van de modellen een vereiste is om lokaal betrouwbare uitspraken te kunnen doen over het waterverbruik van bossen. De potentiële rol van de ondergroei in bostranspiratie wordt met een tweelagig model voor bosverdamping geïllustreerd. Nieuw

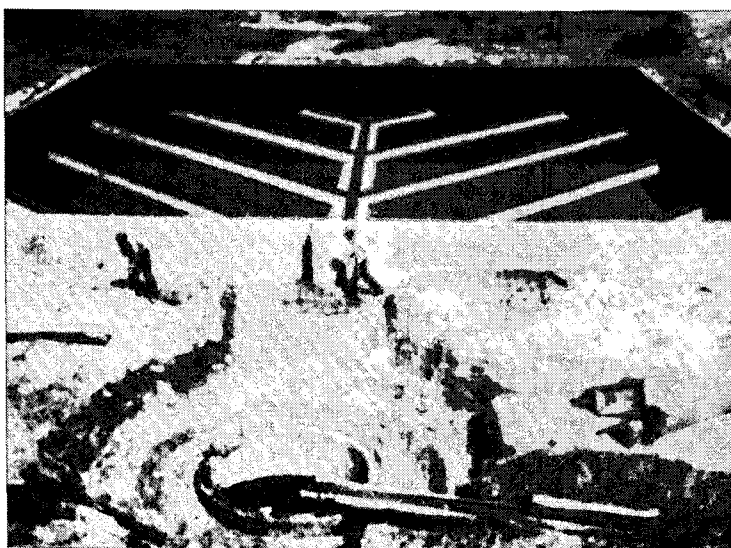
onderzoek, dat probeert de leemten in de kennis op te vullen, wordt besproken. Dit artikel gaat nader in op de waterhuishouding van bossen in de Nederlandse situatie en probeert aan te geven waar mogelijke verschillen met andere gewassen optreden. Een kort historisch overzicht van boshydrologisch onderzoek wordt gegeven en geïnterpreteerd in een fysisch kader. De relevantie van modelonderzoek zal worden besproken en er zal kort worden ingegaan op de onzekerheden die hiermee gepaard gaan. Tenslotte zal aangegeven worden in welke richting het boshydrologisch onderzoek in Nederland op zal dienen te gaan, op korte en middellange termijn, wil het een antwoord kunnen geven op vragen uit de praktijk van bos- en waterbeheer.

Summary

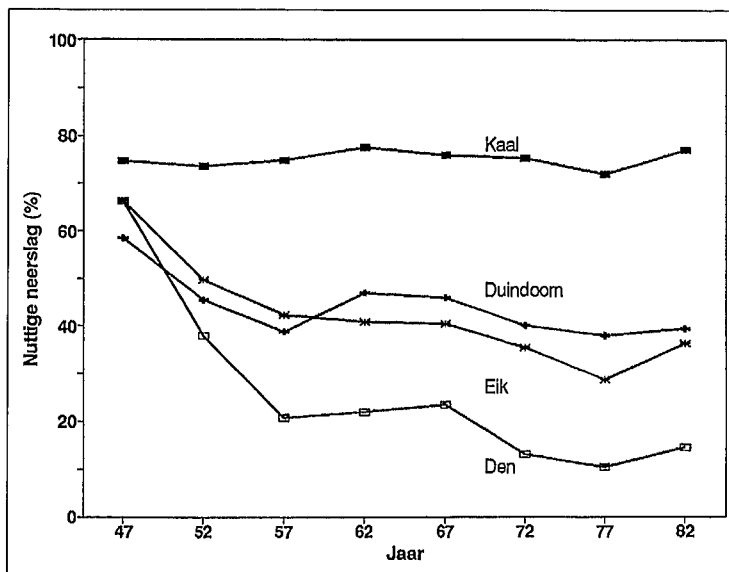
The available knowledge of interception and transpiration of forests in the Netherlands is briefly reviewed. A comparison of modelled and measured values shows that a careful site-specific calibration of the models is required to be able to make reliable predictions of forest water use. The potential role of the undergrowth in forests is elucidated with a two-layer model of forest evaporation. Newly started research aiming to fill in the gaps in current knowledge is described.

Metingen

Het onderzoek naar de verdamping van bossen in Nederland is eigenlijk pas goed begonnen met de plannen in 1936 om in de duinen bij Castricum vier grote lysimeters te bouwen, die ieder met een andere begroeiing zouden worden beplant (Van Oldenburg,



306 ■ Foto 1. Bouw van de lysimeters in Castricum (eind jaren dertig).



■ *Figuur 1. "Vijfjaarlijkse gemiddelde neerslag voor de vier verschillend begroeide lysimeters in Castricum".*

naast onderscheppen bossen door hun hoge bladdichtheid een deel van de neerslag. Dit water kan dan verdampen vanaf het bladoppervlak zonder dat het de bodem bereikt. Dit proces wordt interceptieverdamping genoemd. In vergelijking met andere gewassen is het vooral het laatste proces dat verantwoordelijk is voor de hoge verdampingsverliezen van bossen.

Het is illustratief om te kijken hoe groot deze termen van de waterbalans van bossen kunnen zijn in de Nederlandse situatie. Daarvoor is in tabel I een aantal van de in Nederland verrichte onder-

1936). Analyse van de resultaten laat zien dat de begroeiing van de lysimeter een grote invloed op de waterbalans (grondwatervoeding) kan hebben (figuur 1).

boom verlaat. Dit proces wordt in hoge mate door plantenfysiologische processen bepaald. Daar-

Zo blijkt dat de met dennen begroeide lysimeter slechts een percentage nuttige neerslag (dat deel van de neerslag dat aan het grondwater ten goede komt) van 15% oplevert. Voor de met eiken begroeide en de kaal gehouden lysimeter liggen deze percentages op respectievelijk 30 en 75% (Dolman & Oosterbaan, 1986).

De oorzaak van de geringe grondwatervoeding van de beboste lysimeters moet gezocht worden in de hogere verdamping van de beide boslysimeters. Het is daarbij van belang onderscheid te maken in twee typen verdamping. Allereerst is er verdamping die vanuit de bladeren plaatsvindt. Water, dat door de wortels wordt opgenomen, stroomt via de stam naar het blad, alwaar het, via de in het blad aanwezige huidmondjes, de



■ *Foto 2. Meetopstelling om stamafvoer te meten op de eikenbos lysimeter in Castricum.*

Tabel I. Interceptieverliezen van Nederlandse bossen; (z) zomer, (w) winter.

Lokatie	Bostype	Interceptie (%)	Jaar neerslag (mm)
Castricum ¹	Oostenrijkse den	62 (z) 53 (w)	872
Castricum1	Zomer eik	34 (z) 16 (w)	872
Winterswijk ²	Gemengd loofbos	24	804
Hackfort ³	Gemengd loofbos	29	706
Sleen ⁴	Gemengd loofbos	28	—
Garderen ⁵	Douglas	25	777
Garderen ⁶	Douglas	31	1221 ⁶
Zelhelm ⁶	Douglas	44	1057 ⁶
Ede ⁷	Amerikaanse eik	20 (z) 8 (w)	687

¹ Dolman & Oosterbaan, 1986; ² van Grinsvend *et al.*, 1987; ³ Duijsings *et al.*, 1986; ⁴ Hutjes, mond. mede.; ⁵ Bouten, 1992; ⁶ Kleijn *et al.*, 1989; ⁷ Hendriks *et al.*, 1990; ⁸ Neerslag periode mei 1987-mei 1988).

zoekingen op een rijtje gezet. Wat opvalt is het relatief hoge interceptieverlies van de Castricumse boslysimeters. Voor de andere bossen in Nederland geldt een gemiddeld interceptieverlies van 24% voor loofbos en 33% voor douglas (worden de waarnemingen van Castricum ook hierbij betrokken dan vinden we percentages van 26% en 41%). Op basis van tabel I zouden we twee conclusies kunnen trekken. Ten eerste dat de spreiding in interceptieverlies tussen verschillende bostypen relatief groot kan zijn (vgl Douglas), maar vermoedelijk sterk afhangt van lokatie en specifieke opstandskennmerken en ten tweede dat, afgezien van de waarnemingen in Castricum, de verschillen tussen naald- en loofbos in Nederland in de orde van 5 tot 10% kunnen liggen. Dit geldt vooral voor de zomermaanden. In de winter zijn de verschillen tussen naald- en loofbos groter.

Het is relevant deze waarden te vergelijken met waarnemingen voor het buitenland. Harding *et al.* (1992) vinden voor Europese bossen waarden tussen de 10 en 36%. Zij concluderen verder dat de onderlinge verschillen tussen

loofbossen groter zijn dan tussen naaldbossen, maar dat loofbossen gemiddeld genomen een wat lager verlies hebben. De oorzaak van deze verschillen zou gelegen kunnen zijn in de wat lagere opslagcapaciteit (hoeveelheid water die in een kruin geborgen kan worden) van loofbossen (~ 1 mm) ten opzichte van naaldbossen (1-2 mm). Het percentuele interceptieverlies vertoont in het algemeen een sterk verband met de hoeveelheid bruto neerslag (Calder, 1990). Volgens dit verband zou het interceptieverlies van Nederlandse bossen rond de 30 à 35 % dienen te liggen. De in tabel I gegeven waarden liggen hier zo'n 10% onder, maar de relatief geringe mate van spreiding suggereert dat het neerslagregi-

me inderdaad wel eens een overheersende factor in het interceptieverlies zou kunnen zijn.

Naar transpiratie is aanzienlijk minder onderzoek verricht. De metingen die bekend zijn, zijn vaak geëxtrapoleerd met behulp van modelberekeningen om schattingen op jaarbasis te kunnen geven. Tabel II geeft een overzicht van een aantal metingen. Opvallend is de geringe spreiding in waarden voor de jaarlijkse transpiratie. De gemiddelde transpiratie van een bos in Nederland ligt volgens deze tabel op 284 mm. Dit komt goed overeen met de door Roberts (1983) geciteerde waarde van 330 mm (+/- 35 mm) voor transpiratie van bossen in Europa. Roberts geeft als belangrijkste oorzaken een aantal feedback mechanismes met de atmosfeer en bodem.

Een eerste-ordeschatting van het waterverbruik van een Nederlands naaldbos is nu samen te stellen uit 285 mm transpiratie en 250 mm interceptie verlies (33% van 750 mm). 215 mm water blijft er dan over voor voeding aan grondwater (29% van de jaarlijkse neerslag). Voor een loofbos dient rekening gehouden te worden met lagere interceptieverliezen in de winter. Een eerste orderschatting voor een loofbos zal dan op ongeveer 285 mm transpiratie en 150 mm interceptie uitkomen (totaal 435 mm; grond-

Tabel II. Transpiratie van Nederlandse bossen (mm jaar⁻¹).

Lokatie	Bostype	Transpiratie	Neerslag
Castricum ¹	Amerikaanse elk	270	872
Ede ²	Gemengd loof	280	687
Hackfort ³	Gemengd loof	296	706
Garderen ⁴	Douglas	289	777

¹ Dolman, 1988; ² Hendriks *et al.*, 1990; ³ Duijsings *et al.*, 1987; ⁴ Bouten, 1992)

Tabel III. Berekende interceptie en transpiratie van een aantal Nederlandse bostypen (bron: Dolman & Nonhebel, 1988).

Lokatie (mm)	Bostype	Interceptie (%)	Transpiratie
De Bilt	Eik	19	283
De Bilt	Douglas	55	226
De Kooy	Eik	23	236
De Kooy	Douglas	61	188

wateraanvulling 42%). Ter vergelijking, de gemiddelde verdamping van gras bedraagt rond de 400 à 450 mm op jaarbasis, hetgeen een grondwatervoeding van 300 à 350 mm (40 à 47%) oplevert. Volgens deze grove berekening ligt het waterverbruik op jaarbasis van loofbos en gras in dezelfde orde van grootte en kan dat van een douglasopstand zo'n 25% hoger zijn (ongeveer 100 mm). De spreiding in deze getallen is echter groot en erg veel waarde kan er dan ook niet aan deze algemene berekeningen gehecht worden.

Alhoewel het jaargebruik van bos en gras in algemene zin dan wellicht niet zo veel verschilt, zijn er grote verschillen in de manier waarop dit verbruik tot stand komt. Zo is het interceptie verlies van gras ten opzichte van bos gering en wordt het waterverbruik van gras voornamelijk bepaald door transpiratie. Ook zullen grondwaterstanden onder gras veelal hoger zijn dan onder bos. Dit heeft met name consequenties voor het waterbeheer, aangezien deze verschillen kunnen leiden tot een verschillend afvoergedrag van beboste en niet beboste percelen (Bon, 1969).

Modellen

Voor de Studiecommissie Water-

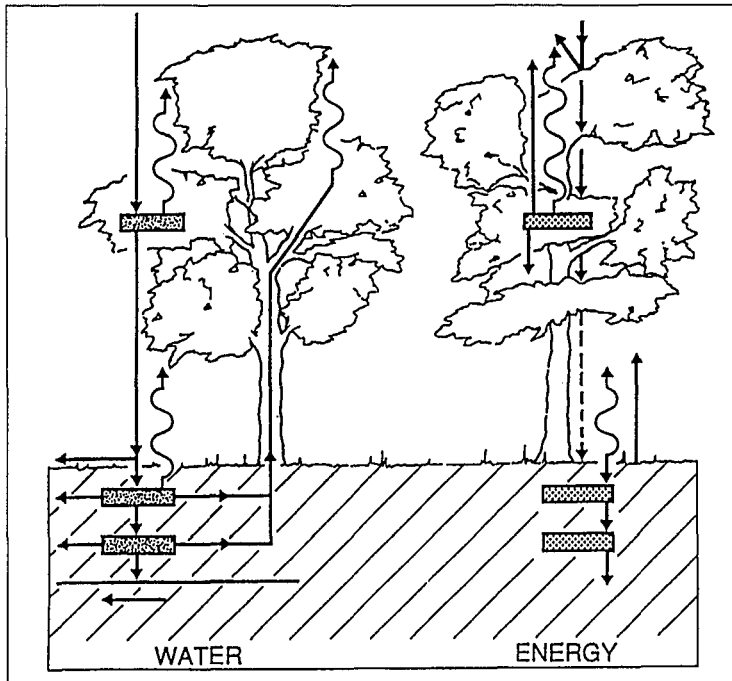
■ Foto 3. Meetmast met apparatuur om de verdamping te meten in een gemengd loofbos in Ede.

beheer Natuur, Bos en Landschap (Van Beusekom et al., 1990) zijn er model berekeningen uitgevoerd naar het waterverbruik van bossen op een aantal lokaties in Nederland. In tabel III zijn de belangrijkste resultaten van dit onderzoek weergegeven. Opvallend is het enorm hoge berekende interceptieverlies van douglas en de relatief lage waarden van transpiratie wanneer deze vergeleken worden met de gemeten waarden in Tabel I & II. De lage

transpiratiewaarden zijn een gevolg van de gehanteerde berekeningsmethode, waarbij door het hoge interceptieverlies geen water meer beschikbaar is voor aanvulling van het bodemvocht en transpiratie. De berekende waarden voor eik komen beter overeen met de gemeten waarden.

Wat nu is de waarde van dergelijke modelberekeningen, zeker als deze vergeleken worden met metingen, en wat voor conclusies kan men hieraan verbinden? Allereerst moet worden gesteld dat modelberekeningen zo goed zijn als de beschrijving van de relevante fysische processen in die modellen en als hun parameterwaarden. Het goed schatten van parameterwaarden is essentieel voor een goede modeluitkomst. Vooral dit probleem bepaalt de waarde en betrouwbaarheid van de SWNBL studie (tabel III). Hoewel in 1988 alle toen beschikbare





■ Fig. 2: Schematische weergave van een bosverdampingsmodel. De pijlen geven stromen van warmte en vocht aan, de blokken stellen reservoirs voor.

kennis en gegevens voor de SWNBL studie zijn gebruikt, waren dat vooral gegevens die afkomstig waren uit het buitenland en Castricum. Sindsdien is er, vooral in het zure-regenonderzoek, op meer locaties in Nederland gemeten. Deze gegevens, die veelal na de SWNBL studie beschikbaar kwamen, geven een wat ander beeld van het waterverbruik van bossen dan de modelberekeningen.

Modelleren en meten

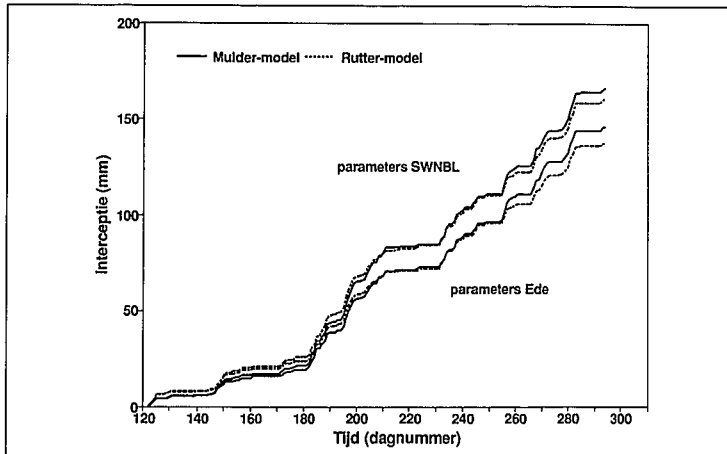
Gezien het verschil dat tussen de metingen en modeluitkomsten bestaat, is het verstandig de geconstateerde verschillen wat gedetailleerder te bekijken. Dit kan door metingen die op een specifieke lokatie zijn verricht te confronteren met modelberekeningen voor dezelfde lokatie. In het kader van de SWNBL zijn op een lokatie in Ede metingen aan de

energie- en waterbalans van een eikenbos verricht gedurende 1988 en 1989 (Hendriks et al., 1990). Deze metingen betroffen zowel meteorologische waarnemingen als waarnemingen van bodemvocht. Hierdoor is het mogelijk verschillende technieken en modellen met elkaar te vergelijken. In figuur 2 is de structuur van één van de meest gebruikte bosverdampingsmodellen gegeven. Van de neerslag die op het bos valt, wordt een deel onderschept en vult het interceptiereservoir, van waaruit het dan kan verdampen. Een ander deel bereikt als vrije doorval direct de bosvloer. Als het interceptiereservoir volledig gevuld is verlaat het extra water als kruindrup het bladerdek. In droge omstandigheden vindt transpiratie plaats. In de bodem wordt een bodemvochtreservoir gevuld door doorval en geleegd door transpiratie. Voor de energie-uitwisselingsprocessen wordt een vergelijkbare balans opgesteld. De verschillen in gebruikte modellen zijn

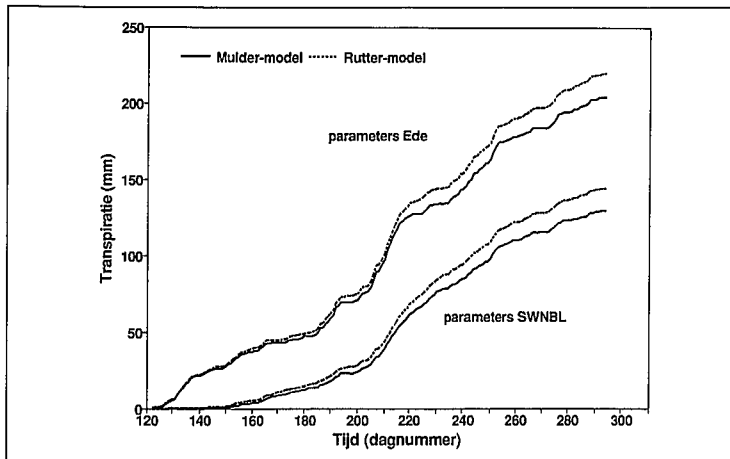
vaak te herleiden naar de aantallen compartimenten die voor bodem en vegetatie worden gebruikt. Modellen met meerdere compartimenten leveren vaak een betere fysische beschrijving op, maar vereisen door hun complexiteit ook vaak intensievere en meer complexe metingen om ze te ontwikkelen en te toetsen. Naast verschillen in de hoeveelheid compartimenten zijn sommige modellen beter geschikt om op jaar, dag of uurbasis te werken (van Roestel, 1984).

In figuur 3 zijn de resultaten van twee modelberekeningen weergegeven voor het groeiseizoen 1988 van een eikenbos in Ede. De resultaten die betrekking hebben op de gecalibreerde berekeningen zijn tot stand gekomen door een parameterset te kiezen die direct uit gedetailleerde metingen van verdamping en interceptie was af te leiden. Deze modeluitkomsten liggen dus het dichtst bij de gemeten waarden. De andere berekeningen gebruiken parameterwaarden zoals deze in de SWNBL-studie zijn gebruikt. Er zijn steeds twee modellen voor interceptie gebruikt: het Rutter model, dat een gedetailleerde beschrijving op uurbasis hanteert, en het Mulder model dat het interceptie verlies op dagbasis uitrekent.

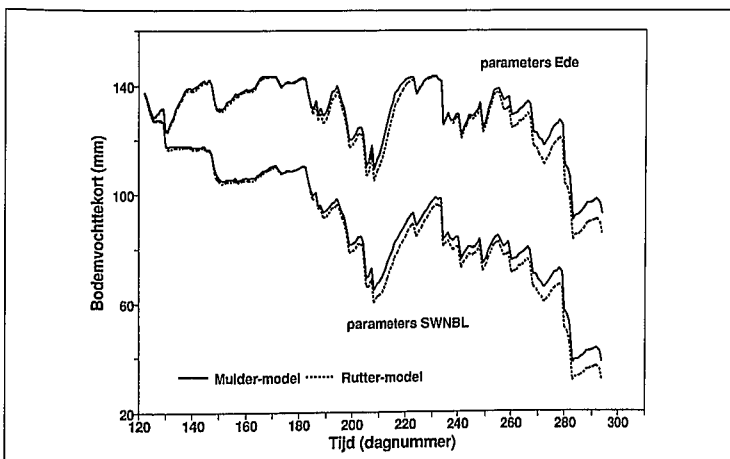
Wat direct opvalt is dat de gecalibreerde modelberekeningen vrij dicht bij elkaar liggen en dat er grote verschillen op treden als niet-gecalibreerde modelberekeningen worden uitgevoerd. De verschillen in de transpiratieberekeningen tussen geoptimaliseerde Ede- en SWNBL-gegevens zijn te herleiden op de parameterisatie van het vochttransport in de onverzadigde zone. De verschillen tussen de modellen liggen in de orde van grootte van 10%. Het is daarom niet verstandig om voor de waterbalans van een specifieke lokatie



■ *Figuur 3a*



■ *Figuur 3b*



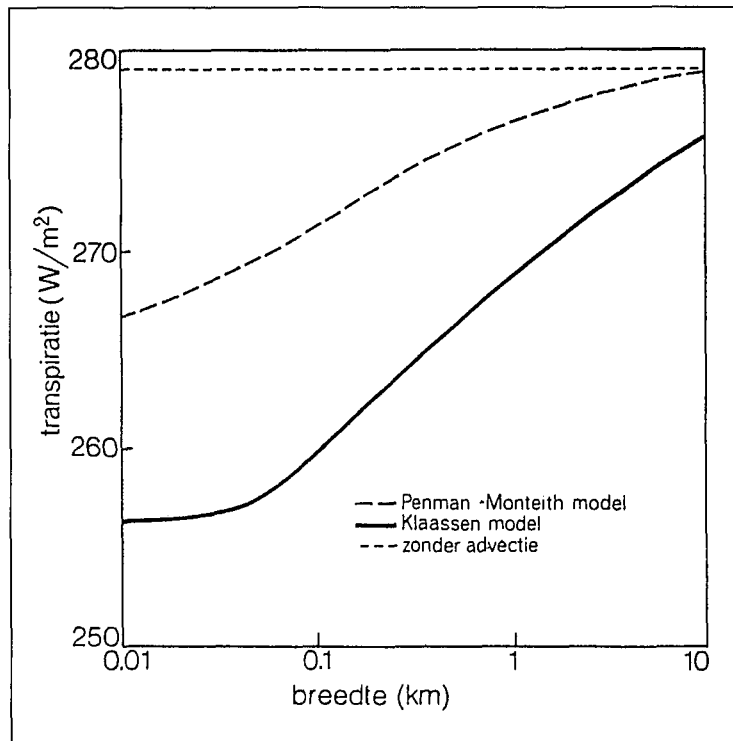
■ *Figuur 3c. "Berekende interceptie, transpiratie en bodemvochtttekort voor een gemengd eikenbos in Ede in 1988 (Het Ruttermodel berekent interceptie op uurbasis, het Muldermodel op dagbasis).*

de SWNBL-gegevens (tabel III) te gebruiken. Deze tabel geeft slechts een indicatie. Voor een juiste schatting met een model moeten de juiste, lokaal bepaalde, parameterwaarden worden gebruikt. Dit vergt ofwel een uitvoerig meetprogramma voor iedere nieuwe lokatie of het gebruik van simpele, uit de opstand en lokatie af te leiden parameterschattingen. Op dit moment zijn echter de laatste technieken nog niet voorhanden.

Gebreken van de modellen

De tot nu toe gebruikte modellen hebben alle betrekking op uitgestrekte bossen met een hoge mate van kruinsluiting, en schenken vooral aandacht aan bovengrondse processen. Een groot deel van de bossen in Nederland voldoet niet aan deze criteria; vaak zijn de beboste stukken gering van omvang, of in een groeifase waarin de kruin nog niet volledig gesloten is. Hoe kan dan de verdamping berekend worden?

Aan de Rijksuniversiteit Groningen (Veen, 1992) wordt onderzoek gedaan naar het effect van de grootte van een bos op de totale verdamping. In figuur 4 is een resultaat van dit onderzoek weergegeven. De figuur laat modelberekeningen zien voor de transpiratie van een gebied dat voor 50% uit bos en 50% uit gras bestaat. De drie berekeningen verschillen in de mate van detail waarin uitwisselingsprocessen in een twee-dimensionaal kader worden berekend. De meest simpele benadering is hier de Penman-Monteith benadering, waarin onderlinge beïnvloeding van het bos en gras verwaarloosd wordt. Het Klaassen model modelleert deze beïnvloeding in groot detail en het model zonder advectie ligt tussen het Klaassen- en Penman-Monteith model. Met behulp van dergelijke model-



■ **Figuur 4.** Transpiratie voor een gebied dat voor 50% uit bos en 50% uit gras bestaat in relatie met de breedte van de gras- en andere bosstroken.

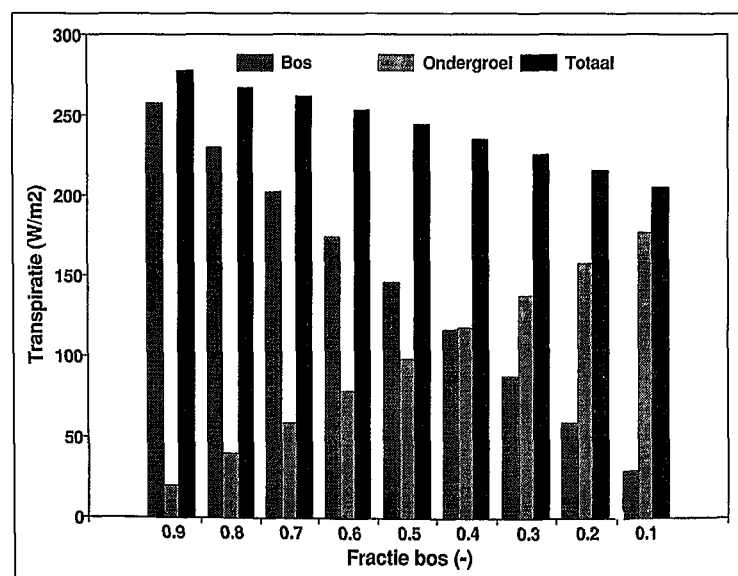
transpiratie rond de 300 mm per jaar blijft schommelen. Om dit goed te kunnen modelleren is het nodig een tweelagig model voor transpiratie te ontwikkelen. Zo'n model is momenteel beschikbaar (Dolman, 1993) en wordt aangepast voor het gebruik in bossen. Ook voor interceptie blijkt een dergelijk model voor een bos met een kroonsluiting van 50% goede resultaten te leveren (Gash et al., 1993). Zo'n model zal het mogelijk moeten maken om de waterhuishouding van een bos te voorspellen vanaf het moment dat het bos wordt aangeplant totdat het volgroeid is. Ook zal het toepasbaar zijn op situaties waarin bos van nature een niet volledig gesloten kruin heeft.

len is het wellicht mogelijk om voor de resultaten van de eerdere, SWNBL-modelberekeningen, die uitgaan van uitgestrekte bossen, aan te geven hoe afhankelijk deze zijn van de omvang van een bos. In het hier gebruikte voorbeeld (figuur 4) zijn de verschillen gering, en zou een heterogeen gebied dat uit bos en gras bestaat ongeveer evenveel transpireren als een bebost gebied.

Uit onderzoek in Engeland (Roberts et al., 1983) is gebleken dat ondergroei in een bos vaak een bufferende werking heeft op het totale waterverbruik. In een situatie waar minder energie in de vorm van zonnestraling voor het

bos als totaal beschikbaar is dan bij een volledige kruinsluiting, neemt de ondergroei deze energie op en gebruikt het voor groei en transpiratie. Uit het geringe onderzoek dat aan dit soort bossen is verricht, blijkt dat de totale

Figuur 5 laat de resultaten van een tweelagig model zien voor een bos dat 15 m hoog is met een ondergroei van 1.5 m. De gebruikte weerstanden voor de ondergroei en bos zijn 100 en 60 sm⁻¹ respectievelijk. Duidelijk is te zien dat de ondergroei een



■ **Figuur 5.** "Berekende transpiratie voor een bos met ondergroei (gebruikte invoergegevens: nettostraling 350 Wm⁻², dampspanningstekort 10 mbar, temperatuur 20 °C, windsnelheid 2.5 ms⁻¹)"

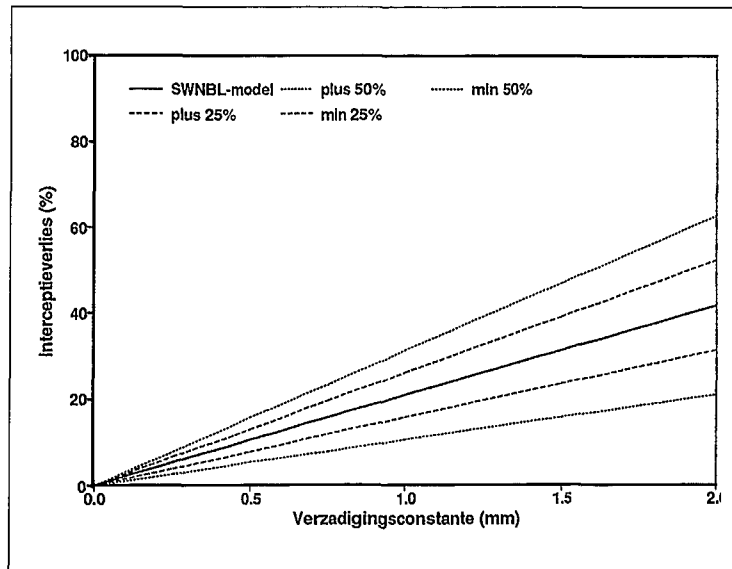
■ **Figuur 6.** "Gevoeligheid van het berekende interceptieverlies voor variatie in de verzadigingsconstante van het SWNBL model".

deel van de verdamping van het bos compenseert als het bos uitgedund wordt. Zouden dezelfde oppervlakte weerstanden gebruikt zijn voor ondergroei en gras dan zou een volledige symmetrische compensatie zijn opgetreden.

Uit de vergelijking van metingen met modelvoorspellingen (figuur 3) bleek dat vooral de relatie tussen transpiratie (oppervlakteweerstand) en bodemvocht van cruciaal belang was. De tot nu toe gebruikte modellen veronderstellen vaak dat de bodem beschouwd kan worden als een reservoir waaruit de wortels alle in gelijke mate kunnen putten. Een dergelijk model kan nooit de werkelijke gang van infiltratie, opname, afvoer en drainage adequaat voorspellen. Ook is een dergelijk model niet in staat de invloed van eventuele hoge grondwaterstanden te berekenen. Vooral binnen het agrohydrologisch onderzoek is de laatste tientallen jaren grote ervaring opgedaan in het modelleren van watertransport in de onverzadigde zone (Van den Broek et al., 1993) en het ligt dan ook voor de hand processen de onverzadigde zone nadrukkelijker in een bosverdampingsmodel mee te nemen.

Nieuw onderzoek

Met subsidie van onder meer het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (Directie Natuur Bos Landschap & Fauna) is DLO-Staring Centrum een groot opgezet onderzoek begonnen naar de waterbalans van bossen in Nederland (Dolman en Kabat, 1993). Hoofddoel van dit onderzoek is inzicht te verkrijgen in de belangrijkste processen en parameters die de verdamping



en waterhuishouding van bossen in Nederland bepalen. De gevolgde strategie bestaat uit een combinatie van meten en modelleren. Meten om inzicht te krijgen in de variatie in parameters voor Nederlandse bostypen, en modelleren om een mogelijkheid te creëren de resultaten naar andere lokaties te extrapoleren en het inzicht in de processen te vergroten.

Momenteel wordt gewerkt aan een gevoeligheidsanalyse van de in de SWNBL-studie gebruikte modellen; de eerste resultaten zijn in figuur 3 weergegeven. Op basis van deze gevoeligheidsanalyse zal een foutenmarge van het model worden aangegeven. Bijvoorbeeld, of het waterverbruik van douglas nu precies 80% van de neerslag is, of dat dat net zo goed 60 of 100% kan zijn. Een ander voorbeeld van een dergelijke analyse, zij het nog wat simpel, is gegeven in Figuur 6.

Voor interceptie is de verzadigingsconstante, die bepaalt hoeveel water de kruin kan bevatten voordat dit van het bladerdek afstroomt, van groot belang voor het berekenen van het intercept-

ieverlies. Het gevolg hiervan is dat er een sterk verband bestaat tussen de grootte van deze constante en de grootte van het interceptieverlies. In figuur 6 is dit verband weergegeven door een rechte lijn. Worden nu typische waarden genomen van bijvoorbeeld 2 mm. voor douglas en 1 mm voor eik, dan is het mogelijk de gevolgen van een 25% afwijking in die waarden voor het interceptieverlies te bepalen. Dan blijkt bijvoorbeeld dat een niet onrealistische afwijking van minus 25% voor douglas het interceptieverlies met 20% vermindert! Op deze wijze en, nauwkeuriger, door de modelberekening te herhalen met realistische afwijkingen in de parameterwaarden, kan worden aangegeven wat de mogelijke afwijkingen van het waterverbruik van bossen ten opzichte van de SWNBL -studie (zie ook tabel II) zijn.

Op basis van deze gevoeligheidsanalyse zal een meetprogramma worden ontworpen dat op een viertal lokaties in Nederland zal worden geïmplementeerd. Een belangrijk onderdeel van het onderzoek zal zijn het ontwikkelen van simpele metho-

den om relevante parameters te schatten die kunnen worden gebruikt in de tijdens het onderzoek verfijnde en verder ontwikkelde modellen. Deze parameterwaarden zullen moeten worden geschat op basis van opstands- en lokatiekenmerken, eventueel aangevuld met simpele, weinig kostbare metingen.

In het genoemde project zal ook worden gepoogd een gedetailleerd model voor verdamping te koppelen aan een model voor de onverzadigde zone. Dit model zal worden gecalibreerd voor de vier te bemeten lokaties en andere lokaties waarvan metingen beschikbaar zijn. Op basis van dit uitgebreide model zullen dan simpele modellen worden ontwikkeld, voor gebruik in de dagelijkse praktijk van water en bosbeheer. Ook zal een versie worden ontwikkeld die ingepast kan worden in regionaal hydrologische modellen, zodat verbeterde en meer realistische schattingen kunnen worden gemaakt van het waterverbruik van grote gebieden. Op deze wijze wordt het, door een combinatie van meten en modelleren, in de toekomst wellicht mogelijk voor specifieke lokaties adequate voorspellingen over het waterverbruik te doen.

Literatuur

- Bon, J. 1969. De invloed van bos in Nederland op de afvoer van beekgebieden. *Waterschapsbelangen* 54: 1-11.
- Bouten, W., 1992. Monitoring and modelling forest hydrological processes in support of acidification research. Proefschrift Univ. Amsterdam.
- Broek, B.J., van den, Wesseling, J.G., Kabat, P. & Dolman, A.J., 1993. Bodemwaterstromings- en gewasgroeimodellen in het kwantitatief waterbeheer. *Landinrichting*, 33 (5): 13-20.
- Calder, I.R., 1990. *Evaporation in the uplands*. John Wiley, Chichester, UK.
- Dolman, A.J., 1993. A multiple source land surface energy balance model for use in GCMs. *Agric. For. Meteorol.*, 65: 21-45.
- Dolman, A.J. en Kabat, P., 1993. Verdroging en de waterhuishouding van bossen. *Nederlands Bosbouw Tijdschrift*, 64: 119-122.
- Dolman, A.J. & Nonhebel, S., 1988. Modelling forest water consumption in the Netherlands. *Agric. Wat. Manag.*, 14: 413-422.
- Dolman, A.J. & Oosterbaan, W.E., 1986. Grondwatervoeding, interceptie en transpiratie van de Castricumse boslysimeters. *H2O* 19: 174-175.
- Duijsings, J.J.H.M., Verstraten, J.M. & Bouten, W., 1986. Spatial variability in nutrient deposition under an oak/beech canopy. *Zeit. Pflanzenenern. u. Bodenk.*, 149: 718-727.
- Gash, J.H.C., Lloyd, C.R., Dolman, A.J. & Lachaud, G., 1993. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. *J. Hydrol.*, aangeboden.
- Grinsven, J.J.M., van, Breemen, N., van & Mulder, J., 1987. Impacts of atmospheric deposition on woodland soils in the Netherlands. I. Calculation of hydrologic and chemical budgets. *Soil. Sc. Soc. Am. J.*, 51: 1629-1633.
- Harding, R.J., Hall, R.L., Neal, C., Roberts, J.M., & Rosier, P.T.W., 1992. Hydrological impacts of broadleaf woodlands: implications for water use and water quality. Project Rep. 115/03/ST, National Rivers Authority, Bristol, UK.
- Hendriks, M.J., Kabat, P., Homma, F. & Postma, J., 1990. Onderzoek naar de verdamping van een loofbos. Meetresultaten en enkele modelberekeningen. DLO-Staring Centrum rapport 90. Wageningen.
- Kleijn, C.E., Zuidema, G. & Vies, W. de., 1989. De indirecte effecten van atmosferische depositie op de vitaliteit van nederlandse bossen. 2. Depositie, bodemeigenschappen en bodemvochtsamenstelling van acht Douglasopstanden. STI-BOKA rapport no. 2050, Wageningen.
- Oldenborgh, J., van. 1936. Plannen tot het stichten van een lysimeter-waarnemingsstation in het provinciaal duinterrein Bakkum onder de gemeente Castricum. *Water* 20 (11): 93-94.
- Roberts, J.M., 1983. Forest transpiration: a conservative hydrological proces? *J. Hydrol.*, 66: 133-141.
- Roestel, J., van. 1984. Transpiratie en interceptie van bos: een literatuurstudie. SWNBL rapport 7b. Utrecht.
- Veen, A.W.L., 1992. De waterbalans van bossen. *Landschap*, 9: 1-10.