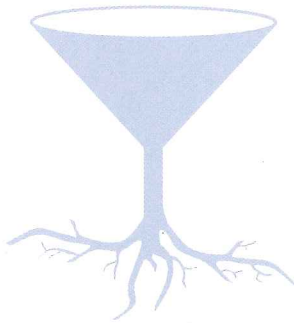


Het waterverbruik

van bossen in Nederland





Het waterverbruik van bossen in Nederland

Han Dolman, Eddy Moors, Jan Elbers, Wim Sijnders en Philip Hamaker



I N H O U D

1	COLOFON	4
2	DE ROL VAN BOSSEN ALS WATERVERBRUIKER	6
3	INTERCEPTIE, TRANSPIRATIE EN AFVOER	5
4	HET METEN VAN DE WATERHUISHOUDING VAN EEN BOS	8
5	EXPERIMENTELE RESULTATEN	14
	<i>Totale verdamping, interceptie, transpiratie en afvoer</i>	20
	<i>Bodemvocht en berging</i>	20
	<i>Afvoer naar grondwater en open water</i>	22
6	BEREKENING DAGELIJKSE VERDAMPING	26
7	BOS EN WATER: VRIEND OF VIJAND?	28
	<i>Verdrogingsbestrijding</i>	28
	<i>Gebruikt de ene soort meer water dan de andere?</i>	30
	<i>Slootonderhoud</i>	30
	<i>Waterberging</i>	30
	<i>De toekomst: klimaatverandering en bossen als koolstofvastleggers?</i>	31

Colofon

In 1994 heeft het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en visserij opdracht gegeven aan het toenmalige DLO Staring Centrum (sinds 1-1-2000 Alterra) om een onderzoek te starten naar de waterhuishouding van bossen in Nederland.

Dit onderzoeksproject "Hydrologie van bossen en bosgebieden in Nederland" werd begeleid door een begeleidingscommissie die bestond uit de volgende personen

ir. J.M. Brand (directie Natuur, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij)

ir. G. van Tol (IKC, Natuur)

dr. ir. W. Bouten (Universiteit van Amsterdam)

Prof. A.W.L. Veen (Universiteit van Groningen)

ir. H.K.A. Rotermundt (NUON, namens de VEWIN)

ir. W.P.C. Zeeman (Staatsbosbeheer/Dienst Landelijk Gebied)

ir. K. Voetberg (Natuurmonumenten)

ir. H. Massop (Unie van Landschappen/Natuurmonumenten)

ir. J.A. Deurloo (Waterschap Regge en Dinkel)

Het project werd financieel mogelijk gemaakt door het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Staatsbosbeheer, de Vereniging van Exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland, de Unie van Landschappen, Natuurmonumenten en de Europese Unie.

© 2000 ALTERRA Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000;
e-mail: postkamer@alterra.wag-ur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook
zonder vooraf-gaande schriftelijke toestemming van ALTERRA.

ALTERRA aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade
voort-vloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek
of de toepassing van de adviezen.

ALTERRA is de fusie tussen het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek
(IBN) en het Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van
het Landelijk Gebied (SC).

<http://www.alterra.research.nl/boshydrologie>



De rol van bossen als waterverbruiker

Kwalitatief goed water in Nederland wordt een steeds schaarser goed. Niet alleen de kwaliteit van het water in Nederland is onderwerp van discussie, maar ook de beschikbaarheid. In dat kader speelt landgebruik een belangrijke rol. Grootscheepse plannen in het begin van de jaren negentig om op grote delen van de Veluwe het bos te kappen en te vervangen door heidevelden of zandverstuivingen liggen nog vers in het geheugen. Discussies over de hoogte van de waterschapslasten voor boseigenaren vinden eveneens al sinds jaren plaats. Echte doorbraken in deze discussies bleven uit omdat onvoldoende inzicht bestond in de precieze grootte van het waterverbruik. Dit betrof vooral de verdamping van bossen, en het effect daarvan op de afvoer van water uit bosgebieden.

Het is bekend dat bossen meer water gebruiken dan grasland of vergelijkbare landbouwgewassen. Om die reden worden bossen dan ook vaak aangewezen als boosdoener bij verdroging. Onderzoek naar de mogelijkheden om door grootschalige bosvorming op de Veluwe meer water te genereren voor grondwateraanvulling vond dan ook plaats naar aanleiding van berichten over langdurig dalende grondwaterstanden op de Veluwe. De aandacht voor de rol van bossen in de waterhuishouding is echter niet alleen van recente datum. Al in 1939 woedde een discussie over de hydrologische effecten van bosaanplant in de duinen in Noord-Holland. Ook toen werd onderzoek verricht waaruit later bleek dat het percentage nuttige neerslag (de hoeveelheid neerslag die ten goede komt aan het grondwater) bij eiken en Oostenrijkse dennen respectievelijk 30 en 15 % van de neerslag bedraagt. Voor kale grond was dit percentage aanzienlijk hoger, 75 % van de neerslag. Dit zijn grote verschillen in grondwateraanvulling en het is dan ook begrijpelijk dat er vragen worden gesteld over het effect van bos op de waterhuis-

houding en de grondwateraanvulling. Die vragen hebben in 1994 aanleiding gegeven tot het opstarten van een groot experimenteel onderzoek naar de waterhuishouding van bossen in Nederland. Hierbij is veel aandacht besteed aan het meten van de verdamping die in de meeste waterbalansstudies de grootste onzekere factor is. Deze brochure beschrijft de eindresultaten van dat onderzoek en geeft suggesties voor praktische rekenregels om het waterverbruik van bossen te schatten.

In de jaren na de conceptie van het onderzoek is er bij de vragen over de rol van bossen in de regionale waterhuishouding een belangrijke vraag bijgekomen: wat is de potentie van bosgebieden om water vast te houden? Door hun dikkere wortelzone en groter opslagcapaciteit van water in de onverzadigde zone kan er wellicht meer water in droge tijden beschikbaar worden gemaakt. Dit water dient dan wel in nattere perioden te zijn aangevoerd. Verscheidene boomsoorten kunnen langdurig met hun wortels onder water staan, zonder daar nadelige gevolgen voor de groei van te ondervinden. Hiervan

gebruik makend kan er dus wellicht in de winter extra water worden aangevoerd en geborgen in bosgebieden, dat in de zomer dan weer gebruikt kan worden. De resultaten van het hier gepresenteerde onderzoek geven ook inzicht in de grootteorde van deze bergingsmogelijkheden.

Bossen verbruiken niet alleen water. Ze genereren door hun specifieke eigenschappen ook extra neerslag. Een deel van het vocht dat door verdamping uit bossen in de atmosfeer komt, regent immers verderop, windafwaarts weer uit. In het geval van interceptieverdamping kan zo een versnelling in de hydrologische cyclus ontstaan die lokaal en regionaal tot meer neerslag leidt. Onderzoek hiernaar staat nog in de kinderschoenen, maar de regionale effecten van bossen op de hydrologische cyclus zijn van groot belang bij grote ontbossingprojecten in de tropen, waar de gevolgen voor het regionale klimaat vaak desastreus kunnen zijn. Het is niet uitgesloten dat ook in Europa bij grotere gebieden deze effecten van belang zijn.





Interceptie transpiratie afvoer

De waterhuishouding van een bos bestaat uit een aantal componenten. De twee belangrijkste componenten zijn de neerslag en de verdamping. Daarnaast spelen afvoer, grondwateraanvulling en veranderingen in de hoeveelheid bodemvocht ook een belangrijke rol. Bij de verdamping zijn interceptie-verdamping en transpiratie de grootste componenten.

Interceptie

Interceptie-verdamping is het proces waarbij neerslag die door het kronendak is onderschept, weer verdampt. Het wordt in de praktijk vaak interceptieverlies genoemd omdat het water verdwijnt zonder dat het de bosbodem bereikt. In termen van grondwateraanvulling is het ook een verlies. Het is vooral het interceptieverlies dat bijdraagt aan de grotere verdamping van bossen ten opzichte van graslanden en bouwland.

Transpiratie

Transpiratie is het proces waarbij water dat door de wortels is opgenomen verdampt door de huidmondjes van de bladeren. Tegelijkertijd nemen de bladeren dan CO_2 op.

Bodemvocht

Het water dat door het kronendak heen valt komt op de bosbodem en vult in eerste instantie de voorraad van de onverzadigde zone aan. Hier halen de wortels het water dat voor transpiratie gebruikt wordt vandaan. Dit bodemvochtreservoir speelt een belangrijke rol bij het optreden van grondwateraanvulling en oppervlakkige afvoer en kan een rol spelen bij het reguleren van transpiratie.

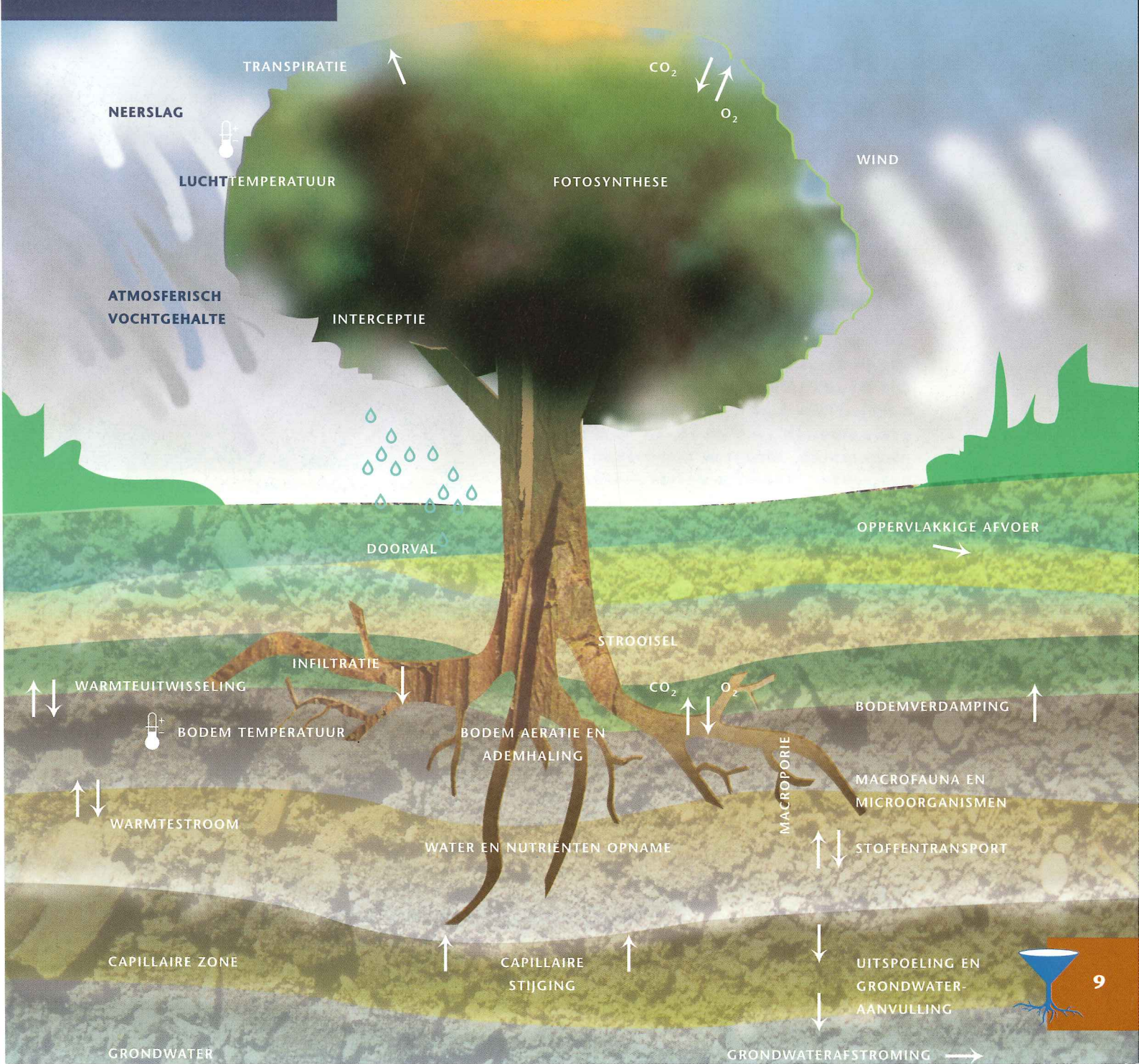
Bodemverdamping

Bodemverdamping is de verdamping uit de strooisellaag en de bodem.

Afvoer

Afvoer is de hoeveelheid water die uit een gebied stroomt. Dit kan plaatsvinden via het grondwater of via het oppervlakte water. De hoeveelheid water die via het openwaterstelsel moet worden afgevoerd is onder meer van belang bij de discussie voor de bepaling van de hoogte van de waterschapslasten.





4

Het meten van de waterhuishouding van een bos

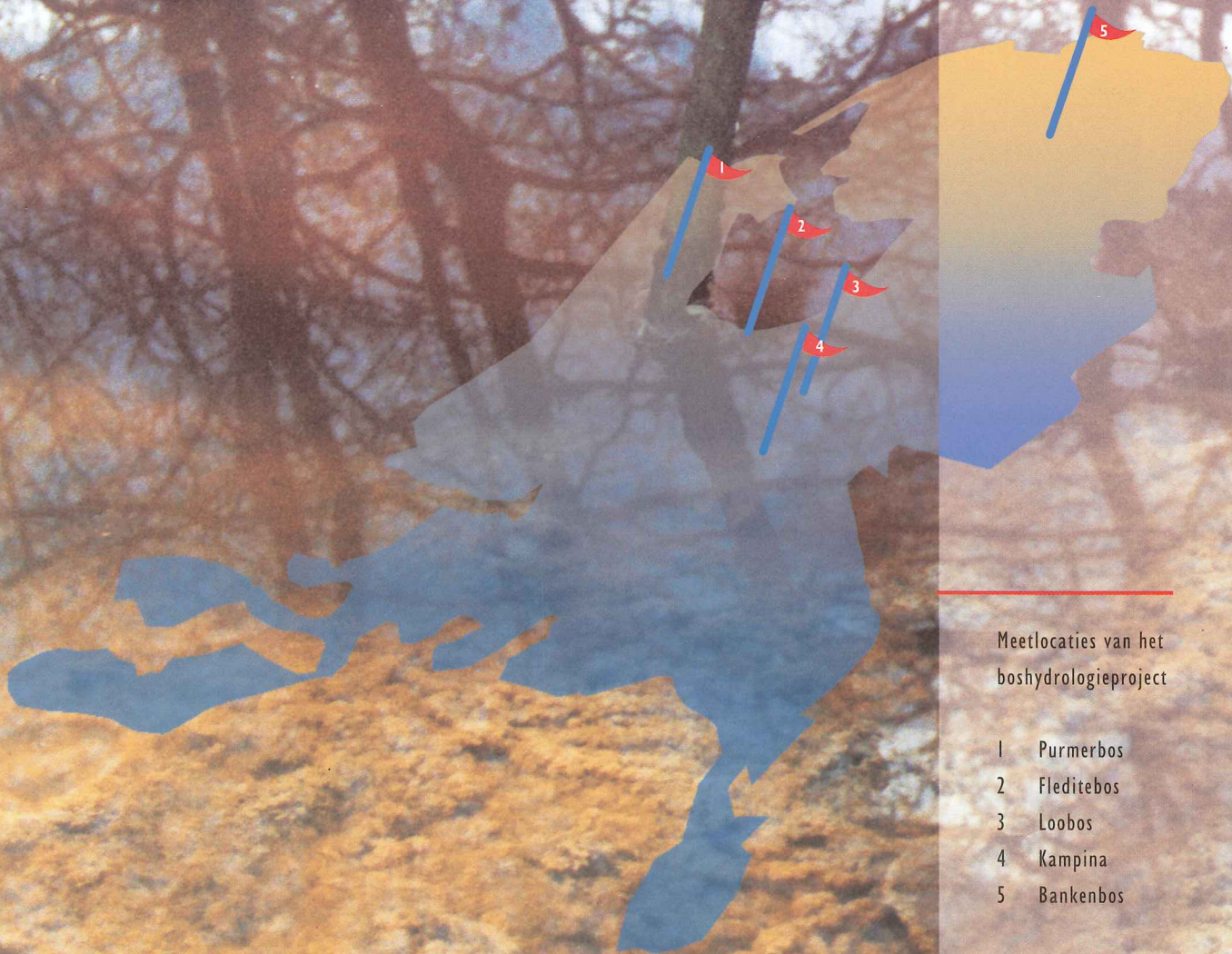
In de meeste hydrologische studies is het gebruikelijk om de verdamping te bepalen als de restterm uit de overige componenten van de waterbalans (neerslag, afvoer, verandering van het bodemvocht, kwel of wegzijging). Dit houdt in dat rekenkundig alle onzekerheden in de grootte van deze componenten zich ophopen in de verdamping. Moderne technieken maken het echter mogelijk de verdamping direct te meten. Zodoende kan de onzekerheid in de schattingen van de overige termen van de waterbalans, zoals de grondwateraanvulling, drastisch verminderd worden. Dit is de aanpak die in deze studie gevolgd is.



Bemeten bosopstanden, van links naar rechts het Loobos, het Bankenbos, het Fleditebos en Kampina.

Op vier locaties in Nederland zijn in de loop van 1994-1995 bospercelen beïstrumenteerd om direct de verdamping te kunnen meten. De locaties zijn geselecteerd om een redelijk beeld van de variatie in bostypen in Nederland te hebben. Op alle vier de locaties is dezelfde instrumentatie gebruikt om zo goed mogelijk te kunnen vergelijken. Naast alle termen van de verdamping is ook op twee van deze plaatsen de afvoer bepaald en op alle vier de locaties is de hoeveelheid bodemvocht gevolgd. Op een vijfde locatie nabij Purmerend is alleen de afvoer, (grond-)waterstand en neerslag gemeten.





Meetlocaties van het
boshydrologieproject

- 1 Purmerbos
- 2 Fleditebos
- 3 Loobos
- 4 Kampina
- 5 Bankenbos





Meetinstrumentatie in het Bankenbos

Boven het zonnepaneel zijn duidelijk de uitstekende stralingsmeters te zien, daarboven vanaf het hoogste platform de telescoopmast met eddy-correlatie instrumentatie. Op het hoogste platform vinden de automatische metingen van weersvariabelen, zoals temperatuur en neerslag plaats

OMSCHRIJVING ONDERZOEKSLOCATIES

Locatie	Bostype	Grondwaterstand	Meetperiode	Extra's
Zeewolde (Fleditebos)	Populier	1-2 m	1995-1998	Afvoer-metingen
Kootwijk (Loobos)	Grove den	2-10 m	1995-2001	CO ₂ -metingen
Veenhuizen (Bankenbos)	Lariks	1-2 m	1995-1997	
Boxtel (Kampina)	Gemengd naald/loofhout	0-2 m	1996-1998	Afvoer-metingen
Purmerend (Purmerend)	Gemengd loofhout	0.5-2 m	1990-2000	Afvoer-metingen



In het najaar van 1994 is begonnen met het plaatsen van de meetinstrumenten. Op de locaties werden steigermasten opgericht waarvan de hoogte afhankelijk was van de hoogte van het bos. Op de masten werden sensoren geplaatst die de belangrijke weersvariabelen continu meten: windsnelheid, temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, inkomende kort- en langgolvlige straling alsook de gereflecteerde straling. Neerslag werd gemeten op de top van de masten, maar ook nabij op open plekken of

veldjes. Het eddy-correlatie systeem is de kern van de meetopstelling. Hiermee worden direct de uitwisselingen van warmte, verdamping en impuls gemeten. Nadat alle gegevens gecontroleerd waren en de slechte, onbetrouwbare, metingen verwijderd, werden de overgebleven gegevens in een database geplaatst. Deze gegevens zijn uiteindelijk gebruikt voor alle berekeningen en zijn beschikbaar via de boshydrologie WEB-site:
<http://www.alterra.research.nl/boshydrologie>

OPSTAND KENMERKEN VAN DE LOCATIES

Locatie	Gemiddelde Maximale	
	hoogte (m)	bladdichtheid (m ² m ⁻²)
Zeewolde (Populier)	17	3.7
Kootwijk (Grove den)	15	1.9
Veenhuizen (Lariks)	23	1.8
Boxtel (Gemengd)	17	3.8





Experimentele resultaten

Totale verdamping, interceptie, transpiratie en afvoer

De hoogste verdamping vindt plaats bij het grove dennenbos bij Kootwijk op de Veluwe en het populierenbos in de Flevopolder. De hoge verdamping bij het populierenbos wordt hoofdzakelijk bepaald door de transpiratie en bij het grove dennenbos door de interceptie. Het gemengde loof/naaldbos bij Kampina verdampt het minst. Op jaarbasis zijn de interceptieverliezen van de blad of naaldverliezende soorten het laagst. Daardoor hebben het Loobos en Kampina de hoogste interceptieverliezen. Dit wordt des te duidelijker indien alleen naar de wintermaanden wordt gekeken. Het interceptie-

verlies van de blad- of naaldverliezende soorten ligt dan rond de 15 % terwijl dit voor de andere soorten rond de 28 % blijft liggen. Het verschil in totale verdamping tussen bostypen is maximaal 75mm op jaarbasis. Echter, bij een enkel bostype kan door de jaren heen een variatie in totale verdamping van twee keer deze grootte worden vastgesteld. Afhankelijk van de balans tussen interceptie en transpiratie is het waterverbruik van bijvoorbeeld grove den in 1995 en 1996 lager dan populier, maar in 1998 duidelijk hoger. Transpiratie van bossen in Nederland is gemiddeld 400 mm per jaar. De verschillen door



de jaren heen zijn gerelateerd aan grootschalige klimaatinvloeden zoals straling, temperatuur, wind en neerslag.

Bij populieren is de variatie in transpiratie door de jaren heen het grootst, bij grove den het kleinst. Dit heeft te maken met het feit dat populieren slechte regelaars van hun transpiratie zijn, en in warme droge jaren in eerste instantie opportunistisch veel verdampen, maar dan later in het seizoen hun blad snel laten vallen als ze gaan lijden onder bodemvochttekorten. Grove dennen sluiten hun huidmondjes eerder en voorkomen zo dat er stresssituaties ontstaan.

Deze verschillen in adaptatiestrategieën zijn belangrijk bij de bepaling van het effect van bos op de waterhuishouding.

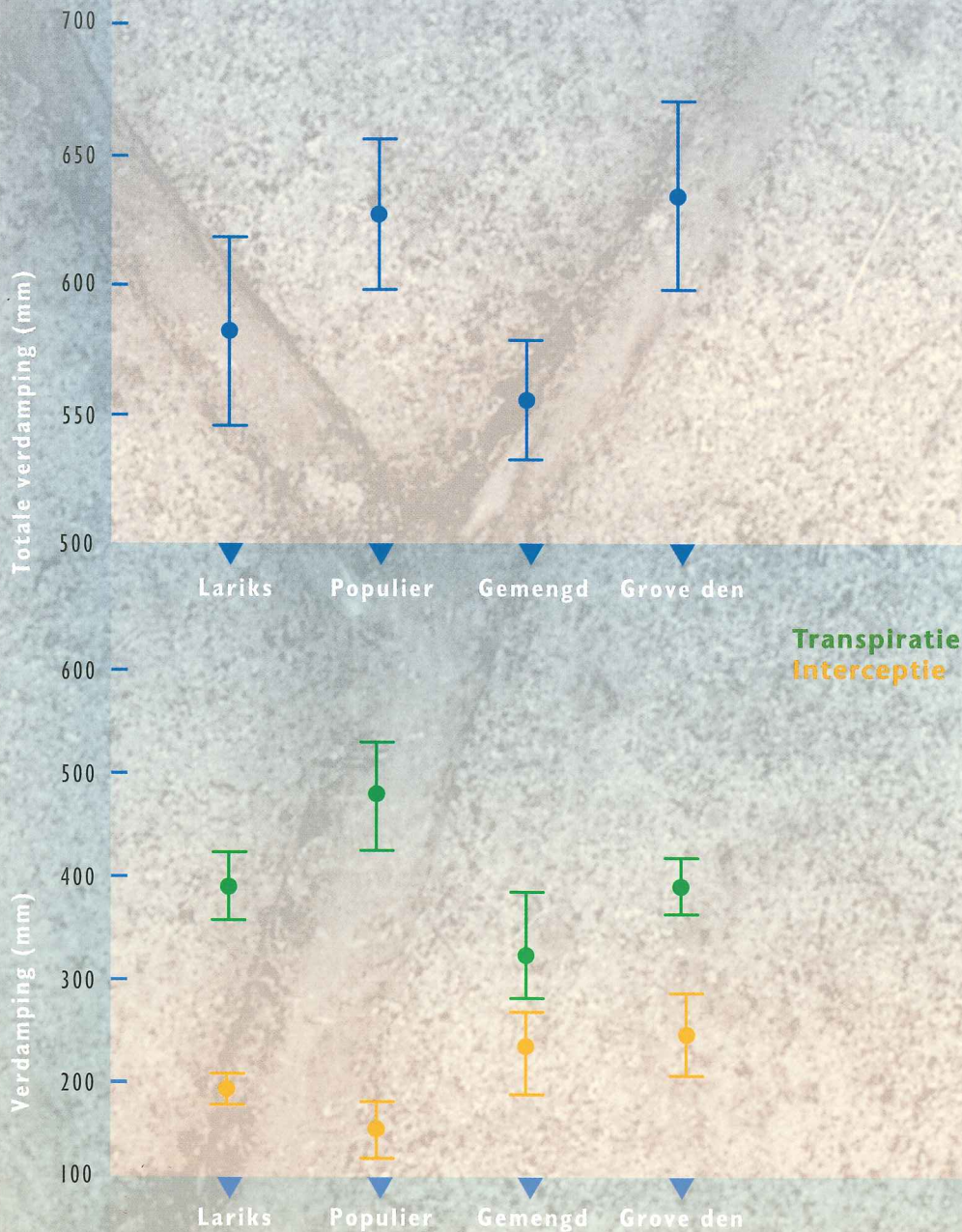
Variatie in interceptieverlies door de jaren heen wordt vooral bepaald door de hoogte van de neerslagsom: meer neerslag levert meer interceptie op. De stijgende lijn in interceptieverlies over 1995-1999 heeft dan ook alles te maken met een toename in neerslag in die vier jaren. De grootte van de interceptie als percentage van de neerslag wordt bepaald door de neerslagintensiteit. Met andere woorden: veel buien met een lage intensiteit zorgen voor een hoog interceptiepercentage.

TRANSPIRATIE EN INTERCEPTIE VOOR DE VIER ONDERZOCHE LOCATIES ALS GEMIDDELDE OVER DE MEETPERIODE MET STANDAARDFOUT

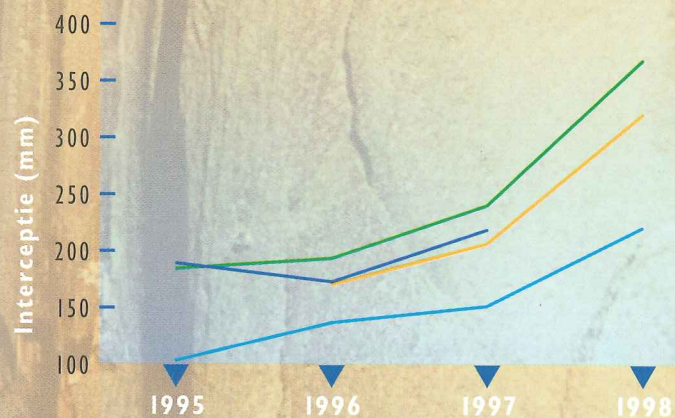
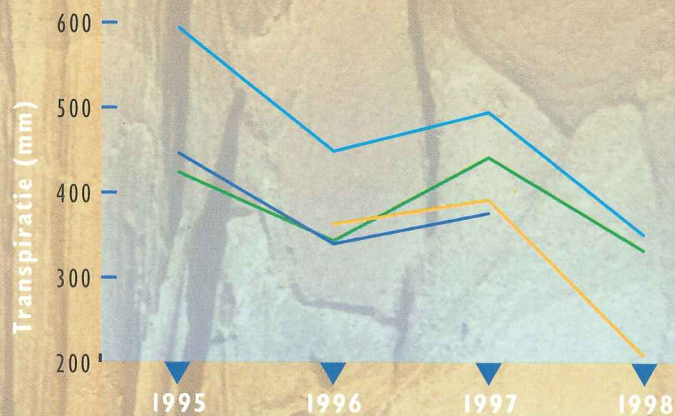
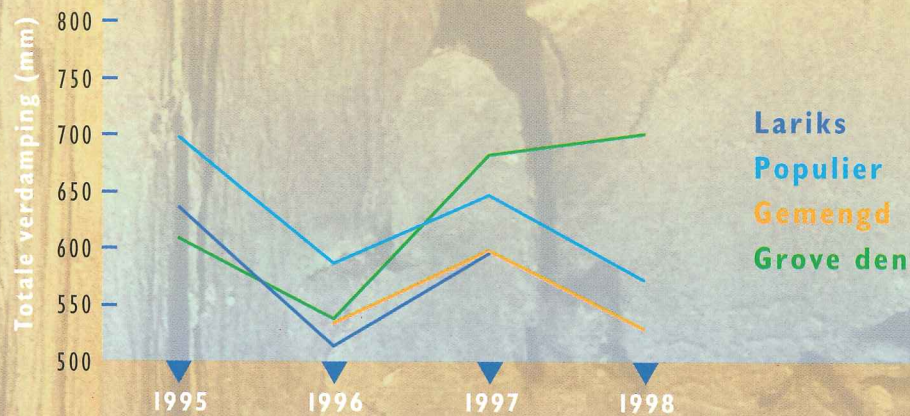
Bostype	Transpiratie (mm jaar ⁻¹)	Interceptieverlies			
		(mm jaar ⁻¹)	%	zomer	winter
Populier	470 ± 50	150 ± 25	18%	22%	14%
Grove den	385 ± 30	245 ± 40	27%		
Lariks	390 ± 35	195 ± 15	24%	26	16%)
Gemengd	320 ± 55	230 ± 45	30%		



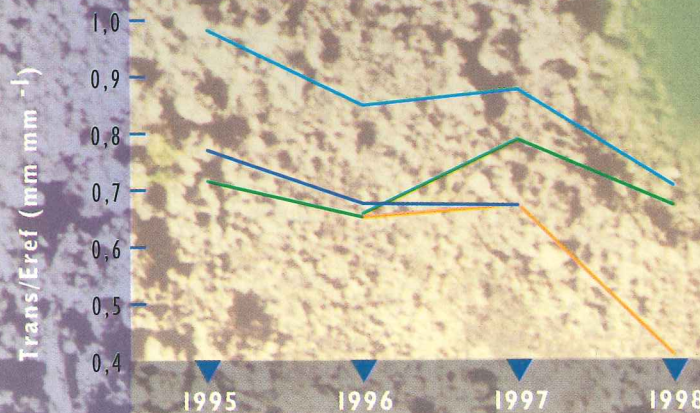
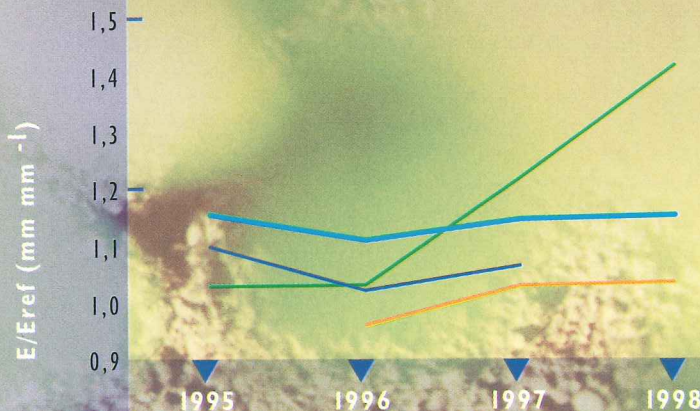
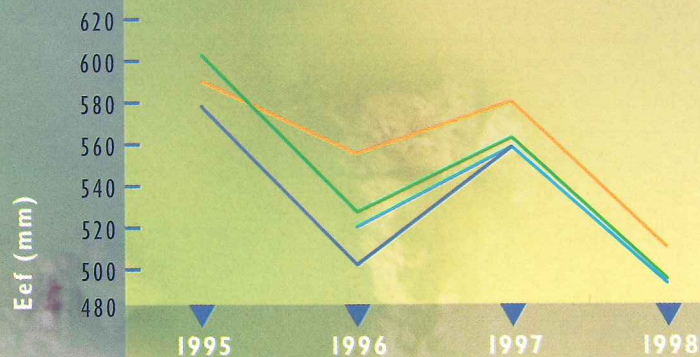
Gemiddelde totale gemeten verdamping per locatie en bos-type. De verdamping gemiddeld over de meetjaren bedraagt 625 tot 630 mm per jaar voor grove den en populier, 580 mm per jaar voor de Lariks en 555 mm per jaar voor de gemengde opstand in Kampina. De verschillen worden bepaald door de verhouding tussen interceptie en transpiratie. Let ook op de spreiding per locatie, hier weergegeven door de standaard fout van het gemiddelde (de verticale lijnen): deze is vaak even groot als het verschil tussen twee locaties.



Totale jaarlijkse verdamping, transpiratie en interceptie per locatie voor de 4 meetjaren. De variatie tussen jaren bedraagt 100 tot 150 mm per locatie. De transpiratie varieert minder dan de interceptie. Het interceptieverlies is vooral afhankelijk van de hoeveelheid neerslag.



Lariks
 Populier
 Gemengd
 Grove den

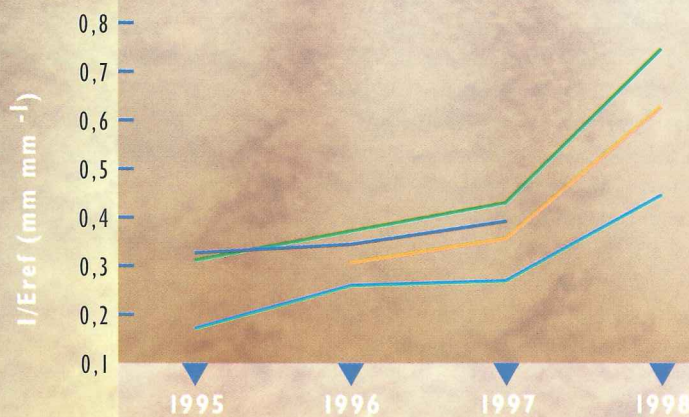
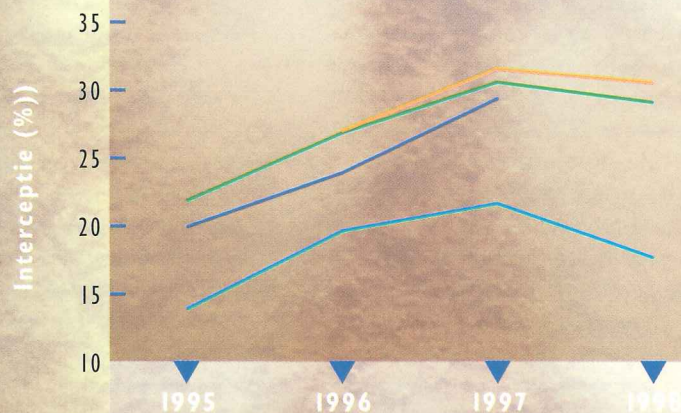
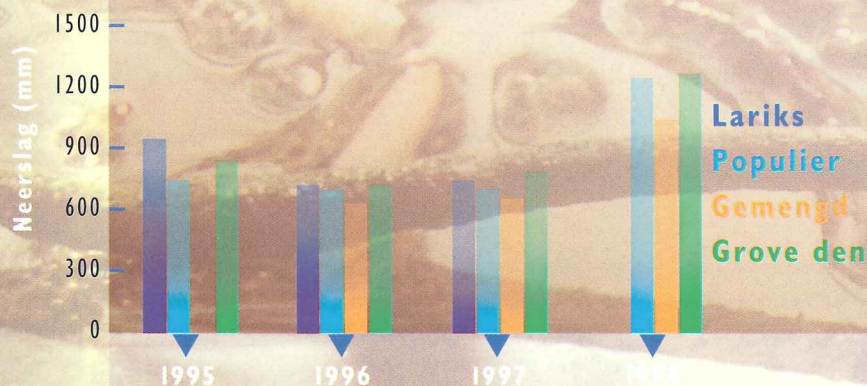


Makkink referentieverdamping en de verdampingsfactor voor de vier bostypen.

Voor de totale verdamping is de factor groter dan 1. De hoge factor in 1998 van het grove dennenbos wordt veroorzaakt door een hoge interceptie gecombineerd met een minder sterke afname van de transpiratie. De factor voor alleen transpiratie is substantieel lager dan 1. Bij het gemengde bos van Kampina ligt deze in 1998 zelfs onder 0.5



Neerslag, interceptie verlies als percentage van de neerslag en de verdampingsfractie voor interceptie. Let op de variatie in percentages tussen de bostypen. Interceptie hangt vooral af van de neerslag, dus is een duidelijk verband met de referentie-verdamping, zoals wel bij de transpiratie is aangetroffen, bij de interceptieverdamping afwezig.



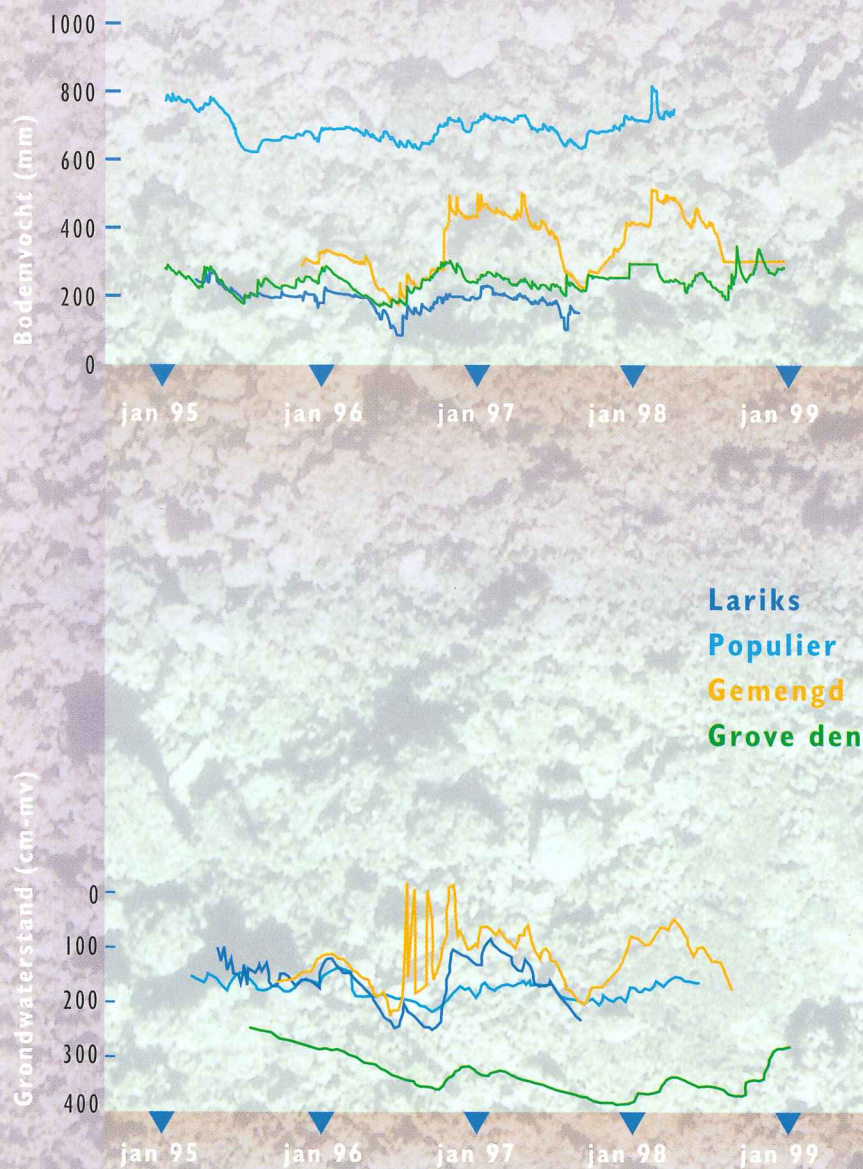
Bodemvocht en berging

De hoeveelheid bodemvocht speelt een belangrijke rol bij het genereren van afvoer, het reguleren van transpiratie en het bepalen van de aanvulling naar het grondwater. De variatie in bodemvocht door de jaren heen is vrijwel gelijk. Meestal vult de hoeveelheid vocht in de onverzadigde zone tijdens de winter voldoende aan, om in de lente weer op veldcapaciteit te zijn. Bij de onderzochte bossen is alleen in de droge zomer van 1996 sprake geweest van substantiële tekorten aan bodemvocht. Echte gevolgen voor de transpiratie in dat jaar lijkt dit niet gehad te hebben: in ieder geval kon het niet eenduidig worden vastgesteld. Wel is goed in de figuren te zien hoe gemiddeld in de zomer de hoeveelheid bodemvocht afneemt. Over de gemeten dieptes zijn variaties van 100-150 mm geen uitzondering. De grondwaterstand van populier, grove den en lariks toont een vrij regelmatig verloop. Te zien is hoe met name in het gemengde bos in Kampina, het grondwater regelmatig aan het oppervlak komt, en hoe op de Veluwe een dalende trend pas in 1998 omgebogen wordt, na een jaar met 1300 mm neerslag! Op de drie andere locaties is het verloop door de jaren heen minimaal. De combinatie van grondwaterstand, bewortelingsdiepte en grondsoort bepaalt hoeveel water er geborgen kan worden. Duidelijk is te zien hoe in kleigrond (bij het Fleditebos in de polder) veel meer water in de onverzadigde zone vastgehouden kan worden dan op de zandgronden van bijvoorbeeld de Veluwe.

De bewortelingsdiepte en de samenstelling van de bodem van een bos bepalen in hoge mate hoeveel vocht er beschikbaar is voor transpiratie. Wortels gebruiken in eerste instantie vocht uit de bovenste laag van de onverzadigde zone en pas later via capillaire nalevering vocht uit het grondwater. Het maximale verschil tussen de hoeveelheid bodemvocht in de winter en dat in de zomer is een indicatie voor de hoeveelheid water dat door de bodem kan worden vastgehouden. Dit water kan vervolgens voor transpiratie worden gebruikt. Voor de meeste bossen ligt dit rond de 150 mm. Voor het gemengde naald-/loofbos in Kampina is dit 200 mm. Dit wordt o.a. veroorzaakt door de ter plaatse genomen vernattingsmaatregelen, waardoor de grondwaterstanden tot in het maaiveld komen. Op de locatie in het Fleditebos lijkt het dat de populieren het grondwater gebruiken, direct door diepe wortels en indirect door nalevering. Op de locatie op de Veluwe bij Kootwijk bestaat het vermoeden dat diepe wortels in perioden van droogte nog in staat zijn vocht uit het grondwater (dieper dan 3^m) te halen.



Het verloop van het bodemvocht en de grondwaterstand. Het bodemvocht is berekend over het volledige wortelprofiel. Het bodemvocht komt elk jaar weer min of meer op peil. Voor het weer op peil brengen van de grondwaterstand is veel meer water nodig. Dit is goed te zien voor de locatie met het grove dennenbos



Afvoer naar grondwater

en open water

De hoeveelheid water die overblijft nadat men de totale verdamping van de neerslag aftrekt, kan of direct afstromen, of het bodemvocht aanvullen en vervolgens het grondwater. Dit overschot bedraagt gemiddeld 235 mm op jaarbasis. De absolute hoeveelheid die als overschot beschikbaar is, hangt af van de neerslag. In natte jaren is meer grondwateraanvulling of afvoer dan in droge jaren. Dit uit zich in een relatief grote standaardfout rond het gemiddelde overschot. Ter vergelijking zijn ook andere metingen, bijvoorbeeld aan heide en stuifzand getoond. Onder donker naaldhout worden Douglasopstanden verstaan, licht naaldhout is

vooral grove den. Literatuurverwijzingen voor andere metingen zijn te vinden op de WEB site. Opvallend is dat grove den en beuk de hoogste grondwateraanvulling leveren. Ten opzichte van heide en gras, verbruiken bossen per jaar meer dan 100 mm water extra.

Bekijkt men de verdeling over de jaren, dan valt op dat het populierenbos en het gemengde naald- en loofbos voor het hydrologisch jaar oktober 1995 tot oktober 1996 water uit de bodem moeten "lenen" om de transpiratie op gang te houden. Dat het overschot voor een belangrijk deel bepaald wordt door het tijdstip

TRANSPIRATIE, INTERCEPTIE EN GRONDWATERAANVULLING (NEERSLAGOVERSCHOT)
VOOR BOSGEBIEDEN EN EEN AANTAL ANDERE VORMEN VAN LANDGEBRUIK

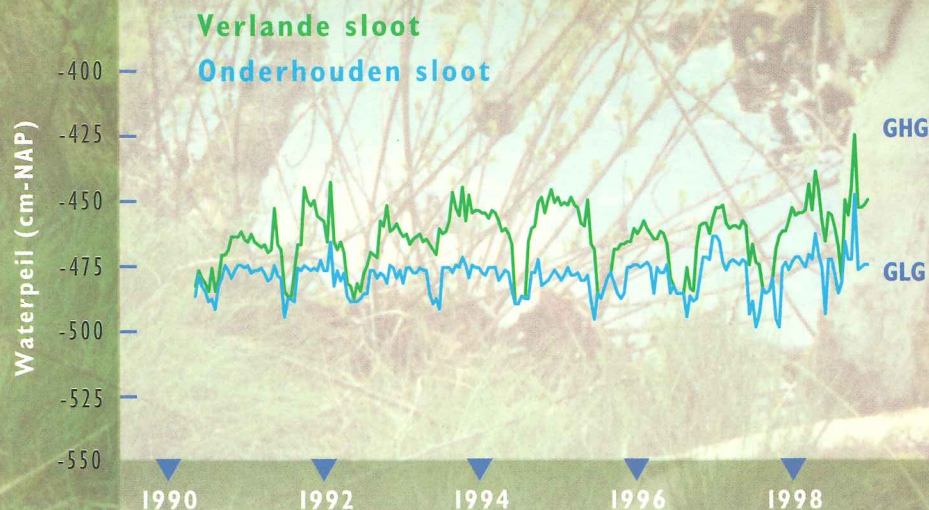
Bostype	Transpiratie/ bodemverdamping	Interceptie	Totaal	Grondwater aanvulling
Donker Naaldhout	400	333	730	104
Licht Naaldhout	385 ± 30	245 ± 40	630 ± 35	270 ± 100
Beuk	350	208	558	276
Gemengd loof	320 ± 55	230 ± 45	555 ± 20	225 ± 145
Populier	470 ± 50	150 ± 25	625 ± 30	220 ± 150
Lariks	390 ± 35	195 ± 15	580 ± 35	225 ± 45
Heide			320-500	334-514
Vergraste heide			320-500	334-500
Grasland			300-425	409-534
Stuifzand			156-200	634-678



De hoeveelheid neerslag die overblijft indien de verdamping ervan wordt afgetrokken. Het overschot is hier weergegeven voor de vier locaties, waarbij hydrologische jaren (oktober - oktober) zijn gebruikt. Het populieren bos en het gemengde naald-/loofbos hebben in 1996 duidelijk aanvulling van water vanuit de bodem nodig gehad om aan de verdamping te kunnen voldoen.



Waterstanden in verlande en onderhouden sloten in het Purmerbos. De verlande (niet opgeschoonde) sloten hebben een hogere waterstand. Hier wordt in natte periodes dus veel water geborgen. Tevens zijn de gemiddelde laagste en hoogste grondwaterstand (GLGen GHG) weergegeven

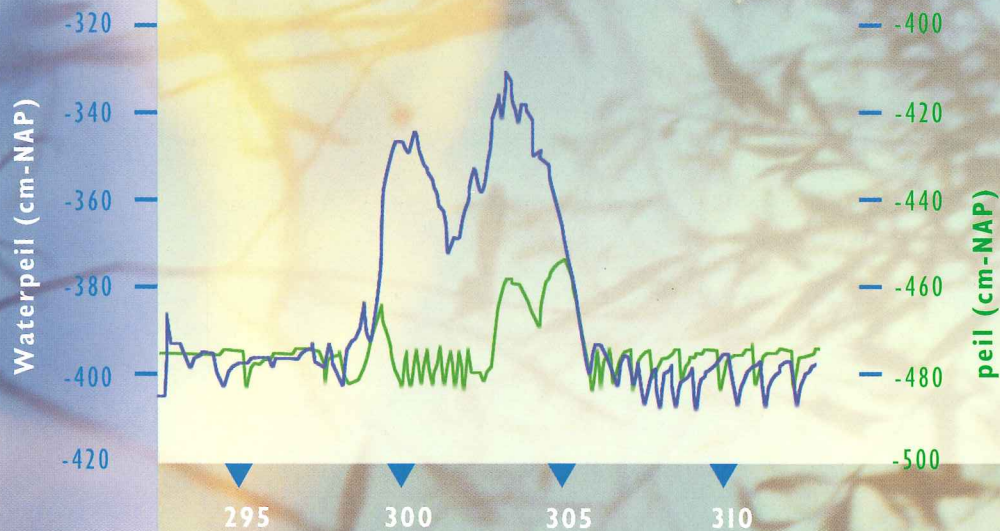


in het jaar en de hoeveelheid neerslag die op een bepaalde plek valt, blijkt wel uit het feit dat in het jaar 1997/1998 het overschot op de populieren locatie het hoogst is van allemaal. Deze stijging in het overschot ten opzichte van dat van het grove dennenbos wordt veroorzaakt door een lagere interceptie van de populieren, vooral gedurende de bladloze periode wanneer de hoeveelheid neerslag relatief groot is, en het feit dat de transpiratie van de populieren in veel sterkere mate gekoppeld is aan de straling (lees referentieverdamping), die in de zomermaanden van 1998 erg laag is. In het Purmerbos zijn zowel grondwaterstanden, waterstanden in sloten en de afvoer bepaald sinds de aanplant jaren negentig. De vraag was

toen of de aanplant van bos een meetbaar effect op de afvoer zou hebben en of het niet onderhouden en de daardoor optredende verlanding van sloten een probleem zou opleveren. Het blijkt dat in de niet onderhouden sloten het waterpeil in de winter gemiddeld hoger en in de zomer lager staat dan in de onderhouden sloten. Dit wordt veroorzaakt doordat de duikers in deze sloten niet onderhouden worden en gedeeltelijk verstopt zijn geraakt. Op de locatie in het Purmerbos blijkt uit onderzoek aan bomen hoge waterstanden en grondwaterpeilen tot nu toe geen nadelig effect op de gemiddelde groei van het bos hebben gehad. Het lijkt er dus op dat in bosgebieden minder onderhoud aan sloten nodig is en dit een afvoerremmende werking heeft.



Waterpeilen gemeten vlak voor het gemaal van twee vergelijkbare polders waarvan een met grasland en een met bos. De haaiantanden geven de normale activiteit van het gemaal weer. Voor deze bui blijkt het grasland zo'n aanvoer van water te genereren dat het gemaal het waterpeil niet onder het streefpeil kan houden, bij de bospolder lukt dit aanzienlijk beter.



Graspolder dagnummer (1994)

Bospolder



Berekening dagelijkse verdamping

Vaak zijn schattingen nodig van het waterverbruik van bossen om beleidsmaatregelen of effecten van peilbeheer door te kunnen rekenen. De mate van detail waarin deze berekeningen moeten worden uitgevoerd varieert afhankelijk van de vraagstelling. De resultaten van dit project zijn dan ook in verschillende vorm weergegeven. Om hulp te bieden bij het berekenen van effecten van bosaanplant of verwijdering is op de WEB-site een aantal berekeningswijzen te vinden. Voor zeer gedetailleerde berekeningen (bijvoorbeeld als inzicht in de dagelijkse gang nodig is) moeten redelijk complexe modellen gebruikt worden. Hiervoor is het model SWAPS beschikbaar. Waarden voor de benodigde parameters zijn ook op de WEB-site te vinden.

Meestal echter ontbreken de benodigde invoergegevens voor uurberekeningen en moet teruggevallen worden op berekeningen op dagbasis. Deze berekeningen staan in deze sectie kort beschreven. De details van verschillende berekeningen zijn uitgewerkt op de WEB-site. Om transpiratie uit te rekenen kan gebruik

gemaakt worden van de Penman-Monteith vergelijking of die van Makkink. De Penman-Monteith vergelijking sluit beter aan bij de fysische processen die bij de verdamping van een bos een belangrijke rol spelen en is daarom te prefereren. Echter aangezien in Nederland veel gebruik wordt gemaakt van de methode volgens Makkink staan als voorbeeld in de tabel de waarden van de gewasfactor die voor de Makkink methode nodig zijn. Als invoergegevens zijn dan nodig inkomende kortgolvlige straling en temperatuur. Deze waarden zijn bepaald voor strikt droge condities en zijn niet direct vergelijkbaar met de in de voorgaande figuur gegeven waarden.

De op de website gegeven methode verwaarloost de reductie in transpiratie die optreedt als het bodemvochttekort te groot wordt.

In de onderzochte periode is dit voor geen van de bossen vast te stellen uit de metingen. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat er in relatief natte jaren is gemeten. Dat bodemvochttekorten



MAKKINK GEWASPARAMETERS VOOR DE VIER ONDERZOCHE TE BOSLOCATIES, TE GEBRUIKEN IN DE REKENREGELS

	Grove den	Lariks	Populier loof/naaldhout	Gemengd
Gewasfactor	0.64	0.76	0.99	0.91

INTERCEPTIEVERLIEZEN (ALS PERCENTAGE VAN DE NEERSLAG) VOOR NEDERLANDSE BOSSEN

Locatie	Bostype	Interceptie als % van de neerslag	
		zomer	winter
Kootwijk	Grove den	27	
Zeewolde	Populier	22	14
Veenhuizen	Lariks	26	16
Boxtel	Gemengd loofbos	30	
Castricum	Oostenrijkse den	62	
Castricum	Zomereik	34	16
Winterswijk	Gemengd loofbos	24	
Hackfort	Gemengd loofbos	29	
Sleen	Gemengd loofbos	28	
Ede	Amerikaanse eik	20	8
Kootwijk	Douglas	36	
Garderen	Douglas	43	
Garderen	Douglas	31	
Zelhem	Douglas	44	
Winterswijk	Gemengd loofbos	30	

in droge zomers voor reductie kunnen zorgen wordt echter algemeen aangenomen. Hiervoor zou een ad hoc correctie moeten worden toegepast. In de literatuurlijst op de boshydrologie WEB-site zijn hiervan voorbeelden te vinden. De meest gemakkelijke methode om interceptieverdamping uit te rekenen is om het interceptieverlies te bepalen als een fractie van de bruto neerslag per dag. Dit kan op dagbasis tot nogal grote fouten leiden, maar gemiddeld, over een langere periode, bijvoorbeeld een jaar, zal het correct zijn. In de tabel zijn de interceptiepercentages voor de in dit project onderzochte bossen en een aantal andere bossen weergegeven. Adequate gemiddelde waarden zijn voor gemengd loofbos 28 % en 39 % voor Douglas.



Bos en water: vriend of vijand?

Verdrogingsbestrijding

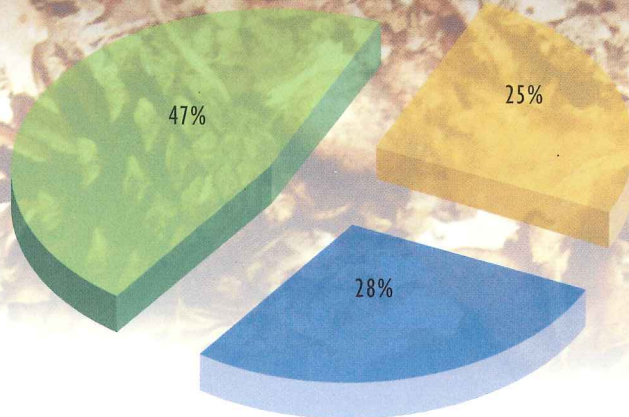
Bossen verbruiken water. Hierin zijn zij niet anders dan andere vegetatievormen. Wel blijken zij gemiddeld meer water te gebruiken. Dit blijkt onder andere uit het feit dat de totale verdamping van bossen hoger ligt dan de verdamping voor gras- en bouwland (450 mm per jaar). Het verschil wordt vooral bepaald door de interceptieverdamping. Deze bedraagt zo'n 20-44 % van de jaarlijkse bruto neerslag. Bossen transpireren minder dan vegetaties die minder hoog zijn zoals grassen, heide en landbouwgewassen. Uiteindelijk bepaalt de balans tussen de transpiratie en interceptie hoe groot de invloed van bos op de waterhuishouding is. Transpireren bossen veel, zoals donker naaldhout (bijv. Douglas), dan komt het totale waterverbruik samen met interceptie ver uit boven dat van een grasland. Transpireren ze minder, zoals bij licht naaldhout (bijv. grove den) of loofbos (bijv. eik), dan zijn de verschillen in waterverbruik, met name in droge jaren, minder dramatisch.

In de figuur is globaal de waterbalans van bos en van gras- of bouwland weergegeven voor een gemiddeld jaar. Het bos levert minder grondwateraanvulling: 28 % versus 40 % voor gras. Transpiratie van de beide vormen van landgebruik is vrijwel gelijk en bedraagt met

verdamping uit de bodem en ondergroei 50 % van de neerslag. Tussen bossen onderling zijn er verschillen gevonden in interceptieverlies die tot 10 % van de neerslag bedragen. Voor transpiratie zijn de verschillen rond de 150 mm. Deze orde van grootte voor transpiratieverschillen is ook van toepassing voor verschillen van een soort voor opeenvolgende jaren. Voorzichtigheid is dus geboden bij het rekenen met gemiddelde waarden voor transpiratie. Voor interceptie daarentegen kan eigenlijk alleen met percentages gerekend worden. In een nat jaar zal het interceptieverlies veel hoger zijn dan in een droog jaar. De hier gepresenteerde metingen suggereren dat er enige vorm van compensatie tussen deze twee termen optreedt, waardoor het totale waterverbruik door de jaren heen minder variatie vertoont dan de termen zelf.



Bos



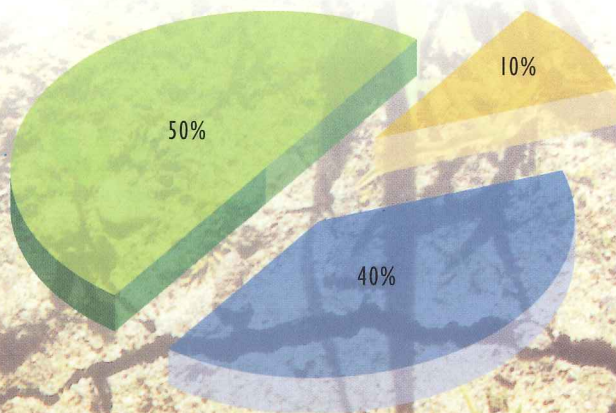
Taartdiagrammen voor de verdeling van neerslag (100%) voor verschillende termen van de waterbalans van bos (BOVEN) en gras- en bouwland (ONDER). Bos heeft minder grondwateraanvulling dan grasland.

Transpiratie en bodemverdamping

Interceptie

Gronwataeraanvulling

Gras- en bouwland



Gebruikt de ene soort meer water dan de andere?

Wat betekenen deze bevindingen nu voor projecten waar door middel van bebossing of ontbossing wordt gepoogd de waterhuishouding te beïnvloeden? Bij aanplant van bos zal altijd rekening moeten worden gehouden met een groter waterverbruik. Dit extra verbruik wordt vooral veroorzaakt door het interceptieverlies. Een vergelijking met de gemiddelde waterbalans van bos en gras suggereert dat dit 15 % van de jaarlijkse bruto neerslag is. Verschillen tussen bossen zijn grotendeels ook hierop terug te voeren. Zo blijkt er relatief weinig verschil te zijn tussen het waterverbruik van grove den en eik, echter wel tussen Douglas en grove den. Extra verschillen in transpiratie maken het waterverbruik van Douglas nog hoger. Omvorming van donker naar licht naaldhout of loofbos heeft dus een gunstig effect op de grondwateraanvulling.

Slootonderhoud

Het bleek dat in het Purmerbos het niet onderhouden en het daardoor verlanden van sloten een positief effect op de berging had en tot vertraging in, en een kortere duur van, de piekafvoeren leidde. De directe betekenis hiervan moet niet onderschat worden. De aanleg van

sloten bij bosaanplant moet dus volgens specifieke bos-criteria worden ingevuld. Wellicht is het zelfs mogelijk met aanzienlijk minder sloten toe te kunnen dan nu gebruikelijk is. De relatief geringe gevoeligheid van bepaalde boomsoorten voor kortstondige perioden waarin hun wortels in het water staan geeft aan zo'n optie extra steun. In ieder geval lijkt het niet noodzakelijk de eis te stellen dat bij het achterwege laten van het slootonderhoud en het laten verlanden van sloten bij het omvormen van grasland in bos, het oppervlak open water uitgebreid dient te worden.

Waterberging

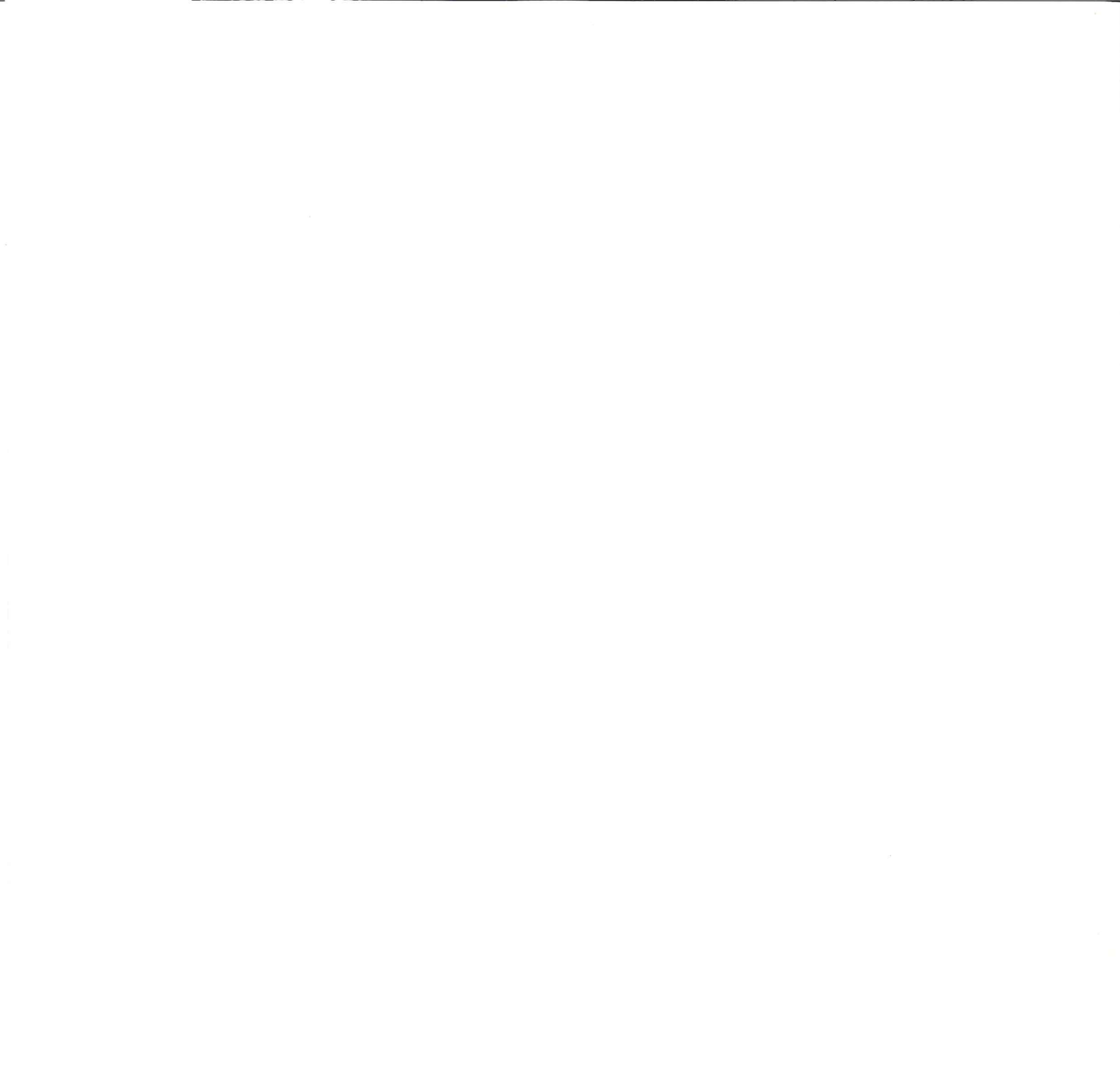
In het gemengde bos bij Kampina is de grondwaterstand tijdens de meetperiode geleidelijk verhoogd. Hierdoor komen grote delen van het gebied onder water te staan. De bomen lijken hiervan nog geen last te hebben. In het Purmerbos bleek dat meer berging van open water mogelijk was en dat onderhoud aan sloten in bosgebieden minder intensief kan dan in vergelijkbare bouwlanden. Hier is de invloed van bos op de bergingsmogelijkheden positief en kunnen bosgebieden wellicht gebruikt worden bij demping van afvoer- en overstromingspieken

De toekomst: klimaatverandering en bossen als koolstofvastleggers?

De toename in broeikasgassen in de atmosfeer lijkt steeds meer te resulteren in meetbare veranderingen in klimaat. Voor onze breedtegraden worden drogere zomers en nattere en warmere winters voorspeld als gevolg van het broeikasgaseffect. In de zomer zou dit kunnen gaan leiden tot het optreden van bodemvochttekorten die remmend op de transpiratie kunnen gaan werken. In de winter zullen groter interceptieverliezen kunnen optreden, maar kan per saldo meer water beschikbaar komen voor ofwel afvoer ofwel grondwater aanvulling. Er kunnen dus gevolgen ontstaan voor de watervoorziening, die afhangen van de lokatie en de specifieke rol die een bos speelt in een watersysteem. De in deze studie gevonden resultaten kunnen wellicht een rol spelen bij een beter vaststelling van de mogelijke gevolgen van klimaatverandering op de waterhuishouding van beboste gebieden.

Sinds het afsluiten van het Kyoto protocol is er bovendien een sterke aandacht voor de rol van bossen bij de opname van CO₂. In de laatste drie jaar van het project is ook de koolstofopname van het grove dennenbos in het Loobos vastgesteld. Ook hier blijken er grote verschillen tussen de jaren in de koolstofopname te bestaan, maar gemiddeld genomen wordt relatief veel koolstof vastgelegd (3 ton koolstof ha⁻¹). Een

simpele berekening laat zien dat bij een gemiddeld interceptieverlies van 25% per jaar, 700 m³ water per ton opgenomen koolstof per hectare minder beschikbaar is voor bijvoorbeeld grondwater aanvulling indien grasland wordt omgezet in bos. De voordelen van CO₂ opname door bossen zullen dus afgewogen moeten worden tegen de nadelen van een eventueel hoger waterverbruik.





Het waterverbruik

van bossen in Nederland