

Onderschepping en verdeling van hemelwater in bossen

Interception and distribution of rainfall in forests

A. W. L. Veen

Rijksuniversiteit Groningen
Vakgroep Fysische Geografie en Bodemkunde

Inleiding

In bossen is de hoeveelheid neerslag die de bosvloer bereikt (netto neerslag) minder dan de gebiedsneerslag (bruto neerslag). De oorzaak hiervan is gelegen in onderschepping (interceptie) van hemelwater in de bovengrondse delen van de bosvegetatie en verdamping van dat aanhangende water. In principe is het verschil tussen bruto en netto neerslag simpel te meten door regenmeters boven de kruinlaag te plaatsen en tevens op de bosvloer. Daarbij blijkt het vaak praktischer om neerslag niet boven het bos te registreren maar er naast, of in een open plek. Vooral in oudere onderzoeken nam men het niet zo nauw met meettechniek en statistiek maar als men de juiste maatregelen neemt om de meetfouten in toom te houden (Helvey and Patrick, 1965a), dan is op die manier het interceptieverlies nauwkeurig te bepalen.

Regenmeters op de bosvloer (een stuk of dertig zijn er al gauw nodig) registreren de som van directe neerslag, dat is dat deel van de neerslag dat zonder blad of twijg te raken de kruinlaag passeert, en kruindrup, en dat is uiteraard dat deel van de neerslag dat eerst in boomkronen is onderschept en vervolgens naar de bosvloer drupt. Deze som van directe neerslag en kruindrup wordt ook doorval genoemd. Stamafvoer is alle neerslag die via boomstammen de bosvloer bereikt. In sommige bossen treedt vrijwel geen stamafvoer op. In zulke bestanden kan men stamafvoer verwaarlozen en netto neerslag gelijkstellen aan doorval. Treedt er wel stamafvoer op, dan moet men deze apart registreren en bij de doorval optellen om de netto neerslag te verkrijgen.

Metingen als hierboven aangeduid werden meer dan een eeuw geleden al verricht. Intussen zijn er uit ongeveer alle werelddelen wel gegevens bekend geworden (o.m. Horton, 1919; Penman, 1963; Helvey and Patric, 1965b; Zinke, 1967; Aldridge and Jackson, 1973; Lundgren and Lundgren, 1978). Gebleken is dat het primaire interceptieverlies (in de kruinlaag) vaak in het bereik ligt van 20 tot 40% van de jaarlijkse neerslag. Dat is dus nogal wat. Heel opvallend is dat kruininterceptie niet alleen van bos tot bos sterk verschilt, maar ook in één en hetzelfde bos sterk varieert. Deze varia-

Summary

This review paper discusses some general facts and beliefs about interception and distribution of rainfall in forests.

Four groups of factors are identified as contributing to variability in space and time of canopy interception losses. The successful development of physically based computer simulation models, predicting canopy interception losses in pine forest, is noted as a breakthrough in forest hydrological research.

Some general statements are presented on the spatial distribution of net precipitation, and on the significance of hydrological processes at the forest floor. On these subjects, however, no success comparable to the progress in understanding canopy interception can be reported as yet. Finally, some attention is given to possible relationships between rainfall interception and distribution mechanisms on the one hand, and variability of moisture content in forest soils, transpiration losses, and chemical functioning of forests on the other hand.

tie op één plaats is van bui tot bui verreweg het grootst, maar zelfs in jaartotalen treden nog zulke grote procentuele verschillen op dat men voor een betrouwbaar jaargemiddelde ettelijke jaren achtereen moet meten (bijv. Brechtel, 1976). En als men na een meerjarig meetprogramma het statistisch verband bepaald heeft tussen neerslag en interceptieverlies in een bepaald bos, dan kan men dat verband nog slechts in zeer beperkte mate in een ander bos hanteren (Rutter et al. 1971). De sterke veranderlijkheid van het interceptieverlies is niet verwonderlijk als men nagaat hoe het interceptieproces werkt. Laat ons de belangrijkste factoren bekijken en vervolgens zien hoe met slechts weinig metingen toch heel redelijk interceptieverliezen kunnen worden voorspeld.

Factoren die interceptie beïnvloeden

Eigenschappen van de kruinlaag bepalen in de eerste plaats hoeveel neerslag wordt onderschept en tijdelijk

Tabel 1 Vergeleken met bebladerde toestand is de doorval in het onbebladerde eikenbosje niet zoveel groter als het verschil in kruindichtheid zou doen vermoeden. Gebaseerd op 30 weektotalen in 1980.

kruindichtheid	bruto neerslag:	
	weektotaal < 10 mm	weektotaal > 10 mm
	% doorval	% doorval
0,2	67	—
0,4-0,6	47	68
0,8	45	71

vastgehouden. Bij een kruindichtheid van 1 zal doorval uitsluitend uit kruindrup bestaan. Naarmate de kruindichtheid minder is zal directe neerslag een groter aandeel aan de doorval leveren; alleen daardoor al zal het interceptieverlies kleiner zijn. Kruindichtheid is, tussen twee haakjes, niet hetzelfde als kroonsluiting. Weliswaar correspondeert onvolledige kroonsluiting altijd met een kruindichtheid beneden de 1, maar omgekeerd kan een bos met volledige kroonsluiting toch ook een kruindichtheid van minder dan 1 hebben wanneer namelijk de boomkronen zelf transparant zijn (bijv. Polanschütz, 1963; Rothacher, 1963; Skau, 1964).

Van groot belang is voorts de kruinbergingscapaciteit, d.w.z. de hoeveelheid neerslag, meestal uitgedrukt in mm, die de kruinlaag bevat wanneer hij verzadigd is met aanhangend regenwater (Rutter et al., 1971). De waarden die voor kruinbergingscapaciteiten worden gevonden, liggen typisch in de orde van grootte van een millimeter en variëren van een paar tienden van een mm tot 2 à 3 mm. Als men bedenkt dat een laagje grond van een decimeter dikte tientallen mm kan bergen, is deze kruinberging heel klein. Desondanks blijken optredende interceptieverliezen aanzienlijk.

Het regenwater, dat is onderschept in de kruinlaag, kan in principe drie kanten op: het kan verdampen, of naar beneden druppen, of langs de takken naar de stam toestromen. Hoe groot die laatstgenoemde stroom – de stamtoevoer – is, hangt samen met de vorm van het gestel van de bomen. Al is over stamtoevoer niet zo heel veel bekend, men kan gevoeglijk aannemen dat hooggeplaatste, gladde, van de stam af schuin omhoog staande takken de stamtoevoer bevorderen en dat omgekeerd laaggeplaatste, horizontale of van de stam schuin naar beneden lopende takken weinig of geen bijdrage aan stamtoevoer leveren (Ford and Deans, 1978; Hutchinso and Roberts, 1981). Overigens kan zich de situatie voordoen waarbij er wel enige stamtoevoer optreedt, maar dat de stambergingscapaciteit groot genoeg is om dat op te vangen. Dan treedt er toch geen stamafvoer op. In feite is hier sprake van een interceptieverlies dat op de stam plaatsvindt en niet in de kruin. In vele waterbalans-

% DOORVAL (t.o.v. BRUTO
NEERSLAG)

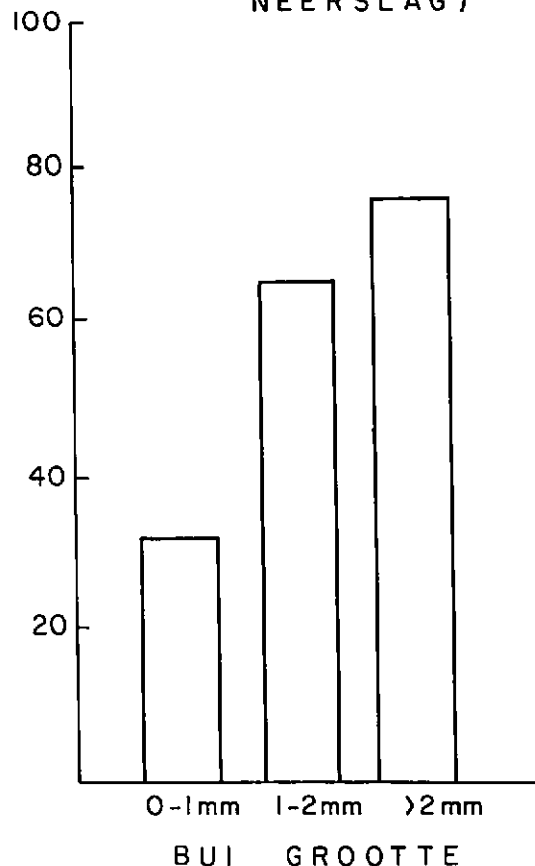


Fig. 1 Interceptie is procentueel groter, naarmate de bui lichter is; gebaseerd op 130 buien in 1981 (Dijkstra, 1982). De metingen werden verricht in het eikenbosje op het lysimeterterrein van het Provinciaal Waterleidingbedrijf Noordholland (PWN) te Castricum. Alle volgende figuren en de tabellen zijn eveneens gebaseerd op aldaar gemeten verschijnselen.

studies van bossen wordt echter verdamping van onderschept water van kruinlaag en stammen samengenomen en kruininterceptieverlies genoemd.

Neerslagkarakteristieken vormen een tweede groep van factoren die bijdragen tot de wisselvalligheid van interceptieverlies. Het totale kruininterceptieverlies is groter naarmate meer, korte en lichte buien optreden (Horton, 1919; zie ook figuur 1). Bij zware en aanhoudende stortregen is het verlies veel en veel minder dan wanneer eenzelfde hoeveelheid regen als lichte buitjes valt. Ook als het kort voor een bui net geregend heeft en de kruin nog gedeeltelijk nat is, dan is het interceptieverlies minder (figuur 2). Dit betekent dat bossen die qua fysieke eigenschappen overeenkomen toch bij verschillend neerslagregime verschillen in kruininterceptie zullen vertonen. De verdeling van de neerslag

over de seizoenen speelt ook een rol. Ons land, gelegen als het is in de planetaire frontenzone, kent een episodische afwisseling van convectieve neerslag (bij koufronten en in onstabiele luchtmassa's) en van wat de Duitsers "Dauerregen" noemen. Dit laatste type neerslag valt uit stratus-bewolking die bij warmtefronten optreedt en is over het algemeen langdurig, gelijkmatig in ruimte en tijd en weinig intensief. Dit in tegenstelling tot de convectieve neerslag die meer kortstondig en lokaal is en bovenal een zeer grote intensiteit kan hebben (bijv. Weischet, 1983). In onze omgeving valt 's zomers relatief wat meer convectieve neerslag dan 's winters. Er zijn aanwijzingen dat ondanks de betere verdampingscondities er in de zomer toch geen grotere interceptieverliezen dan in de winter hoeven op te treden omdat de grotere regenintensiteit juist tot minder interceptieverlies bijdraagt (Balázs, 1982; Brechtel und Pavlov, 1977; Horton, 1919). In de winter valt in onze streken relatief wat meer "Dauerregen", zodat mogelijk mede daardoor zelfs in onbebladerde loofbossen bij lage temperatuur toch nog interceptieverliezen in de orde van 10 tot 20% kunnen optreden.

Een derde complex van factoren die het interceptieproces sturen, bestaat uit atmosferische verdampingscondities. Voorwaarden voor verdamping van het onderschepte water zijn warmte en afvoer van waterdamp uit de kruinlaag. Warmte wordt primair geleverd door de nettostralingsenergie van de zon, maar kan ook worden onttrokken aan de omgeving (Stewart, 1977). Afvoer van waterdamp bewerkstelligt dat de

evenwichtsdampspanning bij de heersende temperatuur niet wordt bereikt en dat de verdamping voortgang vindt. Transport van waterdamp is de eigenlijke drijvende kracht. Veel wind en een lage relatieve vochtigheid bevorderen dus de verdamping en derhalve de interceptieverliezen. In oudere interceptiestudies vindt men weinig geschikte meteorologische informatie om meer gedetailleerde generalisaties op te baseren. In de meer recente modelstudies van het interceptiegebeuren wordt daarentegen juist wel veel aandacht geschonken aan de relevante meteorologische parameters. Daarover straks.

De vierde en de laatste groep van factoren hangt samen met de eigenschap van vegetatie verdampingscondities te beïnvloeden. Men neemt aan dat de aerodynamische weerstand van de kruinlaag belangrijk is voor de verdamping. Wanneer lucht met een zekere snelheid over een ruw oppervlak stroomt, dan ontwikkelen zich veel grotere wervelingen in de luchtstroom dan bij een glad oppervlak. Juist die wervelingen zijn heel doeltreffend bij het transport van waterdamp vanaf zo'n oppervlak. De verdamping van onderschepte water uit een aerodynamisch ruwe kruinlaag is dan ook sneller dan bij minder ruwe natte oppervlakken (bijv. Jarvis, James and Landsberg, 1976; Rauner, 1976). Deze eenvoudige redenering is misschien niet helemaal afdoende (Thom et al., 1975), maar het is hier niet de plaats om daarop in te gaan.

Voorstellen van het interceptieverlies

Uit bovenstaande schets van het grote aantal factoren dat bij kruininterceptie betrokken is, zal wel duidelijk zijn dat de – op het eerste gezicht misschien merkwaardige – grote variatie van de verliezen eigenlijk helemaal niet zo vreemd is. Intussen zitten we nog met het probleem dat men moeilijk voor elk stukje bos langdurige interceptiemetingen kan verrichten om er achter te komen hoe belangrijk de interceptie-term is. Eén oplossing voor dit probleem is gezocht in een schattingsmethode, gebaseerd op meerjarige metingen in verschillende typen bossen van verschillende ouderdom. Brechtel, die in Duitsland in een gebied werkte van betrekkelijk kleine omvang – en daardoor waarschijnlijk met kleine verschillen in neerslagregime en verdampingsmilieu – heeft schattingstabellen vervaardigd, die zijn gebaseerd op de gevonden correlaties tussen de maandsommen van onder meer neerslag, doorval en stamvoer (Brechtel und Pavlov, 1977). Deze schattingstabellen zijn speciaal bedoeld voor kwesties met betrekking tot het waterbeheer in bosgebieden zoals de grondwatervoeding.

Een andere en in mijn ogen elegantere oplossing is gezocht in het ontwikkelen van dynamische modellen van het interceptieproces zelf. Het principe hiervan is

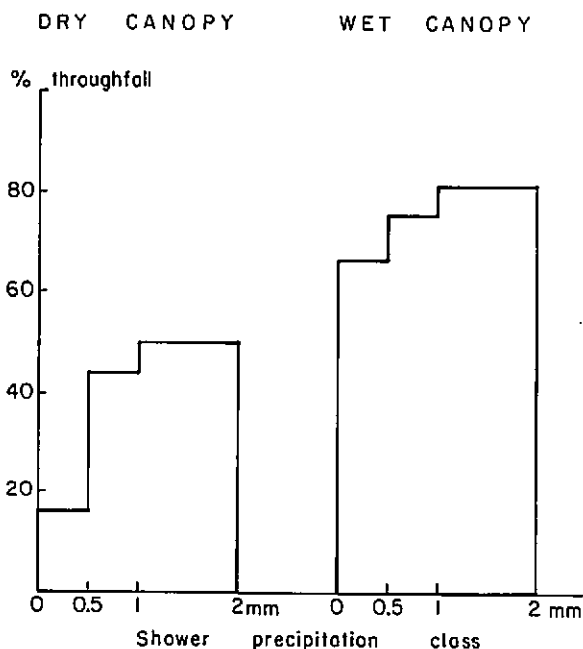


Fig. 2 Wanneer de kruinlaag nog (gedeeltelijk) is gevuld met neerslag van een vorige bui, is de interceptie aanzienlijk minder. Gebaseerd op dezelfde metingen als figuur 1.

dit proces te beschrijven door – uitgaande van een begintoeestand – de verandering van een cruciale grootte (bijvoorbeeld de hoeveelheid water in de kruin) in kleine tijdstappen te berekenen in afhankelijkheid van stuurvariabelen (neerslag, luchtvochtigheid, windsnelheid etc.) en van parameters die de eigenschappen van de kruinlaag beschrijven (zoals bergingscapaciteit, albedo, ruwheidslengte etc.). Deze benadering, waarvoor vooral Rutter het pionierswerk heeft verricht (Rutter et al., 1971, 1975; Rutter and Morton, 1977; Gash, 1979), levert thans voor naaldbos goede resultaten (Gash, Wright and Lloyd, 1980; Pearce and Rowe, 1981). Het ontwikkelen en toetsen van dergelijke modellen is geen sinecure (Halldin, 1979). Er zijn voor allerlei onderdelen van het proces veronderstellingen nodig, welke zo gefundeerd mogelijk moeten zijn. Ook moet men, in samenhang met de kleine tijdstappen tussen berekende toestanden, veel meetgegevens verzamelen. En voor het calibreren en valideren van een computersimulatie zijn nog weer twee onafhankelijke reeksen metingen nodig. Maar als men eenmaal een goed model heeft, dan kan het in principe op elk gewenst bos worden toegepast, mits daarvoor de invoergegevens voorhanden zijn. Immers, het karakter van het interceptieproces is overal gelijk, alleen de grootte van het interceptieverlies is afhankelijk van de lokale waarden van de betrokken variabelen en parameters. In de praktijk zijn er nog wel problemen, zelfs met de voorspelling van een zo uitgebreid bestudeerd proces als kruininterceptie in naaldbos. Eén van die problemen – en dat was ook het probleem waardoor Brechtel indertijd voor de op correlaties gebaseerde schattingsmethode koos – is de noodzaak om lokale waarden van hydrometeorologische variabelen te verzamelen. En daarvoor zijn kostbare (en vaak kwetsbare) meetstations nodig. Een stap in de goede richting is onlangs gezet door Mulder (1983), die op basis van het model van Gash (1979) voor naaldbos een model heeft ontwikkeld dat gebruik maakt van nog weer minder gegevens en toch goede voorspellingen geeft van het kruininterceptieverlies. Zie tabel 2 en figuur 5.

Aan kruininterceptie in loofbos is naar verhouding minder onderzoek verricht dan in naaldbos. Ondanks het werk van Balázs (1982) en anderen is de relatie tussen het bladverlies in de winter en de interceptie in

die periode nog niet in alle opzichten duidelijk. Andere aspecten waarvan onze kennis nog wel hiaten vertoont, zijn de invloed van sneeuwinterceptie en interceptiewinst (o.a. door condensatie), die in andere klimatologische omstandigheden dan de onze ook kwantitatief interessant kunnen zijn. Aangezien dergelijke aspecten ook in modellen kunnen worden ondergebracht, biedt ook hier de computersimulatie goede perspectieven.

Ruimtelijke verdeling van de netto neerslag

Al naar gelang de bosstructuur geven de drie deelstromen van de netto neerslag (directe neerslag, kruindrop en stamafvoer) onderling aanzienlijke kwantitatieve (en kwalitatieve) verschillen te zien (Rutter, 1964; Eschner, 1967; Matzner et al., 1982; Ulrich and Pankrath, 1983). Stellen we ons een bos voor met onvolledige kroonsluiting, bestaande uit bomen met een niet-transparante kroon en met zodanig gestel en soort bast dat stamafvoer groot is. In zo'n bos zal onder de open plekken in de kruinlaag ongeveer evenveel regen op de bosvloer vallen als er boven op het bos valt. Onder individuele kronen komt als gevolg van interceptieverlies en stamtoevoer veel minder neerslag terecht dan in open plekken. Via de stam tenslotte bereikt een aanzienlijk deel van de neerslag de bosvloer. Metingen geven voor stamafvoer zeer uiteenlopende waarden te zien. Voor stamafvoer van beuken bijvoorbeeld zijn waarden van meer dan 10% van de gebiedsneerslag op jaarbasis waarschijnlijk wel representatief (Lee, 1980; Brechtel und Pavlov, 1977; Matzner et al. 1982). Een zo grote stamafvoer betekent dat rond de boomvoet veel meer dan de gebiedsneerslag terecht komt. Aangevoerd is ook (Koenies, 1982) dat dit zijn weer- slag vindt in tal van bodemchemische verschijnselen. In bossen met een andere structuur zal de ruimtelijke verdeling anders zijn dan bij het geschetste stamafvoer-regime dat vooral in beukenbos goed is ontwikkeld. In vele naaldbossen zal het rond de boomvoet juist relatief droog zijn.

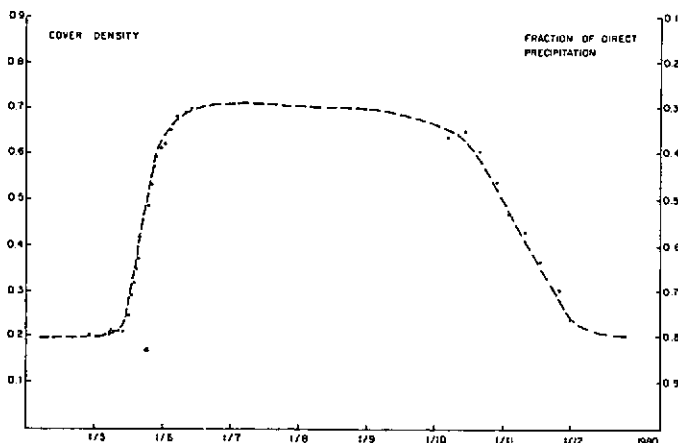
Hydrologische processen op de bosvloer

Strooisel speelt een heel complexe rol in de waterhuis-

Tabel 2 Verschillen tussen voorspelde en gemeten kruininterceptieverliezen in het naaldbos zijn niet significant; Mulder, 1983.

jaar	bruto neerslag mm/maand	netto neerslag mm/maand		significantie verschil a en b	
		a. gemeten	b. voorspeld	a/b	
1965	86,3	54,8	54,9	1,00	niet
1980	27,9	12,3	13,0	0,95	niet
1981	57,2	26,6	26,6	1,00	niet

Fig. 3 In het eikenbosje was in de zomer van 1980 de bijdrage van directe neerslag aan totale doorval 3/10 van de bruto neerslag. In de winterse, onbebladerde toestand echter 8/10. Dit grote verschil is in het percentage doorval slechts ten dele terug te vinden; vgl. tabel 1.



houding van bossen, een rol die ook nog niet goed bekend is.

In de eerste plaats is een strooisellaag belangrijk voor infiltratie van regenwater in de bodem. Geheel kale bodemoppervlakken slaan vrij snel dicht door instlag van regendruppels. De kinetische energie van regendruppels – en ook van doorvaldruppels (Mosley, 1982) – kan zo groot zijn dat de bindingskrachten in de bodemaggregaten worden overtroffen. De aggregaten vallen uiteen in primaire gronddeeltjes die verspoelen en het bodemoppervlak verdichten. Bij de aanwezigheid van strooisel echter wordt de slagkracht van de regen-, dan wel doorvaldruppels opgevangen door bladeren en twijgen en dergelijke en blijft de bodemstructuur intact. Terwijl op een kaal oppervlak door dat zg. dichtslampen de infiltratiecapaciteit bij intense regenval snel afneemt, zal onder een strooisellaag de maximale infiltratiesnelheid veel meer constant blijven. Een ander punt is de vaak grote biologische activiteit van wormen en insecten die veelal leidt tot een mooie, rulle en dus goed doorlatende bovengrond.

Toch zal een strooisellaag niet altijd de infiltratie bevorderen. Soms bestaat een strooiseldek namelijk uit min of meer dakpansgewijs gestapelde, weinig verteerde bladeren. Wanneer het oppervlak maar enigszins helt dan stroomt er regenwater over en door het strooisel af. Zelfs in ons vlakke land kan dit verschijnsel bijdragen tot afstroming van water langs het oppervlak (Duysings, Verstraten and Bruynzeel, 1983), waardoor de hoeveelheid in de bodem infiltrerend water navenant afneemt.

Dat een strooisellaag atmosfeer en bodem van elkaar afschermt, blijkt op nog een andere manier. Strooisel werkt als een mulch, die het transport van waterdamp uit de minerale bovengrond naar de atmosfeer tegengaat (Rijtema, 1969). Op een geheel onbegroeide en onbedekte zandgrond leidt de directe verdamping uit de bovenste decimeters grond tot een vochtverlies dat in ons klimaat gemiddeld ongeveer

25% van de gebiedsneerslag op jaarbasis bedraagt (PWN, 1972; zie ook figuur 6). Een dergelijk groot verlies door directe verdamping is onder vegetatie niet te verwachten en zeker niet als er een min of meer afsluitende strooisellaag aanwezig is.

Een derde hydrologische functie van strooisel – naast invloed op infiltratie en directe verdamping uit de bodem – is de berging van doorvallende neerslag. Strooisel schijnt tot 2,5 maal zijn eigen gewicht aan water te kunnen bergen (Blow, 1955). Niet iedereen is er echter van overtuigd dat strooiselinterceptie altijd door verdamping tot een belangrijk verlies leidt. Immers, zo redeneert men, voor de verdamping van het aanhangende water is een dampspanningsdeficit nodig en energie in de vorm van warmte en wind. En het bosklimaat wordt juist gekenmerkt door weinig licht, weinig wind en hoge relatieve vochtigheid. Verdamping vanaf de bosvloer moet dus wel minimaal zijn. Op het eerste gezicht geen slechte redenering. Enkele oudere, Amerikaanse metingen van strooiselinterceptieverliezen vermelden inderdaad lage waarden: 2-5% van de bruto neerslag (Rowe, 1955; Helvey and Patric, 1965 b). Andere, recente Europese metingen echter geven aan dat strooiselinterceptieverliezen 10 tot meer dan 20% kunnen bedragen (Brechtel und Pavlov, 1977; Matzner et al., 1982). Nu is het meten van strooiselinterceptie lastig en misschien moeten we de conclusie opschorten tot veel meer metingen zijn verricht. Maar er is wel aanleiding om te twifelen aan de juistheid van de stelling dat verdamping vanaf de bosvloer in het algemeen verwaarloosbaar is. "Tocht" tussen kruinlaag en bosvloer treedt geregeld op en is sterker bij kleinere percelen (De Groot, 1980). Vertikale uitwisseling van boslucht met de atmosfeer boven de kruinlaag treedt vooral op bij harde wind en onstabiele atmosfeer (Meroney, 1968). Het verbaast dus niet dat bij een proefonderzoek (Dijkstra, 1982) het verdampend vermogen vlak boven de bosvloer werd geschat op 20% van de bruto neerslag. Zie figuur 4.

Fig. 4 Cumulatieve waarden van de potentiële verdamping op de bosvloer van het eikenbosje in 1981, op drie manieren geschat (Dijkstra, 1982). De bruto neerslag bedroeg in dezelfde periode 651 mm. Zo'n 20% daarvan kon dus vanaf de bosvloer verdamppt zijn.

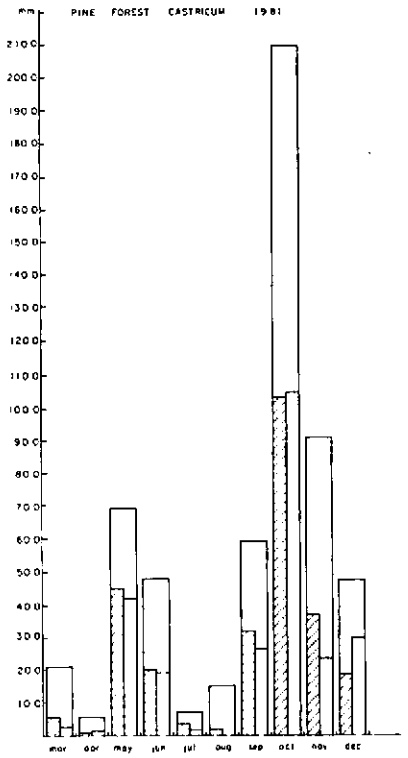
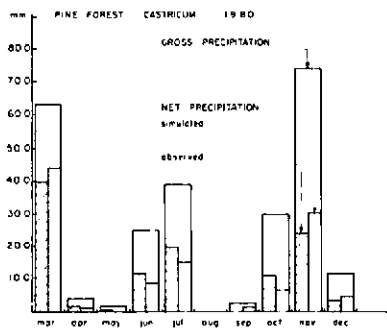
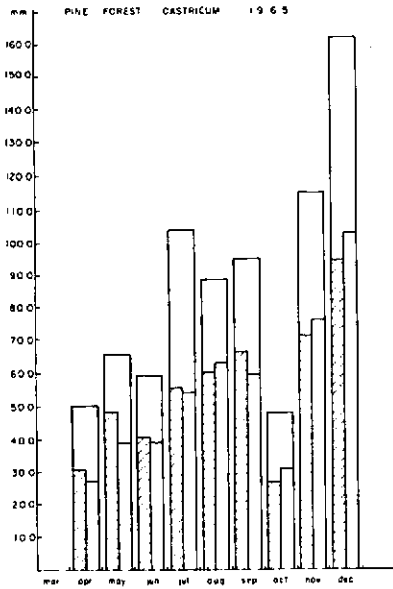
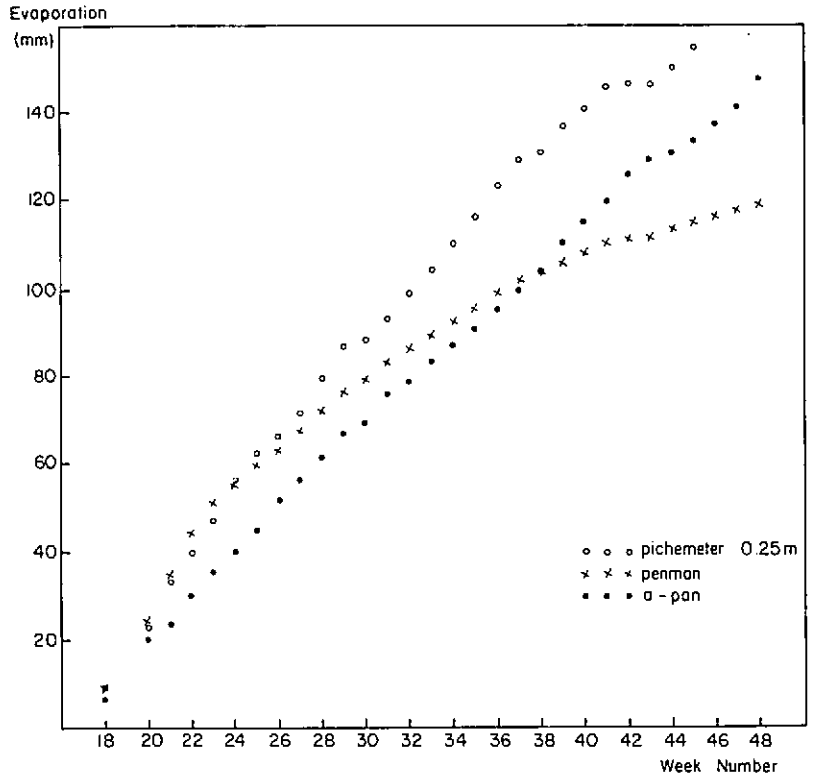


Fig. 5 Voorspelde en gemeten waarden voor interceptie in het naaldbos van lysimeter IV. De verschillen zijn statistisch niet significant; zie tabel 2. Mulder, 1983.

De hydrologische rol van de strooisellaag overziende, kunnen we concluderen dat het bevorderen c.q. op peil houden van infiltratie en het afremmen van directe verdamping uit de bodem verlies van neerslag tegen gaat en dat daartegen interceptie en afstroming van strooiselwater juist verlies opleveren. Er zijn thans nog niet voldoende betrouwbare gegevens beschikbaar om na te gaan of over het algemeen winst dan wel verlies prevaleert. Vermoedelijk is zo'n algemene uitspraak ook teveel gevraagd. Door vele naaldbossen van Les Landes waait een frisse zeewind en de strooisellaag is er soms reusachtig dik. Het strooiselinterceptieverlies zal hier allicht de overhand hebben. Maar mogelijk ligt het evenwicht toch weer anders in sommige van de haast voortdurend druipnatte sparrebossen in de Ardennen.

Het grote verschil tussen een bosvloer die uit strooisel bestaat en één die wordt gevormd door levende massa's kruiden, varens e.d. is natuurlijk dat levende planten niet alleen passief water onderscheppen maar ook actief water uit de bodem opnemen en transpireren. Roberts et al. (1980) geven aan dat een bodembedekking van Adelaarsvaren in naaldbos makkelijk een kwart van de transpiratie van het gehele bossysteem voor zijn rekening kan nemen, met uitschieters tot meer dan de helft. Op jaarbasis zal het verlies misschien wel meevallen, maar verwaarloosbaar lijkt het niet.

Overeenkomsten met strooisellagen zijn dat bodembedekkende plantenmassa's ook doorval onderscheppen, inslag van regendruppels breken en infiltratiecapaciteit op peil houden. Interceptie en transpiratie van de bedekking der bosvloer vormen gezamenlijk een interessant aspect van de waterhuishouding van bossen. Meer inzicht in deze processen zou welkom zijn.

Enkele consequenties

Het ligt voor de hand dat interceptieverliezen en verdeling van neerslag in de bovengrondse delen van bosvegetatie gevolgen hebben voor hoeveelheid en verdeling van bodemvocht, en dus voor wateropname via de boomwortels en voor grondwatervoeding. Daarover, en over gevolgen voor de samenstelling van het water nog een paar opmerkingen.

De hoeveelheid bodemvocht in de onverzadigde zone van de bosgrond kan van plaats tot plaats nogal sterk verschillen. Dat komt allereerst door het patroon van verdeling van de netto neerslag en in de tweede plaats door het patroon van wateropname door de wortels. Aangetoond is dat beide patronen op elkaar kunnen aansluiten: waar relatief veel water terecht komt, ontwikkelen zich dan meer fijne wortels (bijv. Eschner, 1967; Reynolds, 1975; Ford and Deans, 1978).

Waarschijnlijk is echter dat zo'n compensatie niet al-

gemeen voorkomt. Speciaal in bossen met belangrijke stamafvoer treden grote verschillen in bevochtiging van de bodem op getuige de intensievere uitloging onder bomen vergeleken met de uitloging buiten het bereik van de stamafvoer. Maar in alle bossen geldt dat transpiratie veel meer dan neerslag gebonden is aan dag- en seizoenritme zodanig dat volledige compensatie geen sprake kan zijn. Een bijkomende oorzaak van variatie in tijd en ruimte van vocht in bosgronden is wellicht ook nog dat stamafvoerwater ondergronds wordt geleid door boomwortels. Een enkel in ons laboratorium uitgevoerd experiment wijst tenminste wel in die richting.

Hoe het ook zij, als men de vochtigheid van een bosgrond nauwkeurig wil bepalen en in de tijd wil vervolgen, dan dient men terdege rekening te houden met sterke variabiliteit. In de praktijk betekent dit vooral dat in de bovenste bodemhorizonten heel wat meer metingen moeten worden verricht dan soms nog gebruikelijk is.

In sommige bosbouwkundige boeken treft men tabellen aan, waarin de waterbehoefte van diverse bos typen wordt vermeld. Het zijn meest ruwe bedragen, waarbij interceptieverliezen inbegrepen lijken (bijv. Van Miegroet, 1976). De vraag dringt zich op hoe nu precies de netto waterbehoefte – dus de voor transpiratie minimaal benodigde hoeveelheid water – werkelijk is. Vergelijking van interceptie- en transpiratieverliezen is lastig omdat transpiratiefluxen in bos nogal moeilijk te meten zijn. Beschikbare gegevens uit diverse bronnen en met verschillende methoden verkregen, gaven Roberts (1983) aanleiding te veronderstellen dat jaarlijkse transpiratieverschillen beperkt zijn. In zijn beschouwing blijven overigens seizoenverschillen en extra watervoorziening door capillaire opstijging buiten beschouwing. De berekeningen van Stewart (1984) komen uit op ongeveer hetzelfde bedrag van jaarlijkse transpiratie als het gemiddelde van de door Roberts verzamelde metingen, nl. ca. 335 mm/jaar. Als transpiratie inderdaad van jaar tot jaar weinig verandering ondergaat, dan moet de variatie in neerslag en interceptie vrij grote schommelingen in de grondwatervoeding veroorzaken. Dat onder bos grotere schommelingen voorkomen dan bij kale grond wordt inderdaad geïllustreerd door de gegevens van de boslysimeters van Castricum; zie figuur 6.

Tot slot een opmerking over de verandering van de chemische samenstelling welke neerslag ondergaat op zijn weg van kruin naar bosbodem.

Neerslag bevat van nature altijd een geringe hoeveelheid opgeloste stoffen. Deels zijn die stoffen afkomstig van condensatiekernen die weer afkomstig zijn uit zee (zwevende zoutkristalletjes, ontstaan door verdamping van opspattend zeewater) of van vulkanische uitbarstingen e.d. Deels ook zijn het van oor-

% nuttige neerslag in % van regenval

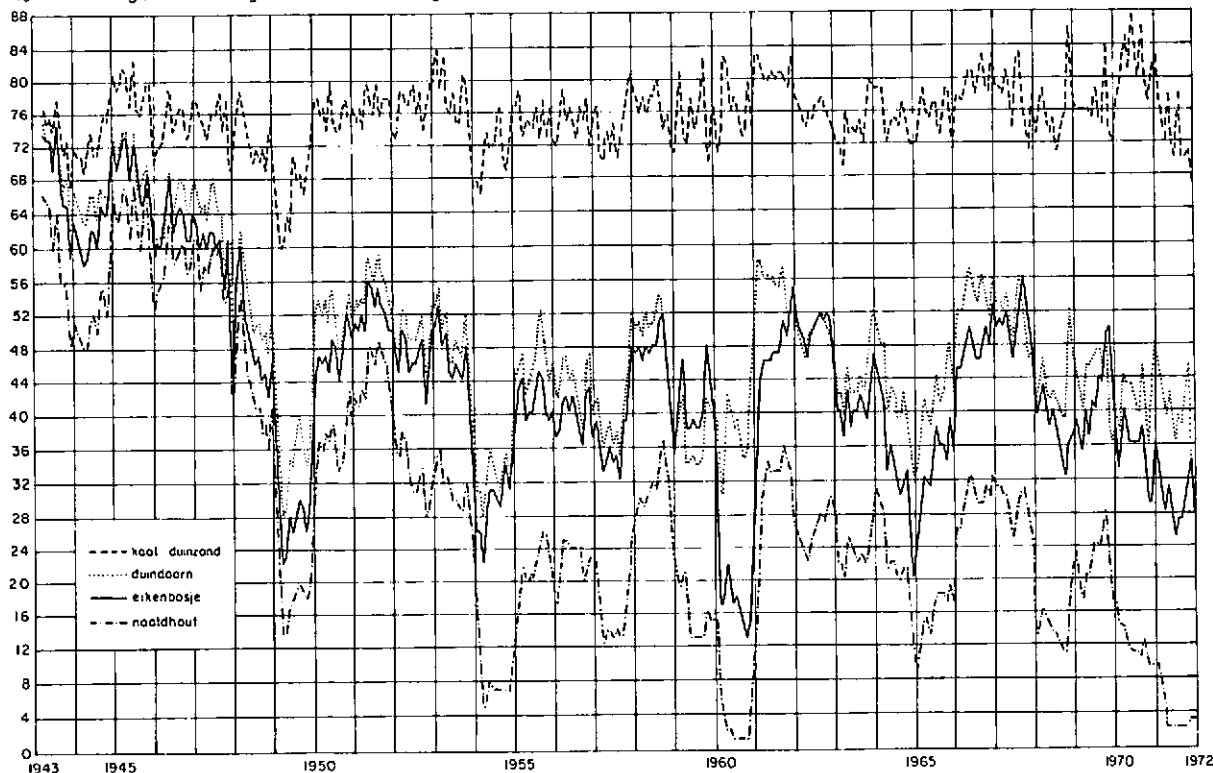


Fig. 6 Afname van grondwatervoeding met toenemende ontwikkeling van de vegetatie gedurende 30 jaar. In de onbegroeide lysimeter speelt alleen verlies door directe verdamping uit de bodem een rol. Tussen het povere eikenbosje en de duindoorn was er niet veel verschil. Het totale verlies door interceptie en transpiratie was aanzienlijk in de Pinus nigra. Bron: PWN, 1972.

sprong gasvormige stoffen die in de regendruppels zijn opgelost, of vloeibare verbindingen die met die druppels zijn versmolten. Zoals bekend kunnen de heel kleine, vrij zwevende deeltjes ook bij droog weer uit de atmosfeer bezinken. Ze vormen de droge depositie. Als dan ook wordt geconstateerd dat doorval en stamafvoer meer opgeloste stoffen bevatten dan neerslag, dan ligt het voor de hand dat deze aanrijking het gevolg is van het uitwassen van droge depositie uit de boomkronen (Wind, 1953; Tollenaar and Rijckborst, 1975; McColl, 1981; Matzner et al., 1982; Ulrich and Pankrath, 1983; en vele anderen). De kruinlaag heeft een oppervlak dat enkele malen groter is dan het overeenkomstig bodemoppervlak. Bladoppervlakte-indexen (enkelzijdig) van 4 of 5 zijn heel gewoon. De kruinlaag vormt dus een heel effectieve opvang voor droge depositie. Naast dit mechanisme is echter ook de opname van opgeloste stoffen uit de bodem van belang. Sommige stoffen worden met het transpiratiewater meegevoerd naar de kroon waar ze via het blad worden uitgezweet en bij regen worden opgenomen in het doorval- en stamafvoerwater. Bijvoorbeeld kalium-

ionen vertonen zulk gedrag (Elwood and Henderson, 1975).

Door de verontreiniging van de atmosfeer is de hoeveelheid droge depositie sterk toegenomen en is van droge en natte depositie de samenstelling veranderd. Daardoor is de belasting van het boscysteem met zuurvormende groepen en (zware) metalen flink toegenomen. De concentratie van neerslag als stamafvoer heeft er met name in Duitse beukenbossen toe geleid dat de bodem in de omgeving van de stamvoet verder is verzuurd en verontreinigd met zware metalen dan tussen de stammen in het geval is (Koenies, 1982). Maar alle bossen zullen door het grote bovengrondse vangoppervlak relatief sterk luchtverontreiniging in hun ecosysteem opslaan. Zolang de buffercapaciteit van dat systeem nog niet overschreven is, zal het transport van ongewenste stoffen naar het grondwater nog niet zo heel groot zijn. Maar zodra de grens van het bufferend vermogen is bereikt, dan verandert de situatie. Zou het bos dan ook nog in zijn geheel bezwijken, dan zullen interceptie en transpiratie abrupt stoppen. Op grond van wat er onder meer in de Hubbard Brook stu-

die werd geconstateerd (bijv. Likens and Borman, 1975) moet men verwachten dat opgehoopte onplezierige stoffen dan in hoog tempo aan het grondwater worden toegevoegd. Een perspectief dat nadere overpeinzing verdient.

Literatuur

- Aldridge, R. & R. J. Jackson, 1973. Interception of rainfall by hardbeech (*Nothofagus truncata*) at Taita, New Zealand. *New Zealand J. Sci.* 16 (1): 185-198.
- Balázs, A., 1982. Interzeptions-verdunstung des Waldes im Winterhalbjahr als Bestimmungsgröße des nutzbaren Wasserdargebotes. *Beiträge zur Hydrologie, Sonderheft 4*: 79-101.
- Blow, F. E., 1955. Quantity and hydrologic characteristics of litter under upland oak forests in Eastern Tennessee. *J. Forestry* 53: 190-195.
- Brechtel, H. M. 1976. Influence of species and age of forest stands on evapotranspiration and ground water recharge in the Rhine-Main-valley. XVI IUFRO World Congress, Oslo. Subject group S. 1.03.2.
- Brechtel, H. M. & M. B. Pavlov, 1977. Niederschlagsbilanz von Waldbeständen verschiedener Baumarten und Altersklassen in der Rhein-Main-Ebene. Kuratorium für Wasser und Kulturbauwesen, Arbeitsgruppe Wasserwirtschaft in der Kultur- und Erholungslandschaft.
- Duysings, J. J. H. M., J. M. Verstraten & L. Bruynzeel, 1983. The identification of runoff sources of a forested lowland catchment: A chemical and statistical approach, *J. Hydrol.*, 64: 357-375.
- Dijkstra, A., Doct. verslag, 1982.
- Elwood, J. W. & G. S. Henderson, 1975. Hydrological and chemical budgets at oak ridge, Tennessee. In: Hasler, A. D. (Ed.), *Coupling of land and water systems; Ecol. studies* no. 10: 31-51.
- Eschner, A. R., 1967. Interception and soil moisture distribution. N.S.F. Symp. *Forest Hydrology*: 191-200.
- Ford, E. D. & J. D. Deans, 1978. The effects of canopy structure on stemflow, throughfall and interception loss in a young sitka spruce plantation. *J. Appl. Ecology* 15: 905-917.
- Gash, J. H. C., 1979. An analytical model of rainfall interception by forests. *Quart. Journ. Roy. Meteor. Soc.*, 105 (443): 43-55.
- Gash, J. H. C., I. R. Wright & C. R. Lloyd, 1980. Comparative estimates of interception loss from three coniferous forests in Great Britain. *J. Hydr.*, 48: 89-105.
- Groot, S. de, 1980. *Microklimaat en verdamping in de Vosbergen*. Doctoraalscriptie.
- Halldin, S. (Ed.), 1979. Comparison of forest water and energy exchange models. *Proc. IUFRO Workshop, Uppsala, Sweden*.
- Helvey, J. D. & J. H. Patric, 1965 (a). Design criteria for interception studies. A.I.H.S. Publ. No. 67, pp 131-137.
- Helvey, J. D. & J. H. Patric, 1965 (b). Canopy and litter interception of rainfall by hardwoods of Eastern United States. *Water Resources Res.* 1 (2): 193-206.
- Horton, R. E., 1919. Rainfall interception. *Mon. Weather Rev.*, 47: 603-623.
- Hutchinson, I. & M. C. Roberts, 1981. Vertical variation in stemflow generation. *J. Appl. Ecol.* 18: 521-527.
- Jarvis, P. G., G. B. James & J. J. Landsberg, 1976. Coniferous forest. In: *Vegetation and the Atmosphere*; J. L. Monteith, Ed.; Vol. II: 171-240.
- Koenies, H., 1982. Ueber die Eigenart der Mikrostandorte in Fussbereich der Altbuchen unter besondere Berücksichtigung der Schwermetallgehalte in der organische Auflage und in Oberboden. *Dissertation Kassel*.
- Likens, G. E. & F. H. Bormann, 1975. An experimental approach to New England landscapes. In: *Coupling of land and watersystems, ecological studies* 10: 7-29 A. D. Hasler, Editor. Springer, Berlin, New York.
- Lundgren, L. & B. Lundgren, 1978. Rainfall, interception and evaporation in the Mazumbai forest reserve. Tanzania. *Geogr. Ann.*, 61A (3-4): 157-178.
- Matzner, E. et al., 1982. Elementflüsse in Waldökosystem im Solling-Datendokumentation. *Gött. Bodenk. Ber.*, 71.
- McColl, J. G., 1981. Trace Elements in the hydrologic cycle of a forest ecosystem. *Plant and Soil* 62: 337-349.
- Meroney, R. N., 1968. Characteristics of wind and turbulence in and above model forests. *J. Appl. Meteor.* 7: 780-788.
- Miegroet, M. van. 1976. *Van bomen en bossen*. Story-scientia Antwerpen.
- Mosley, M. P., 1982. The effect of a New Zealand beech forest canopy on the kinetic energy of water drops and on surface erosion. *Earth Surface Proc. & Landforms* 7 (2): 103-108.
- Pearce, A. J. & L. K. Rowe, 1981. Rainfall interception in a multi-storied, evergreen mixed forest: estimates using Gash's analytical model. *J. Hydrol.* 49: 341-353.
- Penman, H. L., 1963. *Vegetation and Hydrology*. Techn. Communication no. 53, Commonwealth bureau of soils, Harpenden, England.
- Pollanschütz, J., 1963. Bestimmung des Beschirmungsverhältnisses bzw. der Beschirmungsdichte. *Algem. Forstzeitung* 74: 258-260.
- Provinciaal Waterleidsbedrijf Noord-Holland, 1972: *Het lysieterwaarnemingsbedrijf te Castricum - Eindrapport, Intern Rapport P.W.N.*
- Rauner, Ju. L., 1976. *Deciduous Forests*. In: *Vegetation and the atmosphere, Vol. II, Case studies* (J. L. Monteith, Ed.), pp 241-264.
- Reynolds, E. R. C., 1975. Tree rootlets and their distribution. In: *Torrey, J. G. and Clarkson, D. T. (Eds.); The development and function of roots*; Acad. Press, London; pp 163-177.
- Roberts, J., C. F. Pymar, J. S. Wallace et al., 1980. Seasonal changes in leaf area, stomatal and canopy conductances and transpirations from bracken below a forest canopy. *J. Appl. Ecol.*, 17: 409-422.
- Roberts, J., 1983. Forest transpiration: a conservative hydrological process? *J. Hydrol.* 66: 133-141.
- Rothacher, J. 1963. Net precipitation under Douglas-fir forest. *Forest Sci.* 9: 423-429.
- Rowe, P. B., 1955. Effects of forest floor on disposition of rainfall in pine stands. *J. Forestry* 53: 342-348.
- Rutter, A. J., 1964. Studies on the water relations of *Pinus sylvestris* in plantation conditions. II. The annual cycle of soil moisture change and derived estimates of evaporation. *J. Appl. Ecol.* 1: 29-44.
- Rutter, A. J., K. A. Kershaw, P. C. Robins, et al., 1971. A predictive model of rainfall interception in forests. I. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine. *Agric. Meteorol.* 9: 367-384.

- Rutter, A. J., A. J. Morton & P. C. Robins, 1975. A predictive model of rainfall interception in forests. II. Generalization of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwood stands. *J. Appl. Ecol.*, 12: 367-380.
- Rutter, A. J. & A. J. Morton, 1977. A predictive model of rainfall interception in forests. III. Sensitivity of the model to stand parameters and meteorological variables. *J. Appl. Ecol.*, 14: 567-588.
- Rytyma, P. E., 1969. Soil moisture forecasting, *Nota 513*, I.C.W.
- Skau, C. M., 1964. Interception, throughfall, and stemflow in Utah and alligator Juniper cover types of Northern Arizona. *Forest Sci.* 10: 283-287.
- Stewart, J. B., 1977. Evaporation from the wet canopy of a pine forest. *Water Resources Res.* 13(6): 915-921.
- Stewart, J. B., 1984. Measurement and prediction of evaporation from forested and agricultural catchments. *Agric. water manag.* 8: 1-28.
- Thom, A. S., J. B. Stewart, H. R. Oliver, et.al., 1975. Comparison of aerodynamic and energy budget estimates of fluxes over a pine forest. *Quart. J. R. Met Soc.*, 101: 93-105.
- Tollenaar, P. & H. Ryckborst, 1975. The effects of conifers on the chemistry and mass balance of two large lysimeters in Castricum (The Netherlands). *J. Hydrol.* 24: 77-87.
- Ulrich, B. & J. Pankrath, 1983. Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems. *Proc. Workshop Göttingen*, 16-18 May, 1982.
- Weischet, W., 1983. Einführung in die allgemeine Klimatologie. Teubner, Stuttgart.
- Wind, R., 1953. Opvangen van zout uit de lucht door een denbosje in de duinen. *Water no. 4 en 5 (12-2-1953, 16-2-1953)*.
- Zinke, P. J., 1967. Forest interception studies in the United States. *N.S.F. Symp. Forest Hydrology*: 137-161.

Ingezonden

Schade aan bossen door luchtverontreiniging

(NBT nr. 9/10)

In Nederland begint de discussie over de wenselijkheid van bekalking van zure bosgronden, maar verder dan het geven van meningen is men thans nog niet. Richtlijnen zijn daarom nog niet te geven. Wel wordt achter de schermen al het nodige gedaan om tot een oordeelsvorming te komen, waarna het beleid tot besluiten kan overgaan.

De Duitse Bondsrepubliek ligt ons in dit opzicht voor. De Duitse bosbouw kent een lange bekalkings-traditie, en het "Waldsterben" heeft in Midden-Europa het eerst toegeslagen, zodat men daar ook eerder over tegenmaatregelen kon gaan nadenken. Ik laat de gehele – voor een groot deel nog te houden – argumentatie over het voor en tegen van bekalking van bossen buiten beschouwing. Maar wel is het van belang dat men in de Duitse bosbouw tot een soort van communis opinio is gekomen met betrekking tot de dosering van magnesiumhoudende kalk. Als een bosbeheerder in de Bondsrepubliek wil kalken, wordt men geadviseerd een eenmalige dosering van drie ton kalk per hectare toe te passen. Omdat de thans gebruikte apparatuur het niet mogelijk maakt om deze gift gelijk-

matig over de gehele oppervlakte te verdelen, lopen de feitelijke doseringen in een opstand uiteen van één tot zes ton kalk per hectare. Dat maximum van zes ton per hectare, dat in enkele gedeelten van een opstand terecht zal komen, vindt men het uiterste, omdat nitrificatie en ruwehumusafbraak dan met merkbare snelheid gaan verlopen. Dat wil men zoveel mogelijk voorkomen.

Waarom nu deze lange inleiding? De reden hiervoor is dat in het bovengenoemde artikel op blz. 256 een dosering van tien ton kalk per hectare wordt genoemd. Ik weet wel dat deze mededeling niet als een bekalkingsadvies voor Nederland mag worden opgevat, maar het gevaar voor een misverstand lijkt me toch niet denkbeeldig. Niet alleen in Nederlandse, maar ook in Duitse deskundige ogen is deze hoeveelheid veel te hoog. Men kan van een noodsprong spreken, maar die is dan toch niet verantwoord. Er staan voldoende onderzoeksresultaten uit het verleden ter beschikking om dat aannemelijk te maken. Zou men in Nederland in bepaalde bossen tot bekalking overgaan – en nogmaals: – *daarover staat nog niets vast* – dan zullen de doseringen vermoedelijk weinig gaan afwijken van wat in de Westduitse richtlijnen wordt aanbevolen, nl. ca. drie ton kalk per hectare.

J. van den Burg