
De verdamping van natuurterreinen

J.F.M. Spieksma, A.J. Dolman en J.M. Schouwenaars

Bij maatregelen die worden genomen ter bestrijding van de verdroging in natuurterreinen, komen veelvuldig vragen naar voren die betrekking hebben op de verdamping van deze gebieden. Het verdampingsonderzoek in Nederland heeft zich echter tot dusver voornamelijk gericht op landbouwgewassen en recentelijk ook op bossen. Onlangs is door de vakgroep Fysische Geografie van de Rijksuniversiteit Groningen en het DLO-Staring Centrum, in opdracht van het NOV (Nationaal Onderzoeksprogramma Verdroging), een onderzoek naar de verdamping van natuurterreinen uitgevoerd. In deze studie is de bestaande kennis ten aanzien van de verdamping van natuurterreinen verzameld en zijn de belangrijkste knelpunten gesignaleerd.

Bij deze knelpunten moet in de eerste plaats worden gedacht aan de heterogene structuur van natuurterreinen met een afwisseling van open terrein en struweel of bos. In zulke gebieden wordt de verdamping met name bepaald door de aërodynamische ruwheid (windwerking). Hierdoor is een aanpak met behulp van gewasfactoren en een louter op straling gebaseerde referentie-verdamping niet zonder meer mogelijk. Een hiermee samenhangend probleem is het feit dat bij referentie-verdamping geen interceptie onderscheiden wordt. Een tweede belangrijk aspect van de verdamping van natuurterreinen is de accumulatie van organisch materiaal waardoor de verdamping gaat afhangen van het neerslagpatroon in de tijd. Door middel van een modelstudie met gegevens uit de Engbertsdijkvenen zijn beide effecten nader onderzocht.

1 Inleiding

Het waterbeheer neemt een steeds belangrijker plaats in bij maatregelen ten behoeve van het behoud en herstel van natuurterreinen. De eisen waaraan het waterbeheer moet voldoen, probeert men steeds nauwkeuriger vast te stellen. Om mogelijke effecten van het waterbeheer goed te kunnen voorspellen, is echter kennis nodig die voldoende diepgaand en verfijnd is. Als voorbeeld dienen de plannen om naaldhout op de Veluwe te vervangen door loofhout. De discussie over deze plannen werd gevoerd zonder goede kennis over de mogelijke verschillen tussen het waterverbruik van naald- en loofhout. Inmiddels zijn nieuwe gegevens beschikbaar en moeten modelberekeningen over de te verwachten vergroting van

J.F.M. Spieksma en J.M. Schouwenaars zijn werkzaam bij de Vakgroep Fysische Geografie, Rijksuniversiteit Groningen, Kerklaan 30, 9751 NN Haren, telefoon: (050) 3636138, fax: (050) 3635205, E-mail: J.F.M.Spieksma@biol.rug.nl of J.M.Schouwenaars@biol.rug.nl

A.J. Dolman is werkzaam bij DLO Staring Centrum, Wageningen, Postbus 125, 6700 AC Wageningen, telefoon: (0317) 474304, fax: (0317) 424812, E-mail: Dolman@sc.dlo.nl

de grondwateraanvulling bijgesteld worden (Dolman et al., 1996, Gehrels en Dolman, 1996).

Om ingrepen in het waterbeheer van natuurterreinen door te rekenen, worden in de meeste gevallen regionale hydrologische modellen gebruikt. Deze modellen worden gekalibreerd door onder meer de kD (doorlaatvermogen) van de ondergrond te bepalen. In deze kalibratie speelt de relatieve grootte van de termen in de waterbalans een rol. Meer grondwateraanvulling in een model levert bij dezelfde grondwaterstanden immers een hogere kD -waarde op. Hierdoor worden fouten bij het inschatten van de verdamping gecompenseerd door parameters waar ze ogenschijnlijk geen relatie mee hebben.

Verdamping van natuurlijke vegetaties in Nederland bedraagt zo rond de 400 à 500 mm per jaar. Bij een bruto neerslag van 800 mm is verdamping dus veruit de grootste term in de waterbalans. Paradoxaal genoeg worden in regionale modellen relatief simpele berekeningen uitgevoerd om de verdamping te schatten. Voor het leeuwendeel is deze benadering om verdamping te berekenen gestoeld op kennis van verdamping van relatief goed onderzochte landbouwgewassen. Al in het rapport van de Ad Hoc groep Verdamping (1984) werd echter geconstateerd dat over de grootte van de verdamping van natuurterreinen en bosgebieden weinig bekend is. In het verleden was dit niet zo'n groot bezwaar, aangezien modelberekeningen vaak op landbouwgewassen betrekking hadden. Met de toegenomen interesse voor natuur in Nederland worden momenteel regionale modellen echter voornamelijk ingezet om ingrepen in natuurterreinen te evalueren of een optimaal waterbeheer voor bepaalde natuurdoeltypen te formuleren. Het wordt dan ook belangrijker om het watergebruik van natuurterreinen in al zijn facetten adequaat te modelleren.

Tussen landbouwgewassen en natuurterreinen bestaan een aantal in het oog springende verschillen. Landbouwgewassen zijn vaak homogeen van structuur, terwijl de meeste natuurgebieden zich daarentegen kenmerken door een grote mate van heterogeniteit en diversiteit in structuur en soortensamenstelling. Daarnaast heeft zich in veel natuurgebieden een strooisellaag ontwikkeld en tenslotte is in veel natuurgebieden open water aanwezig. Deze factoren kunnen grote invloed op de verdamping hebben.

Om bovengenoemde verschillen in kaart te brengen is in opdracht van NOV (Nationaal Onderzoeksprogramma Verdroging) recentelijk een onderzoek uitgevoerd door de vakgroep Fysische Geografie van de Rijksuniversiteit Groningen en het DLO-Staring Centrum (Spieksma e.a., 1996). In deze studie is geprobeerd de beschikbare kennis ten aanzien van de verdamping van natuurterreinen te verzamelen en de belangrijke knelpunten te signaleren. Dit artikel geeft globaal een aantal conclusies van dat onderzoek weer.

2 Bestaande gegevens

De resultaten van verdampingsonderzoek worden vaak gepresenteerd in de vorm van gewasfactoren, die een referentie-verdamping omrekenen naar een potentiële verdamping. In Nederland wordt deze referentie-verdamping uitgerekend met behulp van de Makkink-vergelijking. Deze vergelijking is gebaseerd op het gegeven dat de verdamping van goed van water voorziene, korte vegetaties voornamelijk bepaald wordt door netto straling (en dus

door globale straling) en in geringere mate door luchtvochtigheid en temperatuur. Voor grasland, dat goed van water is voorzien, stelde Makkink (1957) de volgende vergelijking op:

$$\lambda E_{ref} = 0,65 \frac{s}{s+\gamma} R_s \quad (1)$$

λ	=	specifieke verdampingswarmte van water	[J.kg ⁻¹]
E_{ref}	=	referentie-gewasverdamping volgens Makkink	[kg.m ⁻² .s ⁻¹]
s	=	helling van de verzadigingsdampdruk-curve	[mbar.K ⁻¹]
γ	=	psychrometer constante	[mbar.K ⁻¹]
R_s	=	globale straling (inkomende kortgolvlige straling)	[W.m ⁻²]

Een gebruikelijke methode is om deze referentie-verdamping met behulp van een gewasfactor te vertalen naar de potentiële verdamping (E_{pot}) van een zekere begroeiing. De potentiële verdamping is de verdamping die optreedt indien een droge vegetatie optimaal van water is voorzien. Interceptieverdamping wordt hierbij dus niet beschreven.

$$E_{pot} = f * E_{ref} \quad (2)$$

E_{pot}	=	potentiële verdamping	[mm.d ⁻¹]
f	=	gewasfactor	[-]
E_{ref}	=	referentie-gewasverdamping volgens Makkink	[mm.d ⁻¹]

De Nederlandse natuurterreinen worden vaak ingedeeld op basis van ecologische en landschappelijke kenmerken. Deze indeling laat echter niet altijd de verschillen in verdampingskenmerken voldoende tot zijn recht komen. Zo kunnen bijvoorbeeld binnen een laagveengebied wat betreft structuur zeer verschillende begroeiingstypen voorkomen. Wordt in laagveenmoerassen 's zomers gemaaid, dan ontstaan trilvenen, terwijl bij wintermaaien rietlanden ontstaan. Zowel trilvenen als rietlanden kunnen zich onder een maai-beheer na enkele tientallen jaren ontwikkelen tot veenheide, waarin veel veenmossen voorkomen. Bij zomermaaien ontwikkelt zich vaak een schraalgrasland. Wordt gestopt met maaien, dan zal zich via struweelvorming na verloop van tijd een bos ontwikkelen. Het moge duidelijk zijn dat het successiestadium waarin een terrein zich bevindt, sterk bepalend is voor de verdamping.

Het is daardoor, in tegenstelling tot bijvoorbeeld landbouwgewassen, moeilijk om tot eenduidige richtlijnen voor gewasfactoren voor verschillende begroeiingstypen te komen. De resultaten van de diverse studies die gedaan zijn naar de verdamping van natuurterreinen vertonen daarvoor te grote verschillen (Spieksma e.a., 1996). Dit is onder andere een gevolg van de uiteenlopende meet- en rekenmethoden die gebruikt worden voor de bepaling van de verdamping. Ter illustratie wordt in tabel 1 een globaal overzicht gegeven van de spreiding van de gewasfactoren voor een aantal typen natuurterreinen. Om aansluiting met buitenlandse literatuur mogelijk te maken, zijn de gewasfactoren opgegeven ten opzichte van open water verdamping E_0 .

Tabel 1: Een globaal overzicht van de spreiding van gewasfactoren (t.o.v. *Penman open water verdamping* !) aangetroffen in de literatuur.

terreintype	spreiding
laagveenmoeras	0,6 - 4,0
kustduinen	0,3 - 0,75
(half-) natuurlijk grasland	0,5 - 1,0
heide	0,55 - 0,9
hoogveen	0,4 - 1,2

Bij de analyse van literatuurgegevens viel bovendien op dat de onderzoeken die een verdamping melden groter dan open water verdamping ($E/E_o > 1$) veelal verricht zijn met lysimeters. Dit zou te maken kunnen hebben met de advectieve invloeden waaraan lysimeters bloot staan. Onderzoeken verricht met de Bowen-ratio meetmethode worden daarentegen gekenmerkt door een verdamping kleiner dan de open water verdamping ($E/E_o < 1$). Overigens zou het verschil in uitkomsten tussen lysimeters en Bowen-ratio's ook kunnen liggen in het feit dat de vegetatie in lysimeters niet altijd representatief is. Men heeft vaak de neiging om 'mooie' stukken vegetatie uit te zoeken, die doorgaans veel verdampen. Tenslotte kan in natte gebieden in de zomer warmte worden afgevoerd via het open water, zodat minder energie beschikbaar is voor verdamping. Met lysimeters zal dit effect niet meegenomen worden. Bij micrometeorologische metingen (zoals de Bowen-ratio- of de eddy-correlatie techniek) die over een grotere afstand middelen, wel.

Ook wanneer dezelfde meetmethodes worden gebruikt, is er nog sprake van een grote spreiding in de resultaten van verdampingsonderzoek. De spreiding geeft aan dat de gebruikte berekeningsmethoden wellicht de verdamping van natuurterreinen niet goed beschrijven en bepaalde belangrijke processen over het hoofd zien. Deze problemen spelen met name een rol in gebieden waar sprake is van een heterogene structuur met afwisselend struweel, open vegetaties en open water (moerassen) of een gevarieerde hoogteligging (duinen). In dit soort gebieden blijkt een grote variatie in verdamping op te treden, wat een oorzaak heeft in de sterke variatie in aërodynamische weerstanden over korte afstanden en warmteuitwisseling (advectie). Daarnaast is nog weinig bekend over het gedrag van een strooisellaag in natuurterreinen met betrekking tot water- en energiebalans.

3 Modelleren van heterogeniteit

Ten einde een beter inzicht te krijgen in de verdamping van natuurterreinen zijn in een modelstudie voor de Engbertsdijksvenen de effecten van kleinschalige heterogeniteit en strooisel nader onderzocht. De Engbertsdijksvenen zijn een hoogveenrestand in Overijssel met een begroeiing die voornamelijk bestaat uit pijpestrootje. Het gebruikte verdampingsmodel is SWAPS, dat de verdamping vanaf twee vegetatie(-lagen) kan simuleren (Ashby e.a., 1996). Het model is gebaseerd op de Penman-Monteith-vergelijking en simuleert ook de waterbeweging in de onverzadigde zone.

De Penman-Monteith-vergelijking beschrijft zowel fysische, fysiologische als aërodynamische aspecten van het verdampingsproces. De vergelijking is enerzijds gebaseerd op de beschikbare hoeveelheid energie en anderzijds op het gedrag van de plant om waterdamp te diffunderen vanuit de huidmondjes naar de atmosfeer. De intensiteit van het diffusieproces

wordt gereguleerd door de huidmondjes. Dit wordt in de Penman-Monteith-vergelijking tot uitdrukking gebracht in de gewasweerstand r_c . Het transport van waterdamp vanaf de plant naar de atmosfeer wordt beïnvloed door de structuur van de vegetatie en de windsnelheid. Dit wordt tot uitdrukking gebracht in de aërodynamische weerstand r_a . De Penman-Monteith-vergelijking ziet er als volgt uit:

$$\lambda E = \frac{s(R_n - G) + \rho c_p D / r_a}{s + \gamma(1 + r_c / r_a)} \quad (3)$$

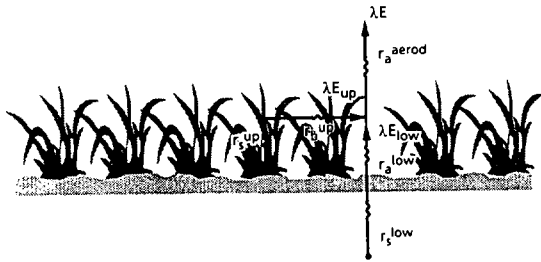
E	=	verdamping	[kg.m ⁻² .s ⁻¹]
λ	=	specifieke verdampingswarmte van water	[J.kg ⁻¹]
R_n	=	netto straling	[W.m ⁻²]
G	=	bodemwarmteflux	[W.m ⁻²]
s	=	helling van de verzadigingsdampdruk-curve	[mbar.K ⁻¹]
γ	=	psychrometer constante	[mbar.K ⁻¹]
ρ	=	dichtheid van lucht	[kg.m ⁻³]
c_p	=	specifieke warmte van lucht	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
D	=	dampdrukdeficiet	[hPa]
r_c	=	gewasweerstand	[s.m ⁻¹]
r_a	=	aërodynamische weerstand	[s.m ⁻¹]

In deze vergelijking wordt de vegetatie beschouwd als één groot blad. De stomatale en aërodynamische weerstanden van de individuele bladeren van de betreffende vegetatie zijn vervangen door een hypothetisch groot blad met een enkele oppervlakte-weerstand of gewasweerstand, r_c , en een enkele aërodynamische weerstand, r_a . Interceptieverdamping wordt beschreven door de r_c gelijk aan nul te stellen. Het eerste deel van de vergelijking wordt de energieterm genoemd, het tweede deel de windterm.

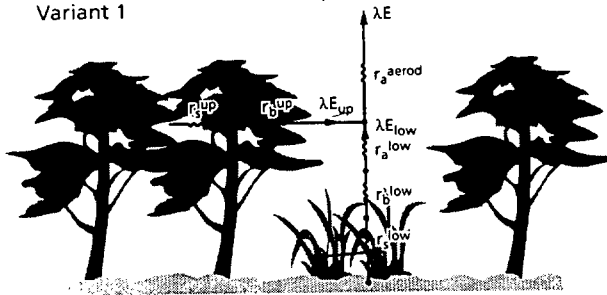
Het model SWAPS is gekalibreerd en gevalideerd aan de hand van de meetgegevens uit de Engbertsdijksvenen (Van Amerongen e.a., 1990; Moors e.a., 1995) en voldeed goed (Spieksma e.a., 1996). Naast berekeningen voor de huidige situatie met een vegetatie van alleen pijpestrootje (variant 0), zijn ook simulaties uitgevoerd voor een tweetal hypothetische varianten. Deze varianten beschrijven twee vormen van kleinschalige heterogeniteit en dienen als voorbeeld voor mogelijke ontwikkelingen van de vegetatie in hoogvenen. Variant 1 betreft een hoogveen, waar (door verdroging) de vegetatie bestaat uit 50 % pijpestrootje en 50 % berken, terwijl variant 2 een vernet hoogveen vertegenwoordigt met een vegetatie van 50 % pijpestrootje en 50 % veenmos. In figuur 1 worden deze varianten schematisch in beeld gebracht.

In figuur 2 wordt het verband tussen de beschikbare energie (= netto straling minus de bodemwarmteflux, $R_n - G$) en de verdamping van verschillende componenten van de vegetatie van variant 1 en 2 weergegeven. Geconstateerd kan worden dat er een sterk lineair verband bestaat tussen de beschikbare energie en de verdamping van een aërodynamisch 'gladde' vegetatie, zoals veenmos. Bij de aërodynamische 'ruwe' berken is deze relatie veel minder sterk. Bovendien laat de verdamping van pijpestrootje een ander verband zien als pijpestrootje gecombineerd voorkomt met veenmos of met berken. In het geval van variant 1 wordt de verdamping van pijpestrootje met name bepaald door de energieterm uit de

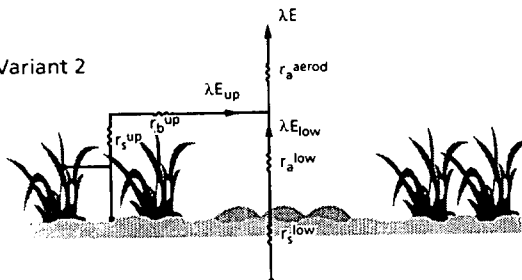
Validation



Variant 1

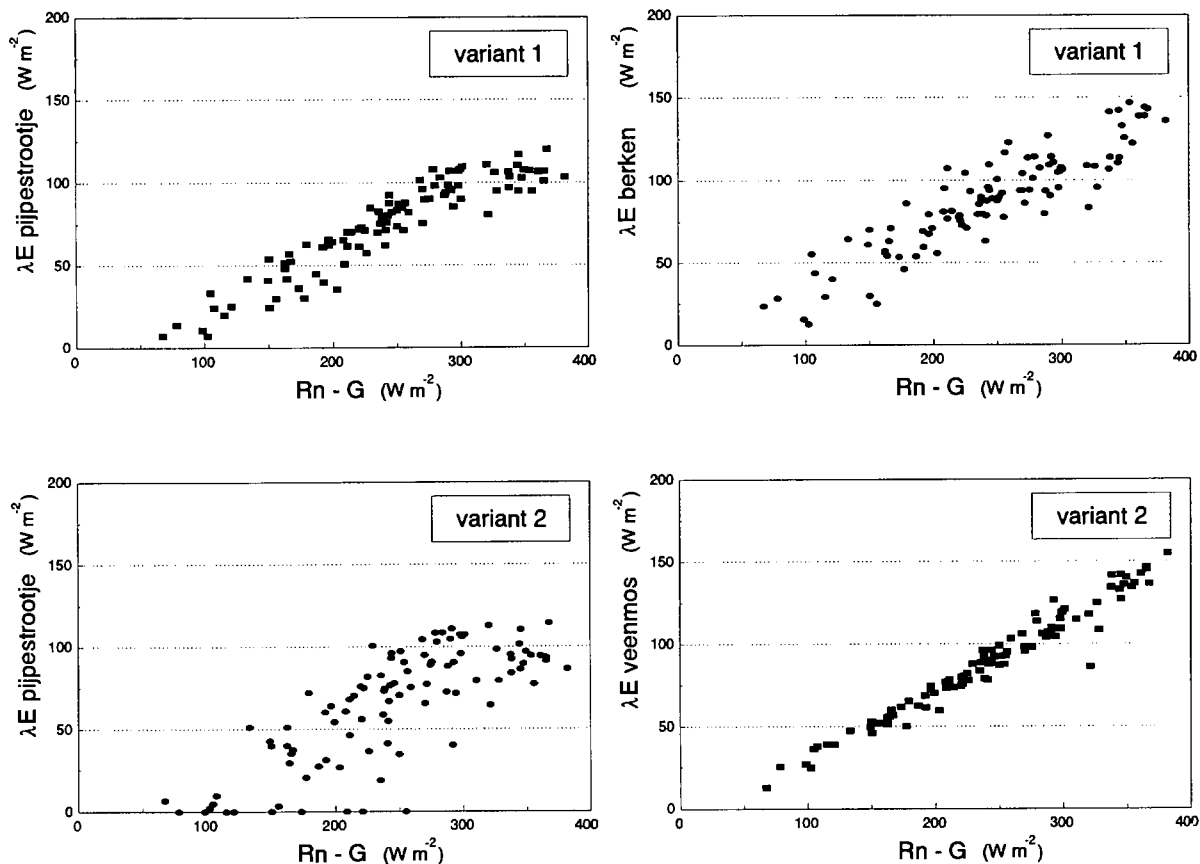


Variant 2



Figuur 1: Schematisch overzicht van de met SWAPS gemodelleerde varianten, alsmede het gebruikte weerstandsschema.

r_s = stomatale weerstand, r_b = grenslaag weerstand, r_a = aërodynamische weerstand, low = de onderste (vegetatie)laag, up = de bovenste (vegetatie)laag; variant 0 (= validation): 100 % pijpestrootje; variant 1: 50 % pijpestrootje, 50 % berken; variant 2: 50 % pijpestrootje, 50 % veenmos



Figuur 2: De relatie tussen de beschikbare energie ($R_n - G$) en de verdamping (λE), gemiddeld per dag, voor de begroeiingen van variant 1 en 2 (zie figuur 1). Ieder datapunt stelt één dag voor, waarbij de globale straling (R_g) > 0.

Penman-Monteith-vergelijking en minder door de windterm (turbulentie). De pijpestrootje-vegetatie wordt als het ware beschermd door de berken. Wanneer pijpestrootje niet beschermd staat, zoals in variant 2, dan speelt de windwerking voor de verdamping wel een belangrijke rol, terwijl nu veenmos beschermd staat.

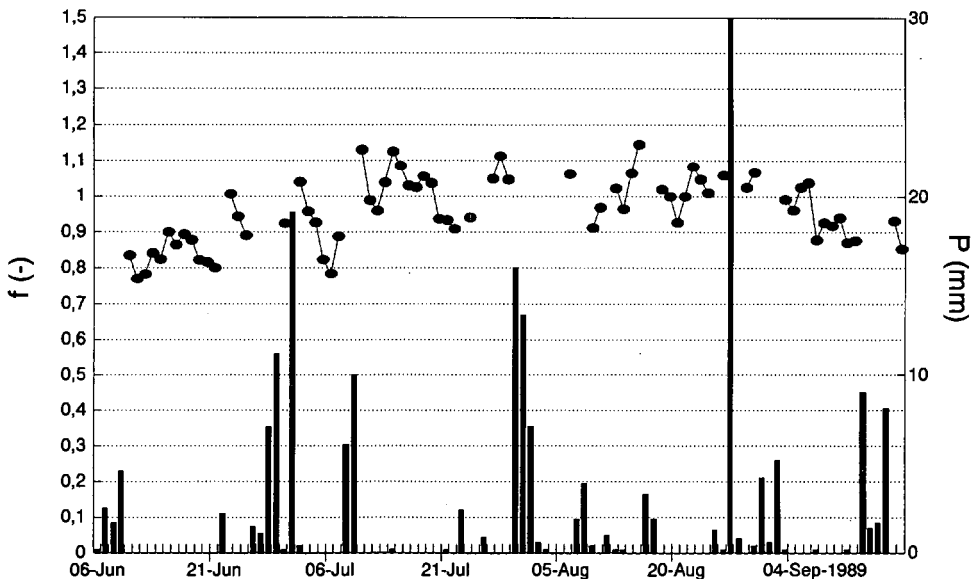
In een open landschap met een korte vegetatie is dus vooral de beschikbare energie de dominerende factor voor de verdamping. Dit in tegenstelling tot heterogene gebieden met een afwisseling van open terrein en struweel of bos. Zulke gebieden hebben een lage aërodynamische weerstand (= hoge ruwheid) waardoor de verdamping voor een belangrijk deel wordt bepaald door de windterm. Vegetaties met een hoge aërodynamische ruwheid hebben bijvoorbeeld vaak een hoog interceptieverlies. Eén en ander heeft gevolgen voor het gebruik van de Makkink-vergelijking. Deze vergelijking is immers gebaseerd op de aanname van een lineair verband tussen verdamping en globale straling en onderscheidt bovendien geen interceptieverdamping. Naarmate de relatie tussen verdamping en beschikbare energie beter is, wordt het gebruik van een op een energiterm (globale straling) gebaseerde verdam-

pingsformule logischer. De toepasbaarheid van de Makkink-vergelijking hangt dus onder andere af van de structuur van de begroeiing en de daarbij behorende aërodynamische ruwheid.

In veel natuurterreinen is sprake van accumulatie van organisch materiaal aan het bodemoppervlak. Zo'n laag zal een deel van het neerslagwater onderscheppen, vasthouden en weer laten verdampen. Daarnaast heeft een strooisellaag grote invloed op de bodemwarmtebalans en de vochthuishouding van de bodem. Dit geldt evenzeer voor mosbegroeiingen waarbij in feite ook accumulatie van organisch materiaal plaatsvindt direct onder de levende toplaag.

In een studie naar de verdamping van een zegge-vegetatie in Canada rapporteert Lafleur (1990), dat de strooisellaag (10 – 15 cm) een effectieve barrière voor bodemverdamping bleek. Lafleur (1990) meldt bovendien dat de strooisellaag steeds droog was, behalve tijdens neerslag. Enkele uren na neerslag was de strooisellaag al weer droog en begon de bodemverdamping af te nemen. Alhoewel de bodem onder de strooisellaag steeds vochtig was, bleef de strooisellaag zelf relatief droog. De effecten van de strooisellaag op bodemverdamping en bodeminterceptie worden echter niet gekwantificeerd in het genoemde onderzoek. Het lijkt echter aannemelijk dat in de zomer de afname van de bodemverdamping als gevolg van een strooisellaag groter is dan de toename van de strooiselinterceptie. Ook in de Engbertsdijksvenen bleef de bodem steeds vochtig terwijl de strooisellaag sterk kon uitdrogen. In gebieden met veel strooiselophoping wordt de verdamping dus sterk beïnvloed door het neerslagpatroon.

Ter illustratie zijn voor de Engbertsdijksvenen gewasfactoren van pijpestrootje afgeleid. Daartoe is de ratio bepaald van de door SWAPS berekende verdamping en de referentie-



Figuur 3: De gewasfactor ($f = E_{SWAPS}/E_{ref}$) van pijpestrootje (variant 0) en de neerslag (P) uitgezet tegen de tijd. Voor dagen met neerslag van meer dan 0,4 mm is geen gewasfactor bepaald.

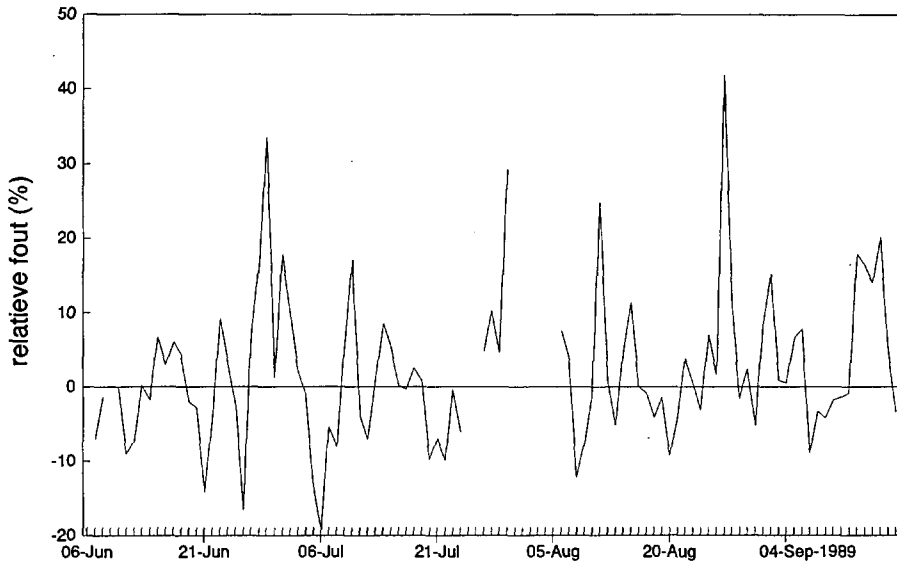
verdamping volgens Makkink. Hierbij wordt verondersteld dat de verdamping van pijpestrootje niet beperkt werd door bodemvochttekorten (potentiële verdamping). De gewasfactoren zijn alleen bepaald voor dagen met een neerslag van minder dan 0,4 mm. Immers, potentiële verdamping is per definitie de verdamping vanaf een droog gewas. Uit figuur 3 is af te leiden dat schommelingen in de gewasfactoren samen lijken te hangen met het neerslagpatroon. Op dagen na neerslag is de gewasfactor meestal hoog waarna de gewasfactor daalt. Dit effect doet zich voor bij 8 van de 11 te onderscheiden neerslagperiodes. Het effect is het duidelijkst zichtbaar na neerslag op 1 en 9 juli en op 22 juni. Wellicht heeft het te maken met een toename van de bodemverdamping na neerslag.

4 De parameterisatie van verdamping in regionale modellen

Voor wat betreft de beschrijving van de verdamping kunnen twee soorten regionale hydrologische modellen onderscheiden worden. In de eerste groep wordt de netto grondwateraanvoer, en daarmee de verdamping, als een gegeven ingevoerd, terwijl in de andere groep de verdamping een variabele is die mede bepaald wordt door waterbeweging in de onverzadigde zone. Bij de tweede groep wordt de verdamping veelal berekend met een Makkink-referentie-verdamping, gewasfactoren en eventueel met een bodemvochtreduktie-functie.

Adekwaat modelleren van grondwateraanvulling is in de eerste soort modellen problematisch omdat verdampingswater niet aan de verzadigde maar aan de onverzadigde zone wordt onttrokken. Omgekeerd geldt hetzelfde: een bui valt, ook na verrekening van de verdamping, niet ineens in de verzadigde zone. Met name in situaties met diepe grondwaterstanden en zogenaamde hangwaterprofielen zullen hierdoor problemen ontstaan. Bij hoge grondwaterstanden is de methode om verdamping gelijk te stellen aan capillaire nalevering ook uiterst discutabel. Verbetering van de parameterisatie van verdamping in natuurterreinen lijkt dus alleen te kunnen plaatsvinden als in de modellen koppelingen worden geïntroduceerd tussen enerzijds verzadigde en onverzadigde zone en anderzijds onverzadigde zone en verdamping.

De momenteel meest geavanceerde parameterisatie van verdamping in de tweede groep modellen maakt gebruik van referentie-verdamping, gewasfactoren en een reductie in verdamping als de hoeveelheid bodemvocht beperkend wordt (bv. in SIMGRO). Ook aan deze benadering kleven bezwaren. Bij de modelstudie met SWAPS bleek namelijk dat bij de inschatting van de verdamping op dagbasis met de Makkink-vergelijking en decade-gewasfactoren fouten in de orde van 10 – 20 % (met uitschieters tot 40%) optreden (figuur 4). Voldoende nauwkeurigheid op een dergelijk kleine tijdschaal kan van belang zijn bij verdrogingsprojecten, bijvoorbeeld voor het verkrijgen van een gedetailleerd beeld van de voorjaarsgrondwaterstand of voor het simuleren van de dagelijkse wateraanvoer in een gebied. Bij het inschatten van de verdamping voor langere perioden (> decaden), bijvoorbeeld ten behoeve van waterbalans-studies, zullen deze fouten lager uitvallen, omdat de fouten dan tegen elkaar worden weggemiddeld. Belangrijke voorwaarde hierbij is wel dat een correcte gewasfactor gebruikt wordt, waarover juist weinig bekend is. Bij de modelstudie van de Engbertsdijksvenen vormde dit geen probleem omdat de gewasfactor met ter plaatse gemeten gegevens is vastgesteld. Als dat niet mogelijk is, vormt dit wel een probleem.



Figuur 4: De relatieve fout, $(E_{\text{SWAPS}} - f \cdot E_{\text{ref}}) / E_{\text{SWAPS}}$, van de verdamping van pijpestrootje (variant 0) uitgezet tegen de tijd. Een positieve relatieve fout betekent een onderschatting van de verdamping door $f \cdot E_{\text{ref}}$. Dagen met neerslag (en dus interceptie) hebben vaak een positieve relatieve fout (vergelijk met figuur 3). De verdamping op zulke dagen is vaak laag waardoor de relatieve fout geen goede maat is voor de absolute fout.

In gevallen waarbij een correcte inschatting van de verdamping op dagbasis noodzakelijk is, is vooral de structuur van de vegetatie alsmede het optreden van kale grondverdamping en interceptieverlies door strooisel belangrijk. Het berekenen van de bodemverdamping met de Makkink-vergelijking is niet erg logisch als neerslag en vochtgehalte in de toplaag sterk bepalend zijn. Bovendien beschrijft de Makkink-vergelijking geen interceptieverdamping. Wellicht kan in de toekomst de Makkink-vergelijking worden aangepast waarbij bodemverdamping en interceptie simpel als aanvulling daarop gemodelleerd worden (Spieksma e. a., 1996). Verdere verfijning in de parameterisaties kan dan worden aangebracht als nieuwe resultaten en inzichten uit experimenteel onderzoek beschikbaar komen.

5 Conclusies en aanbevelingen

In de literatuur is sprake van een grote spreiding in de resultaten van verdampingsonderzoek. Geconcludeerd werd dat dit aangeeft dat de gebruikte berekeningsmethoden de verdamping wellicht nog niet goed beschrijven en dat bepaalde processen over het hoofd worden gezien. Door systematisch, met dezelfde methoden, te meten én te modelleren kan de genoemde spreiding mogelijk verklaard worden. Dit zou bovendien leiden tot een beter inzicht in de processen die ten grondslag liggen aan de uiteenlopende resultaten van de literatuurverkenning.

In dit artikel is gewezen op het belang van de vegetatiestructuur en de strooisellaag voor de verdamping van een natuurterrein. Gebleken is dat in heterogene natuurterreinen de verdamping mede wordt bepaald door de aërodynamische ruwheid van de vegetatie. Hierdoor gaat interceptieverdamping een belangrijke rol spelen. Daarnaast lijkt het erop dat in gebieden met een strooisellaag de verdamping sterk wordt beïnvloed door het neerslagpatroon in de tijd. Gezien de voorspelde verschillen in het verdampingsgedrag bij 'verruwing' of 'vergladding' is het van belang inzicht te krijgen in het aandeel van de verschillende componenten in de energie- en waterbalans. Metingen aan deze componenten zijn een belangrijke voorwaarde om nauwkeurige verdampingsmodellen toe te passen op de heterogene vegetaties van natuurterreinen.

Nieuw onderzoek naar de verdamping van natuurterreinen zal zich moeten richten op het systematisch in beeld brengen van de belangrijkste processen bij de verdamping van natuurterreinen. Hierbij valt te denken aan de hier besproken rol van *aërodynamische ruwheid, de strooisellaag en interceptie*. Ook de rol van open water verdient aandacht. Tegelijkertijd moet voldoende 'vegetatie'-dekkend gemeten worden. Dergelijk onderzoek zal de kennis van de verdampingsparameters van natuurterreinen vergroten. Er is bijvoorbeeld behoefte aan kennis van de grootte en spreiding van aërodynamische en oppervlakte-weerstanden die nodig zijn bij het gebruik van de Penman-Monteith-vergelijking. Een in dit artikel niet behandeld onderwerp is de onbekendheid van de verdamping in de winter. Dit kan een probleem vormen bij het voorspellen van voorjaarsgrondwaterstanden en het opstellen van waterbalansen. Het verdient dan ook aanbeveling een meetprogramma gedurende de winter uit te voeren. Een modelmatige interpretatie van de metingen moet extrapolatie naar andere gebieden mogelijk maken.

Literatuur

- Ad Hoc Groep Verdamping (1984)** Herziening van de berekening van de gewasverdamping in het hydrologisch model GELGAM; Begeleidingsgroep GELGAM, Provincie Gelderland, Dienst Waterbeheer, Arnhem.
- Ashby, M., A.J. Dolman, P. Kabat, E.J. Moors en M.J. Ogink-Hendriks (1996)** SWAPS version 1.0, Technical Reference Manual; Technical Document 42, DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Dolman, A.J., E.J. Moors, J.A. Elbers en W. Snijders (1996)** De waterbalans van grove den op de Veluwe in 1995; in: *H₂O*, nr 29, pag 467-468.
- Gehrels, J.C. en A.J. Dolman (1996)** Veluwe-modelberekeningen op basis van nieuwe bosverdampingsgegevens; in: *H₂O*, nr 25, pag 753 + pag 746.
- Lafleur, P.M. (1990)** Evapotranspiration from sedge-dominated wetland surfaces; in: *Aquatic Botany*, nr 37, pag 341-353.
- Makkink, G.F. (1957)** Testing the Penman formula by means of lysimeters; in: *Journal Int. of Water England*, nr 11, pag 277-288.
- Moors, E.J., J.N.M. Stricker en G.B. Van den Abeele (1995)** Evapotranspiration of cutover bog covered by *Molinia Caerulea*; Concept report, Vakgroep Waterhuishouding, Landbouwniversiteit Wageningen.

Spieksma, J.F.M., A.J. Dolman en J.M. Schouwenaars (1996) De parameterisatie van de verdamping van natuurterreinen in hydrologische modellen; Nationaal Onderzoeksprogramma Verdroging, rapport 4-2.

Van Amerongen, F., R. Dijkma en J.M. Schouwenaars (1990) Hydrologisch onderzoek in het hoogveengebied De Engbertsdijkvenen; rapport 10, Vakgroep Hydrologie, Bodemnatuurkunde en Hydraulica, Landbouwniversiteit Wageningen.