



duin



- ★ **Wulpen**
- ★ **Vogeltrek**
- ★ **Westlandse duinen**

INDEX '81-'83

Duininfiltratie: invloed op de concentratie van opgeloste voedingsstoffen

door H.W.J. VAN DIJK

Bij duininfiltratie worden grote hoeveelheden voedingsstoffen (nutriënten) in het duin gebracht. De nutriëntenrijkdom wordt duidelijk weerspiegeld in de verruiging van de vegetatie op de oevers van infiltratieplassen. De invloed blijft niet tot de infiltratieplassen beperkt.

Oorspronkelijk veronderstelde men dat er in de kwelgebieden, waar het infiltratiewater een lange verblijftijd heeft, bovenop het afstromende infiltratiewater een laag van neerslagwater gevormd zou worden. Het oecosysteem van kwelmoerassen en -plassen zou daarom niet door het infiltratiewater worden beïnvloed. LONDO (1975) en VAN DER WERF (1974) toonden echter aan dat ook deze biotopen tot zeer ver vanaf de infiltratieplassen, sterke verruiging van de vegetaties vertoonden, een reden om te twijfelen aan de ongestoordheid van het bovenste grondwater ter plaatse. Het hier beschreven onderzoek is verricht om na te gaan in hoeverre de hypothese van de "regenwaterlens" in kwelgebieden in geïnfiltreerde duingebieden opgaat en of er makronutriënten* vanuit de infiltratieplassen via het grondwater in kwelplassen en -moerassen terecht kunnen komen. Het onderzoek beperkte zich oorspronkelijk tot Meijndel, later is het uitgebreid tot Berkheide en de Luchterduinen (Amsterdamse Waterleidingduinen).

GRONDWATERONDERZOEK IN MEIJNDEL

In Meijndel zijn drie proefgebieden uitgezocht. De gemiddelde horizontale afstromingsnelheid van het bovenste grondwater bedroeg in deze gebieden 0,03, 0,1 resp. 0,3 m/dag. Deze snelheden liggen tussen de natuurlijke (lagere) waarden en

de hoge stroomsnelheden van infiltratieplassen naar nabije winningsmiddelen. Van het grondwater werd de bovenste 2,5 meter bemonsterd met intervallen van 0,5 m (per meetpunt dus 5 diepten).

De gepresenteerde analyses betreffen de tracerstoffen chloride en kalium en de makronutriënten* orthofosfaat, nitraat en kalium; de laatste is tevens als tracerstof gebruikt. De resultaten hebben betrekking op bemonsteringen en analyses tussen juli 1977 en juli 1978, ruim één jaar nadat de Duinwaterleiding van Lekwater op Andelse Maaswater met o.a. lagere fosfaatgehalten was overgestapt. De monitoringen hadden maandelijks plaats en de analyseresultaten zijn tot jaargemiddelden omgerekend.

Het aandeel van infiltratiewater in het grondwater.

Van de drie geselecteerde 'tracers' is de concentratie in het infiltratiewater veel hoger dan in het neerslagwater. Het effect van biogene en bodemchemische processen op de tracerconcentratie wordt verder verwaarloosbaar geacht. Doordat de tracerconcentratie in het infiltratiewater tijdens de bodempenetratie bekend is, kan in combinatie met de neerslagconcentratie, afstand en snelheid van afstroming per bemonstering de relatieve menging van het grondwater met infiltratiewater worden berekend. Het chloride-gehalte blijkt door de invloed van sea spray alleen meer landinwaarts te gebruiken. Het verwachte verloop van de tracer-

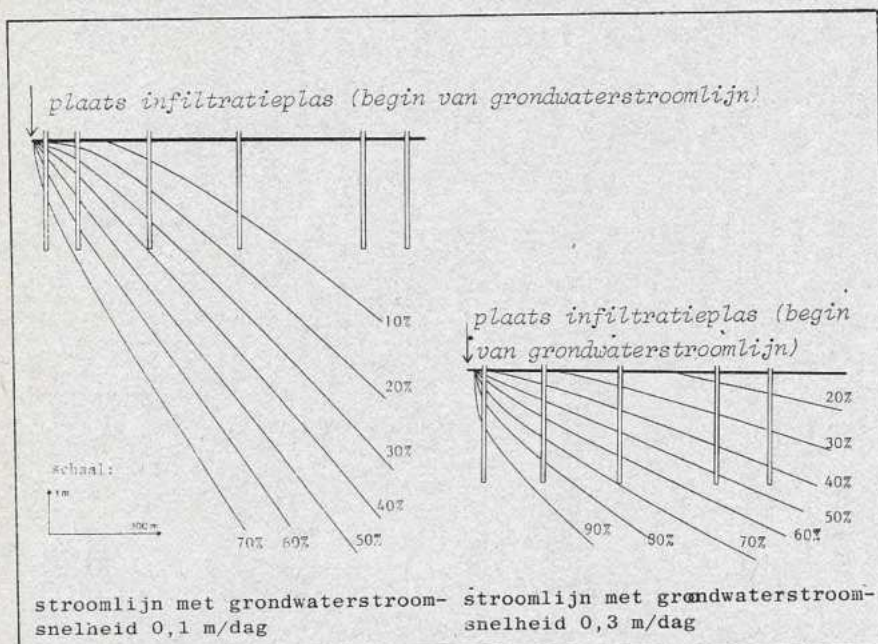
In een vorig artikel (Duin 1983 nr. 3) werd de invloed van duininfiltratie op de balans van de belangrijkste voedingsstoffen beschreven.

In dit artikel wordt een onderzoek gepresenteerd naar kwaliteitsveranderingen van het afstromende infiltratiewater in kwelgebieden.

Drs. H.W.J. van Dijk is medewerker bij de onderzoeksgroep Milieubiologie van de Rijksuniversiteit te Leiden

concentratie is weergegeven in fig. 1. Slechts in 2 van de 18 onderzochte punten leek er sprake te zijn van een zwakke onwikkeling van een regenwaterlens, waarbij de concentraties in het grondwater binnen 2 meter onder de grondwaterspiegel met de diepte toenamen van het niveau van neerslagwater tot dat van infiltratiewater. In de andere punten blijkt sterke menging van de bovenste grondwaterlagen op te treden, veel sterker dan op grond van de dispersiecoëfficiënt van zuiver duinzand verwacht zou mogen worden. DE GROOT (in prep.) gaat ervan uit dat vrij grootschalige onregelmatigheden in de duinbodem, zoals overstoven veenlagen, wortelstelsels van struiken e.d. een vrijwel volledige menging van de bovenste 2,5 meter grondwater bewerkstelligen. Uit de grondwateranalyse blijkt wel duidelijk dat het gemiddelde aandeel van het infiltratiewater in de bovenste 2,5 meter afneemt met toenemende verblijftijd van het grondwater. Met andere woorden: hoe lager de afstromingsnelheid en hoe groter de afstand tot infiltratieplassen des te minder infiltratiewater wordt gevonden in de bo-

*) makronutriënten zijn voedingsstoffen die de planten in grote hoeveelheden opnemen.



figuur 1
Verwachte menging van neerslag- en infiltratiewater. Aangegeven is het percentage infiltratiewater in het grondwater berekend uitgaande van transversale dispersie met $\lambda_T = 0,05$
(naar : DE GROOP, in prep)

venste 2,5 meter (zie fig. 2).

makronutriënten in het grondwater

Het gedrag van de makronutriënten in het grondwater zal afwijken van het gedrag van de tracers. Bij de tracers is het vrijwel uitsluitend de verdunning met neerslagwater die de verandering ten opzichte van de inputwaarde bepaalt. Bij de makronutriënten zijn bovendien andere (biologische en fysisch-chemische) mechanismen van belang.

stikstof

In de bovenste 2,5 meter grondwater bleek steeds meer dan 95% van de totale hoeveelheid minerale stikstof uit nitraat te bestaan. De waarnemingen lijken erop te wijzen, dat het door het infiltratiewater aangevoerde nitraat binnen 100 meter van de infiltratieplas grotendeels verdwenen is. Te denken valt hierbij aan denitrifikatie onder invloed van de aanwezigheid van makkelijk oxideerbaar organisch materiaal in doorstroomde veen of in het toegevoerde water. Plaatselijk zijn echter tot honderden meters vanaf infiltratieplassen concentraties aangetoond die significant (=beduidend) hoger zijn dan die in het aangevoerde infiltratiewater.

Een eenduidige verklaring hiervoor is niet voorhanden. Mogelijk zijn biologische bronnen zoals meeuwenkolonies en struwelen van stikstofbindende Duindoorns hier van belang.

fosfaat

In het grondwater werd alleen de concentratie vrij orthofosfaat bepaald. Dit komt vrijwel overeen met het totaal gehalte van fosfaat. Evenmin als de nitraatconcentraties vertonen de orthofosfaatconcentraties een gradiënt zoals gevonden voor de tracers, een met de afstand tot de infiltratieplassen dalende gemiddelde concentratie in de bovenste 2,5 meter grondwater. De spreiding in de afzonderlijke fosfaatwaarden van de bovenste 2,5 meter is echter zo groot dat er nauwelijks significante afwijkingen van de verwachting op grond van alleen verdunning met neerslagwater kan worden aangetoond. Deze spreiding wordt vooral veroorzaakt door hoge piekwaarden in voorjaar en zomer.

Volgens de tracers niet door infiltratiewater beïnvloede plaatsen vertonen jaargemiddelde fosfaatgehalten van 0,03 tot 0,16 mg PO_4^{3-}/l . Het met

infiltratiewater gemengde grondwater vertoonde plaatselijk (namelijk dichtbij de infiltratieoever in de twee stroomlijnen met de snelste afstroming) hogere jaargemiddelde concentraties dan de concentratie in het oorspronkelijke infiltratiewater die tot 0,32 mg PO_4^{3-}/l gemiddeld per jaar bedroeg. Dit laatste verschijnsel wordt geweten aan mobilisatie van fosfaationen vanuit de bodem naar het door verbeterde voorzuivering veel fosfaatarmere geworden infiltratiewater.

Intensief onderzoek naar eventuele relaties van de periodieke fosfaatpieken met zuurstof, temperatuur, peilfluctuaties en ijzerhuishouding door de Onderzoeksgroep Milieubiologie leverde geen nadere verklaring op. Biologische activiteit lijkt hier een waarschijnlijke verklaring te bieden (G.C. JANZE, mond.med.).

HET OPPERVLAKTEWATER IN KWELGEBIEDEN

Omdat in Meijndel het transport van met name het fosfaat door de vaak lage concentraties moeilijk kwantificeerbaar was, is het onderzoek uitgebreid tot de kwelplassen van Berkheide en de Luchterduinen. Vooral in Berkheide werd een sterker nutriëntentransport verondersteld, vanwege de intensieve vervuilingstoestand van de kwelplassen. Door praktische beperkingen betrof het onderzoekproject in de drie infiltratiegebieden alleen het oppervlaktewater van infiltratie- en kwelplassen en niet het grondwater.

In Berkheide en Luchterduinen liggen de meeste kwelplassen, in tegenstelling tot Meijndel tussen infiltratieplassen en nabije winningsmiddelen. Het gevolg is dat de grondwaterstroming in deze beide gebieden op veel plaatsen sneller verloopt dan in Meijndel. Bij een gekozen maximale diepte van de kwelplassen van 1,5 meter mag worden verwacht dat alle toestromende grondwater de bovenste 2,5 meter betreft die volgens het traceronderzoek van het grondwater in Meijndel sterk gemengd infiltratie- en neerslagwater bevat.

In de Luchterduinen, Berkheide en Meijndel werden 8, 23 resp. 12 kwelplassen met zeer verschil-

lende afstromingssnelheden van het grondwater geselecteerd. Bovendien werden 2, 7 resp. 5 infiltratieplassen bemonsterd bij het begin van de bestudeerde stroomlijnen. Deze kwelplassen en infiltratieplassen werden maandelijks gedurende minimaal één jaar bemonsterd. Sommige werden 2 tot 5 jaar lang maandelijks gemonsterd. De chemische analyse van de watermonsters betrof onder andere kalium, nitraat en orthofosfaat. De meeste gepresenteerde analyseresultaten betreffen bemonsteringen gedurende één jaar tussen 1976 en 1978. De resultaten zijn hier als jaargemiddelde concentraties weergegeven. In figuur 3 wordt een bewerking van deze resultaten weergegeven. Hierin zijn de kwelplassen per studiegebied volgens klassen van grondwatersnelheid en van afstand tot de nabije infiltratieplas gegroepeerd. Per groep

van het infiltratiewater weergegeven. In de Luchterduinen werd de voorzuivering van het infiltratiewater in 1974, in Meijndel in 1976 sterk verbeterd.

Kalium

Tot ruim 300 meter vanaf de infiltratieplassen bevatten de kwelplassen in Berkheide en Meijndel onnatuurlijk veel kalium (referentie: BAKKER & VAN DIJK, 1983; VAN DIJK & MELTZER, 1981). Zoals uit de resultaten van het grondwateronderzoek in Meijndel te verwachten is, worden de natuurlijke waarden minder overschreden naarmate het grondwater in de kwelgebieden langzamer afstroomt en naarmate de afstand tot de voedende infiltratieplas groter is.

Nitraat

De nitraatconcentratie geeft

van afnemende concentratie bij toenemende afstand tot de infiltratieplassen kan worden aangetoond.

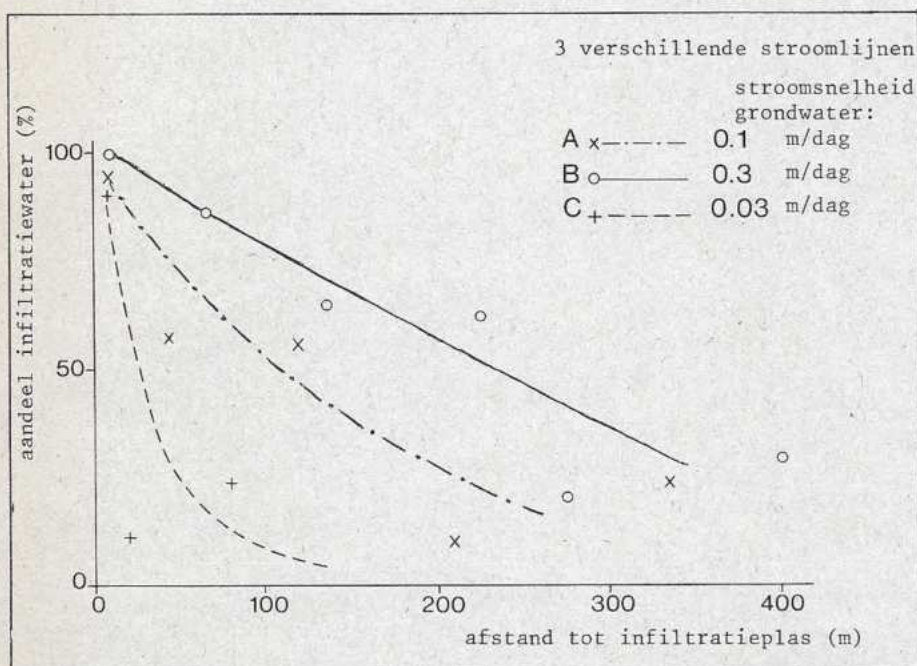
Het niet voorkomen van deze gradiënt in Berkheide en Meijndel geeft aan dat hier het verdunningsproces overheerst wordt door andere fysisch-chemische of biologische processen. Bij de stikstofzouten zullen vooral biologische processen als denitrifikatie en absorptie die de nitraatconcentratie verlagen, een rol spelen. Deze processen kunnen echter niet verhinderen dat in het algemeen ook in Meijndel en Berkheide de natuurlijke nitraatconcentraties worden overschreden.

In de meeste kwelplassen die gedurende 5 jaar zijn bemonsterd (alle in Meijndel), kwamen in de loop van de tijd sterke stijgingen van het nitraatgehalte voor. Zo werden zelfs stijgingen van opeenvolgende jaargemiddelde concentraties tot ruim 300% waargenomen.

diskussie

Wat betreft het gedrag van minerale stikstof in het grondwater bij duininfiltratie vermelden DE GROOT & STEENKAMP (1979) dat in de loop van 20 jaar in alle infiltratiegebieden het gewonnen water sterke stijgingen van het stikstofgehalte vertoont, stijgingen tot honderden procenten die veel sterker zijn dan die in het ingebrachte water. Ook in kortdurend onderzoek van kwelplassen in Meijndel (maximaal 6 jaar) werd voor de meeste plassen een duidelijke trend van stijgende nitraatgehalten waargenomen (VAN DIJK, 1982).

Een verklaring voor beide waarnemingen kan zijn vermindering van de denitrifikatie in het grondwater door het verminderen van noodzakelijke bronnen van organische stof. Hierbij zijn twee mogelijke oorzaken aan te wijzen, ten eerste het "opraken" van de gemakkelijk oxideerbare frakcie van doorstroomd veen en ten tweede vermindering van de concentratie organische stof in het aangevoerde infiltratiewater door verbeterde voorzuivering. Een heel andere verklaring kan, althans voor de verhoogde stikstofconcentraties in het kwelplassewater, zijn de toename van de natuurlijke stikstofbronnen. Twee mogelijke stikstofbronnen zijn in Meijndel de afgelopen jaren duidelijk toegenomen. De Zilvermeeuwenkolonie (WANDERS, 1982) en stru-



Figuur 2. Berekende menging van neerslag- en infiltratiewater bij verschillende snelheden van het grondwater en verschillende afstanden tot infiltratieplassen. Aangegeven is het gemiddelde percentage infiltratiewater in de bovenste 2½ m grondwater, uitgaande van kalium als tracer (bron: VAN DIJK, in prep.)

kwelplassen zijn in deze figuur de afzonderlijke jaargemiddelde concentraties gemiddeld. In dezelfde figuur zijn ter referentie ook de jaargemiddelde concentraties in de nabije ("voedende") infiltratieplassen in hetzelfde jaar en in het jaar

aande voorzuivering

een goed beeld van de trends van het totale stikstofgehalte in de kwelplassen, hoewel in het oppervlaktewater het nitraat de minerale stikstofzouten minder domineert dan in het grondwater.

De hoogste nitraatgehalten zijn in de Luchterduinen waargenomen. Dit is tegelijk het enige gebied waar een gradiënt

welen van stikstofbindende Duindoorn.

Onderzoek (VAN OPZEELAND 1983) kon echter de veronderstelling van afgifte van stikstof door Duindoornstruweel aan het bovenste grondwater niet onderbouwen.

Er kan derhalve geen eenduidige verklaring worden gegeven voor de in de Luchterduinen veel hogere nitraatkonzentraties in de kwelplassen dan in beide andere gebieden. Het feit dat in de Luchterduinen het ingelaten water het meeste nitraat bevat, is waarschijnlijk mede-oorzaak. Daarnaast kan mede een rol spelen dat in dit gebied het langst de organische stoffen in het inlaatwater zeer effectief zijn verwijderd, hetgeen mogelijk negatief uitwerkt op de denitrifikatie in de bodem.

Orthofosfaat

Het orthofosfaat geeft door het ontbreken van intensieve algenbloeien een goede af-

spiegeling van het totale fosforgehalte in de kwelplassen. De gehalten vrij orthofosfaat zijn in de kwelplassen van Berkheide verreweg het hoogst, in de kwelplassen van Meijndel het laagst. In Meijndel zijn de fosfaatconcentraties zelfs niet hoger dan de door VAN DIJK & MELTZER (1981) en BAKKER & VAN DIJK (1983) aangegeven waarden voor niet-geïnfiltrerde duingebieden.

De verwachting van een hogere concentratie dicht bij de infiltratieplassen gaat in Meijndel niet op.

Voor beide andere gebieden is echter wel volgens verwachting een significant negatief verband tussen afstand en concentratie gevonden. In Berkheide is de afname van de concentratie met de afstand sterker dan verwacht op grond van alleen verdunning. Adsorptie aan de bodem en in mindere mate absorptie door de ve-

getatie kunnen hier een verklaring bieden voor de extra afname tijdens de afstroming.

In dit kader is een aanvullend gegeven dat in Berkheide tussen 1976 en 1978 in een groot aantal kwelplassen op 100 tot 300 meter vanaf de infiltratieplassen zeer sterke toenames van de orthofosfaatconcentratie konden worden geconstateerd, terwijl de dicht bij de infiltratieplassen gelegen kwelplassen een tamelijk konstante en zeer hoge concentratie vertoonden. Genoemde toenames in de ordegruotte tot honderden procenten vonden bij langzame afstroming tussen 100 en 200, bij snelle afstroming tussen 200 en 300 meter vanaf de voedende infiltratieplassen plaats. De gradiënt van de fosfaatconcentratie met de afstand tot de infiltratieplassen werd hierbij afgezwakt (zie fig. 4).

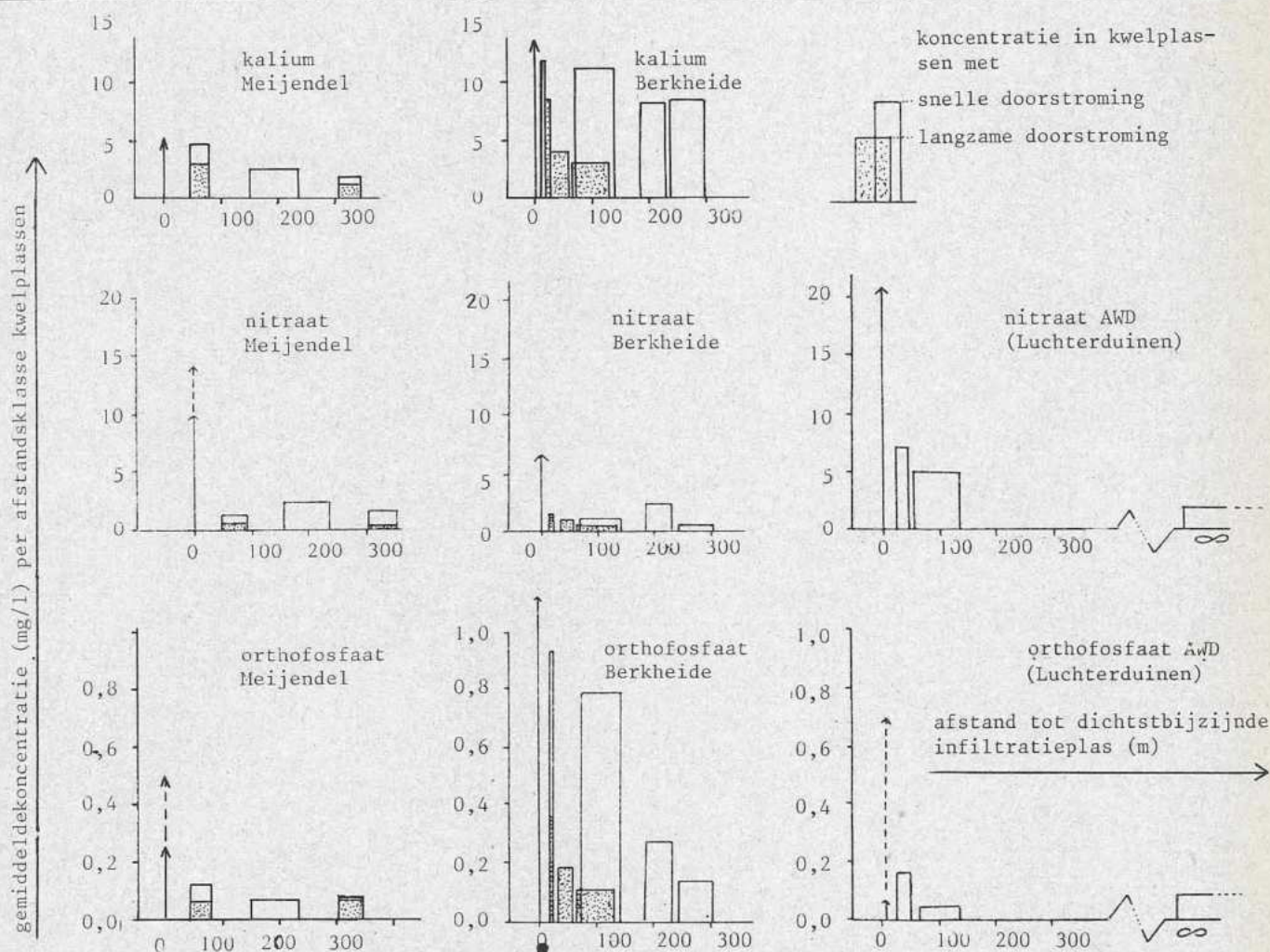


Fig. 3: Het verloop van de kalium-, nitraat- en orthofosfaatconcentratie in kwelplassen bij toenemende afstand tot infiltratieplassen. De pijl geeft de concentratie in de infiltratieplas na voorzuivering, de gestippelde pijl vóór voorzuivering.

Diskussie

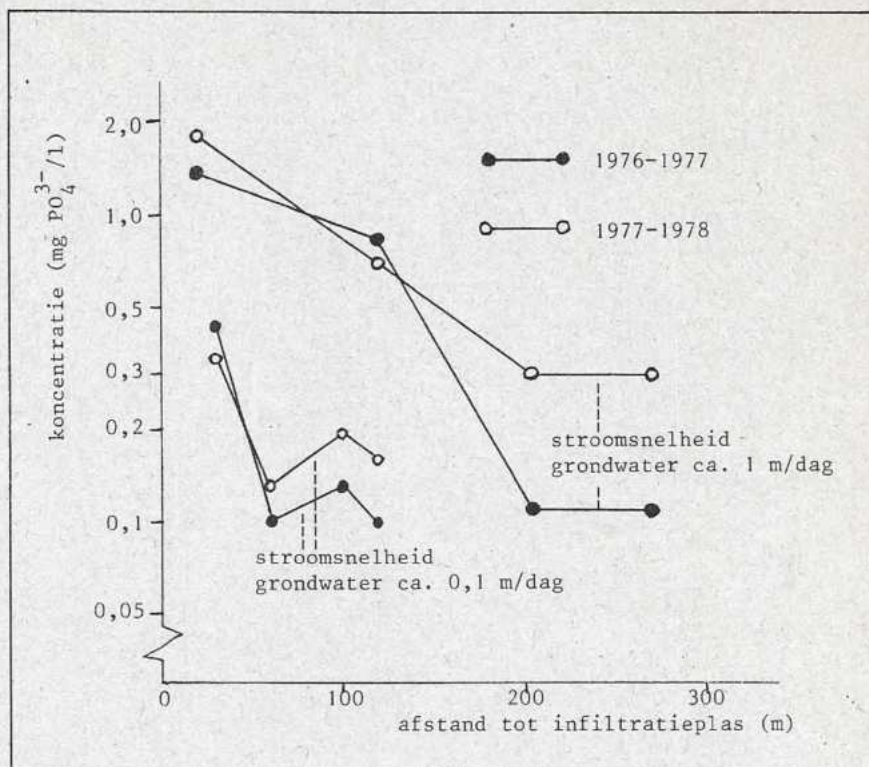
Een verklaring van bovengenoemde snelle stijgingen van de fosfaatconcentratie kan gezocht worden in een in het gebied voortschrijdende verzadiging van bindingsplaatsen voor fosfaat. Deze verzadiging zou gedurende het onderzoek bij langzame afstroming tot 100 à 200 meter, bij snelle afstroming tot 200 à 300 meter zijn opgetreden en daar dan via een verhoogde mobilisatie van bodemgebonden fosfaat een toename van het fosfaataanbod aan de kwelplassen hebben veroorzaakt. Indien deze verklaring juist is zal op den duur de oorspronkelijke geprooncedeerde gradiënt van fosfaatrijk naar fosfaat-"arm" vrijwel geheel verdwijnen bij snelle afstroming.

Bij zeer langzame afstroming echter zal een gradiënt ook na lange tijd waarschijnlijk in stand blijven door verdunning met regenwater.

In Berkheide zijn de fosfaatwaarden het hoogst. Dit kan mede verklaard worden door het vrijwel ontbreken van veenlagen in het relatief dunne watervoerend pakket van Berkheide (ref. DE GROOT, 1981). Eerder is de relatief zeer intensieve vegetatieverruiging op de kwelplasoeveren in Berkheide gekoppeld aan het vermoeden van een ten opzichte van de andere studiegebieden groot nutriënttransport. Uit het voorgaande blijkt vooral het hoge fosfaatgehalte onderscheidend ten opzichte van de minder verruigde gebieden. Indien het fosfaataanbod bij duininfiltratie inderdaad als verondersteld door VAN DIJK & JANSSEN (1980) de belangrijkste causale faktor voor de vegetatieverruiging vormt, dan moet de extreme ruigtetoestand in Berkheide dus voornamelijk geweten worden aan het hier toevallig ontbreken van veen in het watervoerend pakket. Het feit dat hier de fosfaatconcentratie in het aangevoerde water verreweg het hoogste is en het feit dat de stroomsnelheid van het grondwater in de kwelgebieden vaak erg hoog is, zijn voor de huidige vegetatie mogelijk van minder belang.

DE ONDERLINGE RELATIE TUSSEN DE VOEDINGSSTOFFEN

Behalve voor de nitraat- en fosfaatconcentraties op zichzelf is de duininfiltratie van belang voor de zogenaamde



Figuur 4

Jaargemiddelde orthofosfaatconcentratie in kwelplassen in Berkheide in relatie tot de afstand tot infiltratieplassen gedurende twee opeenvolgende jaren.

N:P-ratio van het kwelplaswater. Deze ratio, het quotiënt van de minerale stikstof en het orthofosfaat, is van belang om aan te geven welk nutriënt groeibeperkend optreedt. Bij een ratio hoger dan 16 tot 20 is fosfaat, beneden deze waarde is stikstof beperkend voor de groei van fyto plankton (o.a. SCHMIDT-VAN DORP, 1978). Opvallend was dat de N:P-ratio in de kwelplassen van Luchterduinen en Meijendel, waar fosfaat beperkend is in het ingelaten water, sterk verhoogd is ten opzichte van het inlaatwater. In Berkheide is de N:P-ratio van de kwelplassen juist veel lager dan in de infiltratieplassen. Met andere woorden: in de kwelgebieden wordt de bestaande nutriëntbeperking in het toestromende water erg versterkt.

Vanuit de N:P-ratio is ook te verklaren waarom de verwachte gradiënt van afnemende nutriëntconcentratie met toenemende afstand tot de infiltratieplassen in Berkheide voor fosfaat en in de Luchterduinen voor nitraat wordt gevonden. In Berkheide is het stikstof overduidelijk groeibeperkend ten opzichte van fosfaat, in de Luchterduinen is juist het fos-

faat het meest groeibeperkend van alle drie studiegebieden. Deze beperkende nutriënten zullen door vegetatie en plankton tot een "uitputtingsniveau" worden geabsorbeerd, waardoor oorspronkelijke gradiënten voor de meest beperkende nutriënten teniet worden gedaan. Een gradiënt van de met de afstand afnemende concentratie van inerte tracerstoffen wordt zo slechts teruggevonden voor die nutriënten die niet of nauwelijks beperkend zijn en niet reageren met de bodem.

NATUURBEHEER

Uit het voorgaande mag worden afgeleid dat verlaging van de fosfaatconcentratie in het ingebrachte water betere mogelijkheden lijkt te bieden voor terugdringing van de vegetatieverruiging dan verlaging van de stikstof- of kaliumconcentratie in het aangevoerde water. Voor stikstof lijken natuurlijke bronnen in het duingebied te bestaan die zelfs bij ongezuiverd infiltratiewater de infiltratie-invallood domineren, terwijl het kalium minder groeibeperkend is dan fosfaat en stikstof.

Een gelukkig toeval is hierbij dat de fosfaatconcentratie technisch het makkelijkst omlaag te brengen is. Deze vorm van voorzuivering wordt door de meeste duinwaterleidingbedrijven dan ook nu al toegepast om overmatige algengroei in de infiltratiebekkens tegen te gaan. Defosfatering is technisch zelfs mogelijk tot beneden de natuurlijke evenwichtskoncentratie van het duingrondwater in Meijndel (0,02 tot 0,03 mgP.P.O.₄³⁻/l volgens VAN OOSTERHOUD et al., 1982). Waarnemingen na sterke verlaging van het fosfaatgehalte in het aangevoerde water tussen infiltratieplas en winningsmiddelen tonen inmiddels aan dat in zuiver duinzand deze verlaging van de inputconcentratie snel resulteert in een verlaging van de grondwaterconcentratie (VAN DIJK 1982).

Het is echter moeilijk om de nalevering van de in veen geakkumuleerde fosfaten qua hoeveelheid en tijdsverloop te voorspellen. Als het fosfaatgehalte tot beneden de natuurlijke waarde van 0,02 mg P.P.O.₄³⁻/l wordt gereduceerd in infiltratieplassen en kwelgebieden, dan blijft bij oppervlakkige infiltratie de stroomsnelheid van het grondwater onnatuurlijk hoog. VAN DIJK & JANSSEN (1980) en LONDO (1978) vermelden dat de belasting, het produkt van stroomsnelheid en nutriëntconcentratie van het grondwater veel meer bepalend is voor de vegetatieverruiging dan de nutriëntconcentratie alleen.

Oppervlakkige duininfiltratie zal daarom zelfs bij de sterkste voorzuivering van het infiltratiewater voedselminnende (ruigte)soorten blijven bevorderen ten opzichte van de soorten van de authentieke, rijke duinvalleivegetaties.

Op de oevers van de infiltratieplassen zal het effect voor de vegetatie waarschijnlijk hooguit bestaan uit het geleidelijk terugdringen van de meest extreme ruigte-soorten als Grote Brandnetel, Harig Wilgenroosje en Koninginnekruid ten gunste van minder extreme ruigtekruiden zoals Duinriet en Wolfspoot.

De effecten voor de kwelplassen vereisen nog nader onderzoek.

DANKWOORD

Voor de totstandkoming van dit artikel en het onderbouwen van de rapport (VAN DIJK, 1982) is dank verschuldigd aan een groot aantal instanties en personen dat meedacht en meewerkte. Van de instanties wil ik noemen Duinwaterleiding van 's-Gravenhage, Gemeentewaterleidingen van Amsterdam, Leidse Duinwatermij. en Hugo de Vries Laboratorium, Afdeling Vegetatiekunde en Plantenecologie te Amsterdam voor hun praktische medewerking.

Bij de eerste opzet en plaatskeuze van het grondwateronderzoek in Meijndel dachten Ir. P. Dofferhoff en Ir. H. Tuinzaad mee. Van de Afdeling Milieubiologie (R.U.L.) in Leiden is dank verschuldigd aan Marja van Hezewijk, Dignus de Jonge, Guido Janze, Rob Joostensz van IJsseldijk, Gerrit van Ommering, Suze Osseman, Piet Otte, Peter van 't Sant, Hans van der Weijer en Simon van der Zwan; zij verzamelden veel gegevens die in dit artikel verwerkt zijn. Wouter de Groot was behulpzaam bij de verwerking van gegevens en de interpretatie van de resultaten terwijl Theo Bakker en Tom Hakbijl de concepten kritisch doornamen.

LITERATUUR

- BAKKER, T.W.M., 1981. Nederlandse kustduinen; Geohydrologie. Diss., Wageningen.
- BAKKER, T.W.M. & H.W.J. VAN DIJK, 1983. Duininfiltratie: invloed op de voedingsstoffenbalans. Duin 6 (3): 26-31.
- DIJK, H.W.J. VAN, 1982. Invloeden van waterwinning door duinfinfiltratie op de vegetatie. Rapport Afdeling Milieubiologie. Rijksuniversiteit Leiden.*
- DIJK, H.W.J. VAN, i.p. Eutrophication of a coastal dune biotope by infiltration with river water (hiervan vormt een Nederlandstalige versie hoofdstuk 2 in de conceptdissertatie "Invloeden van oppervlakteinfiltratie ten behoeve van duinwaterwinning op kruidenvegetaties").

- DIJK, H.W.J. VAN & M. JANSSEN, 1980. Eutrofiëring van oevervegetaties in geïnfiltreerde duinen. Duin 3(4): 11-20.
- DIJK, H.W.J. VAN, & J.A. MELTZER, 1981. Hydrobiologie van natuurlijke duinmeren: een commentaar. H2O 14(23): 564-567.
- GROOT, W.T. DE, 1981. Het gedrag van fosfaat bij duininfiltratie. H2O 14(7): 152-158.
- GROOT, W.T. DE (in prep.). The causal background of the mixing phenomenon. Annex 3 in VAN DIJK (in prep.).
- GROOT, W.T. DE, & F.E.M. STEENKAMP, 1979. Nutriëntbelasting van infiltratiegebieden. In: Waterwinning in de duinen; aantasting en regeneratiemogelijkheden van het abiotische milieu. Centrum voor Milieukunde, Leiden.
- LONDO, G. 1975. Infiltreren is nivelleren. De Levende Natuur 78: 74-79.
- LONDO, G. 1978. Een instructieve heemtuin op natuurlijke basis. In: Vijftig jaar in Thijssse's hof. Thieme, Zutphen.
- OOSTERHOUD, E. VAN, G.C. JANZE, W.T. DE GROOT & H.W.J. VAN DIJK, 1982. Fosfaat en duininfiltratie: een experimentele benadering H2O 15(18): 497-502.
- OPZEELAND, K. VAN, 1983. De invloed van Duindoorn- en ander struweel op het stikstofgehalte van het grondwater in Meijndel. Intern rapport Afdeling Milieubiologie, Rijksuniversiteit Leiden.
- SCHMIDT-VAN DORP, A.D., 1978. Eutrofiëring van ondiepe meren in Rijnland (Holland). Diss. Utrecht.
- WANDERS, E.A.J., 1982. Beheer van meeuwenkolonies in de Hollandse duinen. Duin 5(2): 18-23.
- WERF, S. VAN DER, 1974. Infiltratie: met water meer plant. In: Meijndel, duin-waterleven. Den Haag/Baarn.

* Voor degenen die geïnteresseerd zijn in het basismateriaal van dit artikel is het rapport aan te vragen bij H.W.J. van Dijk, Afdeling Milieubiologie, Rijksuniversiteit Leiden, Postbus 9516, 2300 RA Leiden.