

De N:P ratio: een eenvoudig hulpmiddel bij ecologisch beheer van waterwingebieden

Natuurontwikkeling in waterwingebieden

Natuurwaarden onder druk

Natuur is schaars in Nederland. Wat ons rest aan natuur is bovendien veelal bedreigd of aangetast door verdroging, eutrofiëring, versnippering, etc. De nog resterende natuurwaarden staan daardoor onder druk. Het Natuurbeleidsplan [ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, 1990] formuleert beleid dat deze ontwikkeling moet keren, met name binnen een ruimtelijk stabiele ecologische hoofdstructuur (EHS). Dit is een samen-



DR. W. KOERSELMAN
Kiwa NV
Onderzoek en Advies



DRS. A. F. M. MEULEMAN
Kiwa NV
Onderzoek en Advies

hangend netwerk van gebieden met een hoge natuurwaarde ('kernegebieden'), gebieden met een potentiële hoge natuurwaarde ('natuurontwikkelingsgebieden') en verbindingszones.

In ons land is circa 20.000 ha waterwin- gebied in gebruik. Een belangrijk deel daarvan ligt binnen de kernegebieden van de EHS, of direct daaraan grenzend [Jalink *et al.*, 1993]. Daarnaast is er een areaal van 100.000 ha grondwaterbeschermingszone, dat deels in bezit is van waterleiding- bedrijven. De VEWIN beveelt in haar Milieuplan aankoop van gronden in deze gebieden aan [VEWIN, 1991]. Daarmee beschikt de bedrijfstak over een aanzien- lijk, en naar verwachting verder groeiend, areaal gronden waar de natuur kan profi- teren van de rust en de speciale bodem- beschermingsmaatregelen die de drink- watervoorziening vraagt.

Ecologisch beheer: winst voor natuur én waterwinning

Via ecologisch beheer kan natuurontwik- keling in door waterleidingbedrijven beheerde gebieden gestimuleerd worden. Onder ecologisch beheer wordt in dit verband verstaan: een beheer gericht op behoud, herstel of ontwikkeling van natuur, onder randvoorwaarden die de waterwinning daaraan stelt [Jalink *et al.*, 1993]. Door ecologisch beheer kan de bedrijfstak van Nederlandse waterleiding- bedrijven, naast de zorg die ze heeft voor de waterproductie, een belangrijke

Samenvatting

Waterleidingbedrijven beschikken over een groot areaal gronden, waar hoge natuurwaarden aanwezig zijn of tot ontwikkeling gebracht kunnen worden. Vanuit het oogpunt van de natuurbescherming is het belangrijk dat waterwingebieden ecologisch beheerd worden. Maar ook de waterwinning profiteert daarvan, omdat de (grond)waterkwaliteit wordt beschermd of verbeterd.

Kiwa heeft voor de VEWIN een eenvoudig instrument ontwikkeld voor het eco- logisch beheer. Het instrument is gebaseerd op de verhouding van het stikstof- en het fosforgehalte in de vegetatie of in het oppervlaktewater, de zogenaamde 'N:P ratio'. De N:P ratio geeft informatie die noodzakelijk is voor het bepalen van geschikte maatregelen bij eutrofiëring. De N:P ratio geeft aan door welke voedingsstof de groei van de vegetatie gereguleerd wordt ('limiterende voedings- stof'). Is de N:P ratio ≥ 16 , dan is fosfor limiterend, terwijl een N:P ratio ≤ 14 N-limitatie indiceert. Bij een N:P ratio tussen 14 en 16 kunnen beide elementen limiterend zijn, en is er meestal sprake van co-limitatie door stikstof en fosfor tegelijk.

Wanneer de voedselrijkdom van een terrein verminderd moet worden, vergen N-gelimiterde en P-gelimiterde situaties *verschillende* maatregelen. Wanneer de N:P ratio niet wordt bepaald voorafgaand aan herstelprojecten, dan bestaat dus de kans dat geïnvesteerd wordt in maatregelen die niet het gewenste effect opleveren. Aan de hand van de problematiek van open infiltratie in de duinen wordt geïllus- treerd op welke wijze het N:P instrument kan worden gebruikt, en welke stappen moeten worden onderscheiden in het traject van probleemanalyse ('om welk type eutrofiëring gaat het') tot probleemoplossingen ('maatregelen').

bijdrage leveren aan de natuurbescher- ming. Daarnaast is ecologisch beheer voor de waterleidingbedrijven van belang, om- dat het leidt tot bescherming, of zelfs ver- betering, van de (grond)waterkwaliteit [o.a. VEWIN, 1993].

De waterwingebieden in de duinen worden nu al grotendeels ecologisch be- heerd [VEWIN, 1992], maar ook buiten de duinen zal ecologisch beheer naar ver- wachting in betekenis toenemen [zie VEWIN, 1991 en 1993].

Problematiek van eutrofiëring

Waterleidingbedrijven worden bij het beheer van hun gronden regelmatig geconfronteerd met de problematiek van eutrofiëring. Een teveel aan voedings- stoffen leidt tot dominantie van hoog- opgaande soorten met een lage natuur- waarde. De natuurbescherming richt zich juist op lage, aan voedselarme omstandig- heden gebonden vegetaties. Omdat derge- lijke vegetaties in ons land zeldzaam zijn geworden, vertegenwoordigen ze een hoge natuurwaarde. Wil de bedrijfstak een bijdrage leveren aan de natuurbescher- mingsdoelstelling, dan is het vaak nood- zakelijk om het beheer van waterwinge- bieden te richten op het verminderen van de voedselrijkdom.

Doel van dit artikel

Dit artikel beschrijft op welke wijze de voedselrijkdom van waterwingebieden verminderd kan worden. Het accent ligt op het gebruik van de 'N:P ratio', een recent door Kiwa voor de VEWIN ontwik-

keld instrument waarmee snel en een- voudig kan worden vastgesteld met welk type eutrofiëring we te maken hebben. Het gehele traject van probleemanalyse ('om welk type eutrofiëring gaat het') tot probleemoplossing ('maatregelen ter ver- mindering van de voedselrijkdom') wordt geïllustreerd aan de hand van voorbeelden in duin-infiltratiegebieden. De voorgestel- de aanpak maakt een efficiëntere inzet van middelen ten behoeve van het vermin- deren van de voedselrijkdom mogelijk, waardoor een hoger rendement bereikt wordt met minder financiële inspanning.

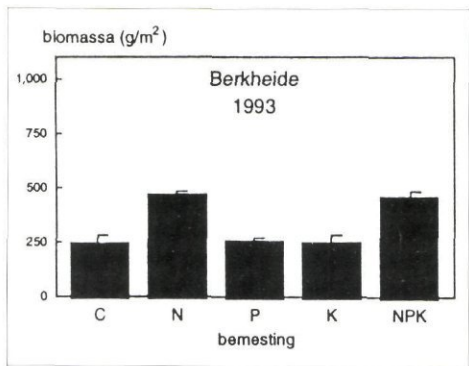
Voedselrijk of voedselarm?

Zoals eerder in dit tijdschrift betoogd [Koerselman, 1992], wordt de voedsel- rijkdom zoals de vegetatie die ervaart, bepaald door die voedingsstof waarvan de beschikbaarheid het laagst is (de 'limite- rende' of '(groei)beperkende voedings- stof'). De andere voedingsstoffen zijn op dat moment minder van invloed op de groei van de vegetatie, omdat ze in relatieve overmaat aanwezig zijn. De limi- terende voedingsstof is dus de voedings- stof die de groei van de vegetatie direct reguleert. Is de beschikbaarheid van de limiterende voedingsstof hoog, dan is de standplaats voedselrijk en zal de vegetatie gedomineerd worden door een beperkt aantal hoog-opgroeïende plantesoorten. Er valt dan nog maar zo weinig licht op de bodem, dat de vestiging van lage, aan voedselarmere omstandigheden aan- gepaste soorten, onmogelijk is. Om de standplaats geschikt te maken voor de

groei van de gewenste lage plantesoorten, moeten we haar voedselarmer maken door maatregelen te nemen die de beschikbaarheid van met name de limiterende voedingsstof verminderen.

Bemestingsexperimenten

De meest traditionele wijze om vast te stellen welke voedingsstof limiterend is, is het uitvoeren van een bemestingsexperiment met verschillende voedingsstoffen (meestal stikstof (N), fosfor (P) en kalium (K)). Die voedingsstof, waarvan toediening leidt tot een toename van de groei van de vegetatie, is limiterend voor de groei. (afb. 1). Het verminderen van de beschikbaarheid van de limiterende voedingsstof maakt de standplaats voedselarmer.



Afb. 1 - Uitkomst van een bemestingsexperiment met stikstof (N), fosfor (P), kalium (K) en een combinatie van deze drie voedingsstoffen (NPK) in het waterwingebied Berkheide (nabij Katwijk). De effecten worden uitgedrukt in 'biomassa': de hoeveelheid drooggewicht aan plantaardig materiaal per m² (weergegeven zijn gemiddelde en standaardfout van het gemiddelde). Toediening van stikstof (alleen of in combinatie met fosfor en kalium) leidt tot een sterke toename van de groei ten opzichte van de niet-bemeste controle ('C'). Toediening van uitsluitend fosfor of kalium leidt niet tot extra biomassa. Hieruit volgt dat stikstof de limiterende factor is. Wanneer een vermindering van de voedselrijkdom nagestreefd wordt, zal het beheer hier gericht moeten zijn op het verminderen van de N-beschikbaarheid.

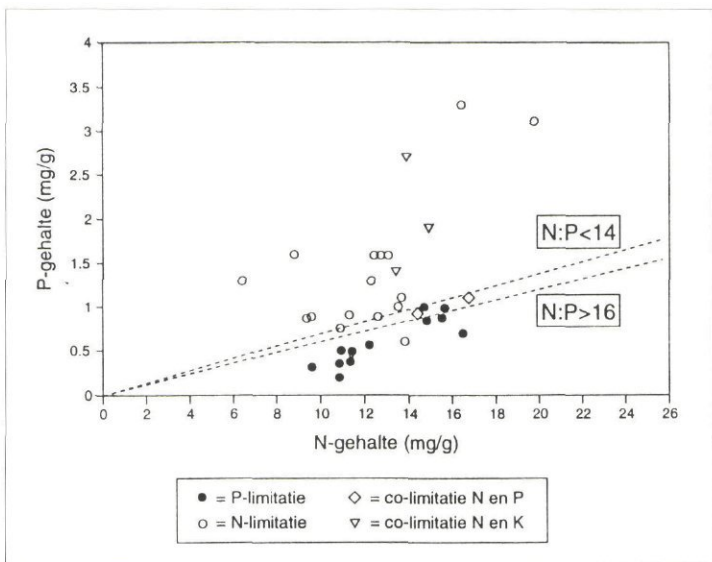
De ervaring leert dat vrijwel steeds fosfor of stikstof limiterend is [Koerselman & Verhoeven, 1994]. Bemestingsexperimenten zijn tijdrovend en bewerkelijk, en de interpretatie is niet eenvoudig. Het is dan ook niet verwonderlijk, dat bemestingsonderzoek weinig wordt uitgevoerd en dat beheersplannen die zijn gericht op de vermindering van de voedselrijkdom worden opgesteld zonder kennis over de limiterende voedingsstof. Dat is jammer, want zoals later in dit artikel zal blijken, is het dan feitelijk onmogelijk de meest geschikte beheersmaatregelen te bepalen: het verminderen van de N-beschikbaarheid vergt namelijk andere maatregelen dan het verminderen van de P-beschikbaarheid. Zonder kennis van de limiterende voedingsstof, bestaat

duus het risico dat geïnvesteerd wordt in maatregelen die geen effect (kunnen) sorteren. Er bestaat dan ook behoefte aan een instrument, dat dezelfde informatie geeft als een bemestingsexperiment, maar sneller, goedkoper en met minder verstoring.

De N:P ratio als indicator voor de aard van voedingsstoflimitatie
Zo'n instrument is door Kiwa ontwikkeld voor waterleidingbedrijven in het kader van het VEWIN Onderzoekprogramma [Koerselman & Meuleman, 1994]. Het onderzoek richtte zich op de vraag of de limiterende voedingsstof direct kan worden afgeleid uit de verhouding waarin stikstof en fosfor in plantaardig materiaal worden aangetroffen (de zogenaamde 'N:P ratio')¹.

Uit het onderzoek blijkt dat de N:P ratio een zeer goede voorspeller is van de aard van voedingsstofbeperking in situaties waarin de groei van de vegetatie door stikstof of door fosfor gereguleerd wordt (afb. 2). Wanneer de N:P ratio in de vegetatie ≥ 16 is, dan is vrijwel zeker fosfor limiterend. Is de N:P ratio ≤ 14 , dan is stikstof limiterend. Bij een N:P tussen 14 en 16 zijn beide voedingsstoffen in ongeveer gelijke mate beperkend ('co-limitatie'). Slechts in 1 van de 33 gevallen leidt toepassing van de genoemde 'kritische N:P waarden' tot een foutieve uitslag. De belangrijkste beperking van het werken met N:P ratio's is, dat dit instrument alleen gebruikt kan worden in situaties waar stikstof of fosfor beperkend is. Omdat kalium echter zelden limiterend is, en dan nog meestal in combinatie met stikstof ('co-limitatie') is het risico op misinterpretaties relatief gering. Afbeelding 2 is gebaseerd op studies in natte, door grondwater gevoede terreinen:

Afb. 2 - Verband tussen het stikstof (N) en fosfor (P) gehalte van de vegetatie (mg/g) en de aard van voedingsstoflimitatie in 33 bemestingsstudies. De gestippelde lijnen geven een N:P ratio van resp. 14 en 16 weer. Wanneer de N:P ratio ≥ 16 is, dan is fosfor vrijwel zeker limiterend. Bij een N:P ratio ≤ 14 is sprake van N-limitatie. In het tussengebied is sprake van co-limitatie door stikstof en fosfor tezamen. Voor volledige bronvermelding, zie [Koerselman & Meuleman, 1994].



duinvalleien, heiden, graslanden en moerassen. Al eerder stelden Downing & McCauley [1992] vast dat in Noordamerikaanse meren een verband bestaat tussen de aard van voedingsstoflimitatie en de N:P ratio van het water. De 'kritische grens' tussen N- en P-beperking bleek vrijwel gelijk te liggen aan die voor natte terreinen, namelijk bij een N:P van 14. Het N:P concept lijkt dus een algemene geldigheid te hebben.

De N:P ratio: een eenvoudig en goedkoop alternatief voor bemestingsonderzoek
Het werken met N:P ratio's vormt een eenvoudig, goedkoop en mogelijk algemeen toepasbaar alternatief voor het eerder genoemde bemestingsonderzoek. Een onderzoek op grond van de N:P ratio kost slechts een fractie van de tijd die met het uitvoeren van een bemestingsexperiment gemoeid is. Het aantal N:P metingen dat noodzakelijk is om een vlakdekkend beeld te verkrijgen, hangt sterk af van de lokale situatie, met name van de variatie in het terrein. In een éénvormig gebied van 100 ha kunnen 5-10 metingen al voldoende zijn, terwijl in een even groot gebied dat veel variatie kent wellicht 50-100 metingen noodzakelijk zijn. De kosten van vooronderzoek met behulp van de N:P ratio (één analyse kost ca. f 200,-) staan in geen verhouding tot de kosten die aan beheer besteed worden. Ter vergelijking: in duinwaterwingebieden wordt door waterleidingbedrijven aan het reguliere beheer jaarlijks meer dan f 1.000,- per hectare besteed [VEWIN, 1992]. Wanneer sprake is van een 'regeneratieproject' bedragen de uitgaven aan inrichting en beheer een veelvoud daarvan [Koerselman et al., 1992]. Een belangrijke 'opbrengst' van het vooronderzoek naar de N:P ratio is, dat wordt vermeden dat

later geïnvesteerd wordt in maatregelen die geen effect sorteren.

Toepassing van de N:P ratio bij vermindering van de voedselrijkdom: de strategie

Probleemanalyse

Voedselrijke situaties zijn te herkennen aan een hoge 'biomassaproduktie', dat wil zeggen een hoge produktie aan plantaardig materiaal ('hoog-opgaande vegetaties') en aan de soortensamenstelling van de vegetatie. Een eerste stap bij het vaststellen van beheersmaatregelen die geschikt zijn voor de vermindering van de voedselrijkdom, bestaat uit het bepalen van de limiterende voedingsstof. Dit kan met behulp van het hier beschreven N:P instrument.

Uit deze analyse volgt welke voedingsstof verantwoordelijk is voor de op dat moment te hoge voedselrijkdom. Allereerst dient de beschikbaarheid van deze limiterende voedingsstof vermindert te worden om de voedselrijkdom te verlagen².

Korte en lange termijn strategie

Bij het verminderen van de voedselrijkdom van de standplaats moeten twee fasen onderscheiden worden (afb. 3). Allereerst moet de beschikbaarheid van de groeibeperkende voedingsstof worden teruggebracht. Door het nemen van maatregelen die de beschikbaarheid van de beperkende voedingsstof verminderen (zie hierna) kan de hoogte van de vegetatie binnen enkele jaren worden teruggebracht tot een niveau waarop voldoende

licht op de bodem valt om ook aan lage 'waardevolle' plantesoorten kansen voor vestiging te bieden.

Tijdens de tweede fase van herstel moet echter ook de beschikbaarheid van andere voedingsstoffen worden teruggebracht. Het einddoel moet altijd een situatie zijn, waarin de beschikbaarheid van alle belangrijke voedingsstoffen laag is (afb. 3). Dit is een wezenlijk punt voor het duurzaam herstel van relatief voedselarme ecosystemen (zie [Koerselman & Meuleman, 1994]).

Welke maatregelen geschikt zijn voor het herstellen van relatief voedselarme situaties wordt toegelicht aan de hand van voorbeelden in duininfiltratiegebieden. Daar is de problematiek van eutrofiëring complex, zodat met deze case de meeste vragen, die in de praktijk optreden, aan de orde komen.

Voorbeeld: vermindering voedselrijkdom in duininfiltratiegebieden

In infiltratiegebieden kan sprake zijn van N-limitatie, P-limitatie of co-limitatie door stikstof en fosfor tegelijk; kalium speelt steeds een ondergeschikte rol (zie [Koerselman & Meuleman, 1994]). Het is dus steeds noodzakelijk een N:P analyse aan de vegetatie te verrichten om zekerheid te verkrijgen over de aard van de voedingsstofbeperking.

Welke maatregelen zijn in infiltratiegebieden nu geschikt om de beschikbaarheid van stikstof en fosfor te verminderen?

N-beschikbaarheid

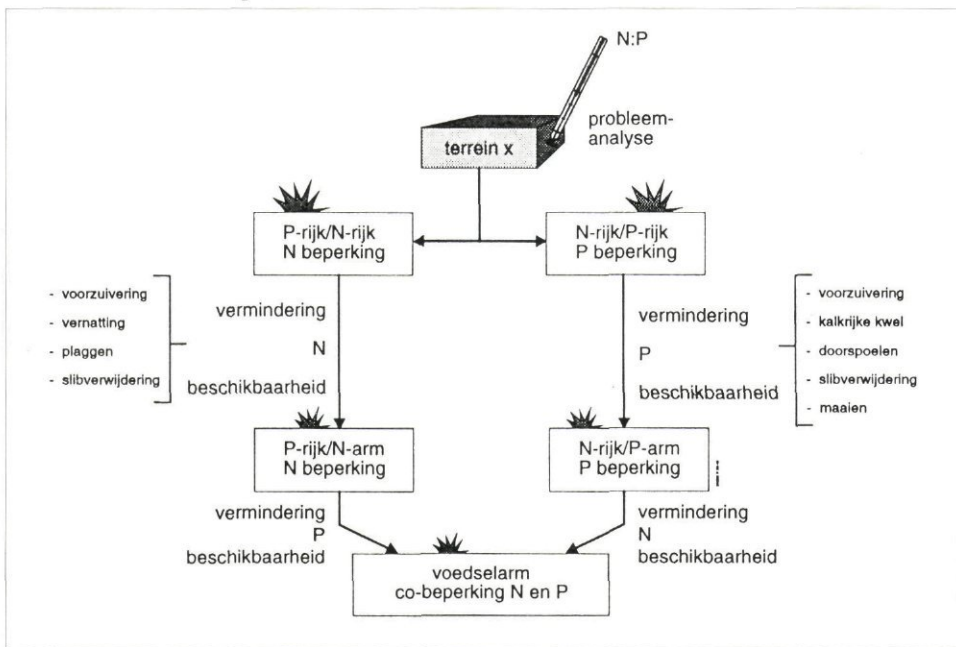
Door een goede *voorzuiivering*, bestaande uit vlokvorming, vlokafscheiding en snel-filtratie, wordt 95% van de ammonium uit infiltratiewater verwijderd [Stuyfzand, 1986; Koerselman, 1993]. Een verdere vermindering van de stikstofconcentratie is mogelijk wanneer aan de voorzuiivering een extra denitrificatiestap wordt toegevoegd.

In kwelplassen die worden gevoed door infiltratiewater, kan de N-beschikbaarheid worden vermindert door het instellen van *hoge grondwaterstanden* ('vernatting'). Dit leidt tot een afname van de microbiële afbraak van humus, waarbij stikstof wordt omgezet van een organische vorm in een door de plant opneembare anorganische vorm ('N-mineralisatie') [Van Beckhoven, 1992]. Als de totale N-voorraad in het humuspakket van de bodem erg groot is, kan deze door *plaggen* worden afgevoerd. *Maaien* is veelal een minder geschikte maatregel om stikstof af te voeren, omdat in duinvalleien de afvoer met het maaisel nauwelijks hoger is dan de toevoer via atmosferische depositie [Koerselman, 1991]. Met deze maatregel kan dus hooguit een verdere ophoping van stikstof in het systeem worden voorkomen. In infiltratieplassen kan de periodieke *verwijdering van slib* ertoe bijdragen dat naverlevering van ammonium naar het bovenstaande water beperkt blijft. Door slibverwijdering neemt echter het nitraatgehalte van het infiltrerende water toe [Stuyfzand *et al.*, 1991]. Het nut van slibverwijdering hangt dus af van de plaats waar natuurwinst beoogd wordt (infiltratieplas vs. kwelpas).

P-beschikbaarheid

Een goede *voorzuiivering* is cruciaal, omdat daardoor de P-concentratie afneemt tot waarden (ver) beneden die in het grondwater dat we onder voedselarme natuurterreinen aantreffen [Stuyfzand, 1986; Koerselman, 1993]. De atmosferische depositie van fosfor is erg laag. Wanneer terreinen 's zomers *gemaaid* worden en het hooi afgevoerd, dan wordt een veelvoud van de atmosferische P-toevoer verwijderd [Koerselman, 1991]. De beschikbaarheid van fosfor voor de plant wordt in sterke mate gereguleerd door adsorptie aan calcium-hydroxydes (bij pH > 6,5) en ijzer-hydroxydes (pH < 6,5) in de bodem [Stumm & Morgan, 1981]. Het is in deze geadsorbeerde vorm niet opneembaar voor de plant. Kennis van de biogeochemie van fosfor kan worden gebruikt om de beschikbaarheid van deze voedingsstof te verminderen. Een voorbeeld daarvan is het *herstellen van een kalkrijke kwelstroom*.

Afb. 3 Beslisschema voor het verminderen van de voedselrijkdom van waterwingebieden. De voedselrijkdom is proportioneel met de hoogte van de symbolen die op de blokken staan weergegeven. De genoemde beheersmaatregelen worden verder in de tekst toegelicht.



In het meer Groot Vogelenzang (Reeuwijkse Plassen) is ervaring opgedaan met het injecteren van ferrichloride (FeCl₃) in het bodemslib, met het doel daarmee fosfaat vast te leggen in een voor de plant niet-opneembare vorm (nl. gebonden aan ijzer-hydroxydes). Hoewel de effecten op korte termijn positief zijn, bestaat enige twijfel over de duurzaamheid van het effect [Boers *et al.*, 1994; zie ook Sinke, 1992]. De binding van fosfaat aan ijzer is overigens sterk afhankelijk van de redox-potentiaal; onder zuurstofloze omstandigheden wordt minder fosfaat aan ijzer gebonden dan onder geaëreerde [Patrick & Khalid, 1974; Boers *et al.*, 1994]. Daaruit blijkt tevens, dat een sterke vernatting van een bodem waarin veel aan ijzer gebonden fosfor voorkomt, kan leiden tot het uiteenvallen van Fe-PO₄ complexen, waarbij fosfor vrijkomt in een voor de plant opneembare vorm. Vernatting is dus een beheersmaatregel die een verschillend effect heeft op de beschikbaarheid van stikstof en fosfor! Hiermee moet rekening worden gehouden, met name in situaties waarin in het verleden veel fosfor is geaccumuleerd in de ondergrond.

Plaggen van kwelplassen heeft voor de verwijdering van fosfor vaak weinig zin. Als fosfor zich in het systeem heeft opgehoopt, is dit voor het overgrote deel in chemisch gebonden vorm in het duinzand, en dan meestal over een grote diepte.

'Doorspoelen' met schoner water kan in dat geval (uiteindelijk) soelaas bieden. In gevallen waar langdurig P-rijk water werd geïnfilteerd, moet echter gerekend worden met een lange hersteltijd gedurende welke nalevering van fosfor vanuit de ondergrond leidt tot 'aanrijking' van het grondwater met fosfor tijdens bodemtransport [Stuyfzand *et al.*, 1991; Stuyfzand, 1990].

Slibverwijdering uit infiltratiepanden is van belang in verband met nalevering van fosfor aan het bovenstaande water.

Conclusies

Het hier beschreven N:P instrument kan bij het ecologisch beheer van waterwin-gebieden een belangrijke rol spelen. De bruikbaarheid ervan is beslist niet voorbehouden aan duininfiltratiegebieden; ook daarbuiten is het toepasbaar. Datzelfde geldt de voorgestelde beheers- en inrichtingsmaatregelen waarmee de voedselrijkdom verminderd kan worden. Met enige aanpassingen kunnen deze ook buiten de duinen worden toegepast. De voorgestelde strategie biedt waterleidingbedrijven de mogelijkheid een

goede bijdrage te leveren aan de verdere natuurontwikkeling in ons land en hun imago als milieubedrijven verder gestalte te geven.

Verantwoording

Het onderzoek werd gefinancierd door de VEWIN en begeleid door de Kiwa werkgroep 'Ecologische Aspecten van Kunstmatige Infiltratie'.

Noten

¹ Op theoretische gronden werd afgeleid dat de verhouding waarin de vegetatie de belangrijkste voedingsstoffen stikstof en fosfor opneemt een belangrijke indicatie vormt voor de beschikbaarheid van deze voedingsstoffen (zie [Koerselman, 1992]). In situaties waarin relatief veel stikstof beschikbaar is, en weinig fosfor, zal de vegetatie relatief veel stikstof opnemen ten opzichte van fosfor. De N:P ratio in de vegetatie is dan hoog, en fosfor is voor de vegetatie het meest schaarse element (ofwel 'limiterend' voor de groei). Is daarentegen in de bodem juist relatief veel fosfor aanwezig, en weinig stikstof, dan zal de N:P verhouding in de vegetatie lager zijn, en wordt de groei gereguleerd door N.

² Uit het onderzoek blijkt onder meer, dat niet alle plantesoorten die op dezelfde standplaats groeien steeds door dezelfde voedingsstof gelimiteerd worden. In een door N gelimiteerde vegetatie worden soms soorten aangetroffen met een N:P ratio die op P-limitatie wijst. Dit kan verklaard worden door verschillen in de wijze van voedingsstofopname tussen de soorten, of verschillen in bewortelingsdiepte (en daardoor voedingsstoffen-aanbod). In bepaalde gevallen zijn deze interspecifieke verschillen van belang voor het herstelbeheer. Wanneer beginnende verzuuring is vastgesteld door een bepaalde 'ongewenste' plantesoort, dan is het belangrijk om vast te stellen of deze ongewenste soort door dezelfde voedingsstof gelimiteerd wordt als de vegetatie waarvan de soort onderdeel uitmaakt. Wordt de ongewenste soort namelijk door een andere voedingsstof gelimiteerd, en is een expliciet doel van het beheer om verdere verzuuring door deze soort tegen te gaan, dan verdient het overweging om het beheer te richten op het verminderen van de beschikbaarheid van de voor deze soort beperkende voedingsstof. In dergelijke situaties verdient het dus aanbeveling niet alleen de N:P ratio van de vegetatie als geheel te bepalen, maar tevens die van de ongewenste soort.

Literatuur

Beckhoven, K. van (1992). *Effects of groundwater manipulation on soil processes and vegetation in wet dune slacks*. In: R. W. G. Carter, T. G. F. Curtis & M. J. Sheehy-Skeffington (Red) *Coastal dunes; Geomorphology, ecology and management for conservation*. Balkema, Rotterdam: 251-263.
Boers, P., van der Does, J., Quaak, M. & Vlught, J. van der (1994). *Phosphorus fixation with iron(III)chloride: a new method to combat internal phosphorus loading in shallow lakes?* Archiv Hydrobiol., 129: 339-351.
Downing, J. A. & McCauley, E. (1992). *The nitrogen:phosphorus relationship in lakes*. Limnol. Oceanogr., 37: 936-945.
Jalink, M. H., Jansen, A. J. M., Meuleman, A. F. M. & Wisse, J. (1993). *Ecologisch beheer door waterleidingbedrijven*. Kiwa NV Onderzoek & Advies, Nieuwegein, SWO 92.370.
Jansen, S. R. J., Bal, D., Beije, H. M., During, R., Hoogeveen, Y. R. & Uytendinck, R. W. (1993). *Ontwerp-nota Ecosysteemvisies EHS. Kwaliteiten en prioriteiten in de ecologische hoofdstructuur van*

Nederland. Informatie- en KennisCentrum Natuur, Bos, Landschap en Fauna/Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Wageningen.
Koerselman, W. (1991). *Verruiging van (ver)natte duinvalleien; een literatuuronderzoek naar de relatie tussen de grondwaterstand, de beschikbaarheid van voedingsstoffen en de vegetatiestructuur*. Kiwa NV Onderzoek & Advies, Nieuwegein, SWE 91.006.
Koerselman, W. (1992). *Een koninkrijk voor Koninginnekruid?* H₂O, 25: 80-85.
Koerselman, W. (1993). *Op zoek naar de sleutel tot het herstel van voedselarme duinvalleien in infiltratiegebieden*. De Levende Natuur, 94: 83-88.
Koerselman, W. & Verhoeven, J. T. A. (1994). *Eutrophication of fen ecosystems; external and internal nutrient sources and restoration strategies*. In: B. Wheeler, S. Shaw & W. Fojt (Red) *Restoration of temperate wetlands*. John Wiley & Sons, Chichester. In druk.
Koerselman, W. & Meuleman, A. F. M. (1994). *Groei beperkende voedingsstoffen in verschillende duinvalleitypen; resultaten van bemestingsexperimenten*. Kiwa NV Onderzoek & Advies, Nieuwegein, SWE 94.020.
Koerselman, W., Genderen, J. van, Hagen, H. G. J. M. van der, Leltz, G. M., Rood, C. E. M. & Wardenaar, K. J. (1992). *Regeneratie van de duinen tussen Katwijk en Den Haag*. Kiwa NV Onderzoek & Advies, Nieuwegein, SWE 92.040.
Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (1990). *Natuurbeleidsplan; regeringsbeslissing*. Den Haag.
Patrick, W. H. Jr. & Khalid, R. A. (1974). *Phosphate release and sorption by soils and sediments: effect of aerobic and anaerobic conditions*. Science, 186: 53-55.
Sinke, A. J. C. (1992). *Phosphorus dynamics in the sediment of a eutrophic lake*. Proefschrift, Landbouw-universiteit Wageningen.
Stumm, W. & Morgan, J. J. (1981). *Aquatic chemistry*. Wiley and Sons Inc, New York.
Stuyfzand, P. J. (1986). *Macroparameters bij duininfiltratie*. Kiwa NV Onderzoek & Advies, Nieuwegein, Mededeling 82.
Stuyfzand, P. J. (1990). *Hydrochemie en hydrologie van het Boerendelgebied, een kwelpasrijk duinterrein benoorden het Wassenaarsche Slag*. Kiwa NV Onderzoek & Advies, Nieuwegein, SWE 90.001.
Stuyfzand, P. J., Luërs, F. & Nijssen, E. M. (1991). *Ophoping en uitspoeling van nutriënten door kunstmatige infiltratie in het Boerendelgebied; een eerste verkenning*. Kiwa NV Onderzoek & Advies, Nieuwegein, SWE 91.032.
VEWIN (1991). *Milieuplan*. Vereniging van Exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland, Rijswijk.
VEWIN (1992). *Duinen en drinkwater, doordacht en duurzaam*. VEWIN Jaarbrochure Grondstoffen 1992. Vereniging van Exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland, Rijswijk.
VEWIN (1993). *Bloemen houden van water*. VEWIN Jaarbrochure Grondstoffen 1993. Vereniging voor Exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland, Rijswijk.

