ratio's in plantaardig weefsel, of in het water. Dat is juist en dat verschil hebben we door het gebruik van cursivering in ons artikel ook benadrukt, juist om misverstanden te vermijden. Ibelings noemt het voorspellen van de groeibeperkende voedingsstof op grond van analyses van de waterkwaliteit een hachelijke zaak, maar bestrijdt niet de resultaten van Downing en McCauley [1992], waaruit blijkt dat de N:P ratio in het water wel degelijk een goede voorspeller is. Onze conclusie blijft dan ook, dat de N:P ratio een bruikbaar instrument is voor de bepaling van de aard van voedingsstoflimitatie, met dien verstande dat in terrestrische systemen de N:P in *de plant* bepaald wordt en in aquatische systemen *in het water*, zoals we in ons artikel duidelijk hebben weergegeven. In beide gevallen ligt de kritische N:P ratio op ongeveer 15. Als we stellen dat het N:P concept 'een algemene geldigheid heeft', willen we daarmee natuurlijk niet zeggen dat de kritische N:P ratio *in algen* en *in hogere planten* gelijk is.
Volgens Ibelings zal de kritische N:P ratio in algen waarschijnlijk de Redfield ratio (N:P = 7) benaderen. Opmerkelijk is echter, dat uit het onderzoek van Rhee [1978], waarnaar Ibelings enige malen verwijst, blijkt dat in de algsoort Scenedesmus de kritische N:P ratio 14 bedraagt.

Co-limitatie van nutriënten
Volgens Ibelings hanteren we het begrip 'co-limitatie door N en P' onjuist en hij verwijst naar resultaten van onderzoek door Rhee [1978]. Rhee stelde vast, dat de algsoort Scenedesmus altijd door N of door P gelimiteerd wordt, en nooit door N en P tegelijk. De vergelijking tussen het onderzoek van Rhee en dat van ons gaat echter mank, omdat we in ons artikel het begrip co-limitatie niet op *soortniveau* gebruiken (zoals Ibelings doet) maar op het *niveau van de vegetatie*, waarin meerdere soorten samen voorkomen. Dat is een essentieel andere benadering, waarin het begrip vanzelfsprekend een andere betekenis heeft. Op het niveau van de vegetatie spreken we van co-limitatie indien zowel toediening van N als van P een (geringe) groeirespons van de vegetatie geeft, maar toediening van N+P samen een veel grotere respons.
Co-limitatie op het niveau van de vegetatie is eenvoudig te verklaren uit het feit dat ter plaatse *sommige soorten door P* gelimiteerd worden en *andere soorten door N*.

De kritiek van Ibelings berust dus op een misverstand, omdat hij het begrip co-limitatie betrekt op het niveau van de soort, waar wij expliciet doelden op het niveau van de vegetatie.

Optimale N:P ratio's en de 'struggle for life'
Opmerkelijk is, dat Ibelings hier voorbeelden geeft die het door ons eerder toegelichte begrip van co-limitatie op het niveau van de vegetatie illustreren. Dit fenomeen treedt dus ook in algengemeenschappen op. De nuances die Ibelings aanbrengt bij enkele concepten zijn terecht, maar gelden met name voor algengemeenschappen, waar een zeer snelle successie plaatsvindt. Competitieve aansluiting zal in gemeenschappen van hogere planten natuurlijk nooit optreden als gevolg van kortdurende veranderingen van het aanbod van voedingsstoffen.

N:P ratio's en de bloei van cyanobacteriën
Volgens Ibelings verhult het gebruik van N:P ratio's wat het absolute niveau van de voedselrijkdom is. Dat klopt: eigen aan het werken met N:P ratio's is, dat uitsluitend de *relatieve* beschikbaarheid van N en P kan worden bepaald. Zoals we in ons artikel duidelijk stelden, moet voor een beeld van de *absolute* voedselrijkdom (ook) gekeken worden naar de biomassaproduktie. Met andere woorden, zowel in een hoogopgaande eutrofe vegetatie, als in een zeer lager voedselarme vegetatie, kan de N:P ratio 5 bedragen. Het enige dat we zeker weten, is dat in beide gevallen N groeibeperkend is en dat als we het systeem voedselarmer willen maken, de aandacht in eerste instantie naar N dient uit te gaan.

Misbruik van N:P ratio's?
Ibelings betoogd dat het N:P concept misbruikt kan worden en geeft een voorbeeld waarbij de N-belasting van een systeem verhoogd werd, teneinde een bepaalde N:P ratio te bereiken.
Een strategie waarbij de voedselrijkdom van een systeem verminderd wordt, kan natuurlijk nooit bestaan uit het *toedienen* van een bepaalde voedingsstof. De N:P ratio is een hulpmiddel ('een meetlat') die gebruikt kan worden om het systeem sneller voedselarm te maken.
Het bereiken van een bepaalde N:P ratio is vanzelfsprekend geen doel op zich. Op geen enkele plaats in ons artikel wordt door ons die suggestie gewekt. Voor vrijwel ieder instrument geldt, dat het misbruikt kan worden. Dat betekent natuurlijk niet, dat instrumenten dan maar niet gemaakt moeten worden. Wél stelt het eisen aan de wijze waarop een instrument geïntroduceerd wordt. Beperkingen en randvoorwaarden voor het gebruik dienen duidelijk te zijn. In ons artikel hebben we deze duidelijk genoemd. Ibelings lijkt dat laatste overigens ook niet te bestrijden.

Ten slotte
Uit het voorgaande blijkt, dat wij in tegenstelling tot Ibelings van mening zijn dat N:P ratio's goed bruikbaar zijn als indicator voor het vaststellen van de aard van de voedingsstofbeperking. Voor een deel lijkt het meningsverschil met Ibelings het gevolg van de onvergelijkbaarheid van (1) aquatische en terrestrische systemen, (2) van systemen met één soort met systemen met meerdere soorten en (3) van systemen die een zeer snelle successie kennen met systemen die gekenmerkt worden langzame successie. Op belangrijke punten heeft Ibelings bovendien onze resultaten niet goed geïnterpreteerd, waardoor hij tot onjuiste conclusies komt. Wij zien in de reactie van Ibelings dan ook geen reden de conclusies die we in ons artikel trokken, te wijzigen.

Literatuur
Wit, C. T. de, Dijkshoorn, W. & Noggle, J. C. (1963). *Ionic balance and growth of plants.* Wageningen, Verslagen Landbouwkundig Onderzoek 69.15.
Downing, J. A. & McCauley, E. (1992). *The nitrogen: phosphorus relationship in lakes.* Limnol. Oceanogr. 37: 936-945.
Rhee, G-Y. (1978). *Effects of N:P atomic ratios and nitrate limitation on algal growth, cell composition, and nitrate uptake.* Limnol. Oceanogr. 23(1): 10-25.
Verhoeven, J. T. A., Wassen, M. J., Meuleman, A. F. M. & Koerselman, W. (1994). *Op zoek naar de bottleneck; N- en P-beperking in venen en duivalleien.* Landschap 11(2): 25-39.

Willem Koerselman
Arthur F. M. Meuleman
Kiwa NV Onderzoek en Advies

• • •

Infiltratie in freatisch pakket Reacties en commentaar

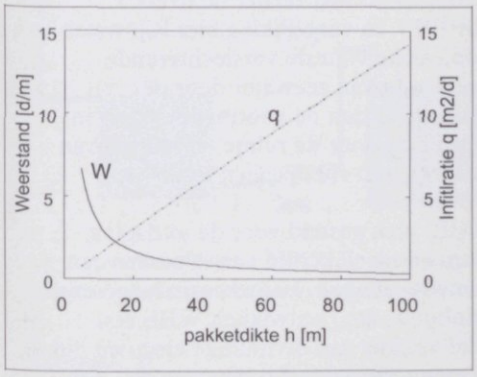
Commentaar op het artikel van Cees Maas (5/95, p. 152-153)
'Dik freatisch pakket infiltreert niet lekker'

Hoe dikker hoe beter

Als je de weerstand die water ondervindt bij infiltratie vanuit sloten op een bepaalde manier afleidt, lijkt het alsof dikke freatische pakketten niet lekker infiltreren in vergelijking tot dunne (Maas, H_2O 5/95, p. 152-153). In de werkelijkheid ondervindt dit water, behalve de intredeweerstand, ook weerstand van de pakket waar het doorheen stroomt. De laatste neemt nu juist af met de pakketdikte, h en

blijkt te winnen. Hij bedraagt $L/(k_h h)$, waarbij de L de afstand tussen de infiltratiesloot en open water verderop in het gebied en k_h de horizontale doorlatendheid. De totale weerstand die het grondwater ondervindt wordt hierdoor:

$$W = \frac{1}{\pi k_h} \operatorname{arccosh}\left(\operatorname{cotanh}\left(\frac{\pi b}{2h}\sqrt{\frac{k_v}{k_h}}\right)\right) + \frac{L}{k_h h}$$



Intredeweerstand en infiltratiefilm als functie van de dikte van het watervoerend pakket.

De eerste term is afgeleid door Maas (H_2O 5/95, p. 152). Na invullen van wat reële getallen, (bijvoorbeeld $k_h = k_v =$ 30 [m/d], de slootbreedte b = 20 [m/d], L = 1.000 [m]) kan de weerstand, W, worden weergegeven als functie van de pakketdikte, h. (zie afb. 1. Zoals intuïtief verwacht, neemt de totale weerstand af naarmate het pakket dikker is. De infiltratie, q [m^2/d], bedraagt bij een bepaald stijghoogteverschil van zeg $\Delta\Phi = 5$ m tussen de infiltratiesloot en het open water op genoemde afstand L $q = \Delta\phi/W$. Afb. 1 laat ook zien hoezeer deze infiltratie, q, toeneemt als functie van de dikte van het pakket.
Voor praktische omstandigheden luidt mijn conclusie dan ook: Hoe dikker hoe beter.

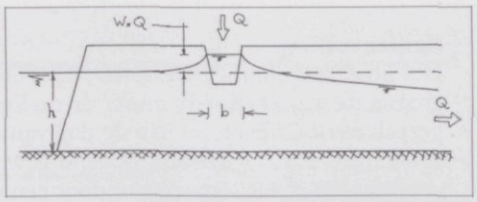
Theo Olsthoorn,
Gemeentewaterleidingen Amsterdam

Commentaar op het artikel van dr. ir. C. Maas (H_2O nr. 5, 1995)

'Dik freatisch pakket infiltreert niet lekker'

De resultaten van het artikel staan inderdaad haaks op onze hydrologische intuïtie. Daarnaast is de berekeningsopzet niet eenvoudig te doorgronden. Afbeelding 1 lijkt de hoofdschuldige. Naar mijn mening zou de lezer met nevenstaande afbeelding een stuk verder geholpen zijn:

Aan de linkerzijde wordt de potentiaal vastgehouden. Met de sloot wordt een debiet Q geïnfiltreerd, aan de rechterzijde



wordt een even groot debiet Q onttrokken. Het slootpeil komt daardoor W*Q omhoog. De potentiaaldaling ter plaatse van de onttrekking behoeft niet te worden gedefinieerd.
De weerstand W vertegenwoordigt alleen de weerstand van stroming het pakket in en niet de weerstand van verdere stroming naar de eindbestemming. *Door de bijzondere randvoorwaarden* is W hier inderdaad maatgevend voor de verhoging van het slootpeil bij infiltratie.
En inderdaad: hoe dikker het pakket, des te hoger W.
De vraag blijft of op basis daarvan algemeen gesteld kan worden dat 'U het beste kunt zoeken naar *dunne*, grofzandige pakketten'.
Het lijkt er op dat dunne pakketten de voorkeur verdienen in geval dat:
1. vanuit de omgeving geen water mag toestromen, peildalingen in de omgeving niet zijn toegestaan;
2. de toelaatbare verhoging van het peil van de infiltratiesloot beperkt *en maatgevend* is (en niet bij voorbeeld de potentiaaldaling bij de onttrekking).
Aan de laatste voorwaarde zal lang niet altijd voldaan zijn. Bij een dun pakket zal immers de potentiaaldaling bij de onttrekking aanmerkelijk zijn, met alle negatieve gevolgen van dien.
De som klopt wel, maar de in het algemeen gestelde voorkeur voor dunne pakketten moet van meer nuance worden voorzien.

ir. A. P. Bot

Nawoord van de auteur: Dun blijft de mode.....

Ik hoop niet dat ik er debet aan ben, maar het lijkt erop dat de heer Olsthoorn op het verkeerde been stond, toen hij mijn artikeltje las. Het schema van de heer Bot maakt de wiskunde wel wat lastiger, maar het illustreert duidelijker dan mijn afbeelding 1 waar het om draait: de crux schuilt in de randvoorwaarde ter linkerzijde. Daar heerst te allen tijde het oorspronkelijke grondwaterpeil. Dit is overigens geen uitzonderlijk uitgangspunt, maar een vanzelfsprekende ontwerpeis voor een infiltratieproject.
De eerste vraag die een hydroloog – op zoek naar een gunstige lokatie voor oppervlakkige infiltratie – zich stelt, luidt: Krijg ik hier het water wel de grond in? Het antwoord op die vraag blijkt *uitsluitend* af te hangen van de slootweerstand.
De horizontale weerstand tussen de sloot en de winningsmiddelen doet er niet toe. Omdat de slootweerstand min of meer evenredig is aan de pakketdikte, is dun dus tóch beter: een sloot in een dik pakket loopt eerder over. Ergens is er wel een grens, zoals Bot ook opmerkt. Als het pakket al te dun wordt (of beter: de kD-waarde te laag) kan de verlaging nabij de winningsmiddelen maatgevend worden. Vandaar mijn advies om te zoeken naar dunne, *grove* lagen.

De heer Bot stelde in een telefonische reactie een interessant gedachtenexperiment voor: Denk je eens in dat halverwege het pakket horizontaal een ondoorlatende folie is ingegraven. Infiltratie en winning vinden boven de folie plaats. Stel dat je met een constant debiet infiltreert en wint. Wat gebeurt er dan als je het folie wegtrekt? Antwoord: het slootpeil *stijgt*, ook al is *totale* weerstand tussen sloot en winningsmiddelen kleiner geworden (zoals Olsthoorn aantoont). Ook mijn intuïtie liet het afweten, maar ik heb een rotsvast vertrouwen in de wiskunde.

Mijn artikeltje leverde me onverwacht veel reacties op. Sommigen belden me meer dan eens om me bezorgd op mijn dwaling te wijzen, en hun betrokkenheid verried dat mijn resultaat op één of andere manier een aanval deed op een wereldbeeld. Vanwaar zoveel animo? De reacties kwamen uit twee beroepsgroepen, namelijk die van de civieltechnici en die van de cultuurtechnici. De civieltechnici redeneerden vanuit de winningsmiddelen. Die mogen niet droogvallen en *dus* is een hoge kD-waarde wenselijk. De cultuurtechnici redeneerden vanuit het slootpeil. Dat leg je zelf op *dus* dat kan nooit een beperking opleveren van de infiltratiecapaciteit. Beide redeneringen stellen het project centraal en beschouwen de omgeving stilzwijgend als sluitpost. Wat daar eventueel misgaat, moet achteraf goed gemaakt worden. Van de Kiwa-ecologen leerde ik om niet vanuit het project, maar vanuit de omgeving te redeneren.
Een Copernicaanse ommezwaai, die een verrassend resultaat opleverde.

Cees Maas

• • •