



Roos Loeb, Alterra, thans B-WARE

Piet Verdonshot, Alterra

Frits Kragt, Planbureau voor de Leefomgeving

Hans van Grinsven, Planbureau voor de Leefomgeving

Sturen op fosfor of stikstof voor verbetering ecologische kwaliteit van zoete wateren?

In de Nederlandse uitwerking van de Kaderrichtlijn Water (KRW) wordt ervan uitgegaan dat zoete wateren door fosfor gelimiteerd worden. Uit internationale wetenschappelijke literatuur blijkt echter dat in zoet water ook limitatie door stikstof, silicium en koolstof voor kan komen. Voor (blauw)algen, en daarmee voor de zwem- en drinkwaterkwaliteit, is vooral fosfor van belang, maar voor de diversiteit van ondergedoken waterplanten en de vegetatie van oevers en moerassen blijkt ook stikstof erg belangrijk te zijn. Het risico van een te sterke nadruk van het beleid op reductie van fosforemissies is dat de verbetering van de ecologische kwaliteit van zoete wateren, zoals vereist voor de KRW, niet bereikt wordt.

Door het gebruik van fosfaatarme wasmiddelen, het verbeteren van de rioolwaterzuivering en het terugdringen van emissies uit de landbouw is de belasting van het oppervlaktewater met fosfor en stikstof inmiddels sterk verminderd. Deze vermindering heeft er echter nog niet toe geleid dat de effecten van eutrofiëring teniet zijn gedaan. Om effectief beleid te kunnen voeren, is het daarom van belang om te weten op welk limiterend nutriënt gestuurd moet worden om (blauw)algenbloei te voorkomen of een goede ecologische toestand te bereiken. In de Nederlandse uitwerking van de KRW wordt ervan uitgegaan dat zoete waterlichamen door fosfor worden gelimiteerd¹⁾. Dit werpt de vraag op of reductie van stikstofemissies dan nog wel nodig is voor verbetering van de ecologische kwaliteit van zoete oppervlaktewateren. De resultaten van een literatuuronderzoek²⁾ hiernaar zijn in dit artikel samengevat.

Effecten van eutrofiëring

Eutrofiëring leidt tot afname van biodiversiteit enerzijds en directe overlast anderzijds. In Nederland heeft de toename van nutriëntenconcentraties gezorgd voor groen- en blauwalgenbloei in meren en voor dominantie van kroos in sloten. Deze overschaduwden de ondergedoken waterplanten, waardoor deze verdwenen. Ook als nog geen algenbloei of kroosdo-

minantie optreedt, zijn er al effecten op de biodiversiteit in het water waar te nemen. Bij aanvoer van nutriënten verdwijnen karakteristieke soorten, zoals kranswieren en fonteinkruiden, en ontstaat een dominantie van algemener soorten, zoals grof hoornblad en smalle waterpest. Directe overlast wordt voornamelijk veroorzaakt door algenbloei. Tijdens of na de

algenbloei kan een zodanig hoge zuurstofconsumptie optreden door het afsterven van algen dat het water zuurstofloos raakt. Hierdoor kan sterfte van onder andere vis optreden. Blauwalgenbloei leidt tot ergere problemen dan groenalgenbloei. Een aantal soorten blauwalgen produceert toxines die giftig zijn voor mensen en vee bij contact met het water (huiduitslag en bij inslikken

Sloot met kroos (foto: Piet Verdonshot).



maag- en darmklachten). Daarnaast leidt blauwalgenbloei tot ernstige stankoverlast.

Planten (inclusief algen) hebben voedingsstoffen en licht nodig om te kunnen groeien. De belangrijkste voedingsstoffen zijn koolstof, stikstof en fosfor. Diatomeeën, die een kiezelskelet hebben, hebben ook veel silicium nodig. Mits er voldoende licht is, is meestal één van deze voedingsstoffen te weinig aanwezig ten opzichte van de andere voedingsstoffen en daarmee limiterend voor de groei. Om eutrofiëringseffecten tegen te kunnen gaan, is het daarom van belang om te achterhalen welk nutriënt voor biomasatoename of algenbloei zorgt, zodat op dat nutriënt gestuurd kan worden.

Verschillen in limitatie voor verschillende planten

Verschillende soorten planten (en algen) verschillen in opname-efficiëntie van de verschillende nutriënten, maar ook in hun behoefte aan verschillende nutriënten en de mate waarin deze nutriënten voor hen beschikbaar zijn. Veel gebruikt is de zogeheten Redfield-ratio: de verhouding waarin nutriënten optimaal voorkomen voor de groei van algen. Deze verhouding is vastgesteld op 106:16:1 voor koolstof, stikstof en fosfor (molaire verhouding)³⁾, hoewel ook is aangetoond dat deze verhouding voor verschillende soorten algen anders kan liggen. Hogere planten hebben echter een andere behoefte aan nutriënten, waardoor deze verhouding gemiddeld ongeveer op 550:30:1 ligt. Ze hebben dus een ongeveer vijfmaal zo grote behoefte aan koolstof en een tweemaal zo grote behoefte aan stikstof ten opzichte van fosfor vergeleken met algen. Ook hebben hogere planten een grotere behoefte aan licht dan algen⁴⁾. Daarnaast zijn verschillen in beschikbare bronnen voor nutriënten groot. Wortelende waterplanten halen een groot deel van hun voedingsstoffen uit de bodem en in mindere mate uit het water,

terwijl in het water zwevende planten en algen geheel afhankelijk zijn van in het water opgeloste stoffen. Planten die op het water drijven of boven het water uitsteken, kunnen gemakkelijk kooldioxide uit de lucht opnemen en op die manier in hun koolstofbehoefte voorzien. Kroosvarens en sommige blauwalgen zijn in staat om stikstofgas uit de lucht op te nemen, waardoor ze een groot voordeel hebben ten opzichte van planten die dat niet kunnen en stikstof in de vorm van nitraat of ammonium uit het water of de bodem op moeten nemen. Fosfaat bindt sterk aan het sediment, terwijl nitraat nauwelijks bindt en vrij in de waterkolom aanwezig is. In het water is daarom stikstof vaak in overmaat aanwezig, terwijl in het sediment relatief juist veel fosfor voorkomt, zeker als het sediment anaeroob is. Samen met de hogere behoefte van hogere planten aan stikstof kan dat ervoor zorgen dat wortelende waterplanten door stikstof gelimiteerd kunnen zijn, terwijl algen in hetzelfde water door fosfor gelimiteerd worden. Daarnaast worden diatomeeën vaak gelimiteerd door silicium, als dit in lage concentraties beschikbaar is.

Kennis over nutriëntenlimitatie

Internationaal wordt veel onderzoek verricht naar limitatie van nutriënten. De gebruikte methoden variëren van het bestuderen van *in situ* bemesting van hele meren tot aan het meten van nutriëntenverhoudingen in het water of in algencellen. Misschien wel de meest gebruikte methode is die waarbij de concentratie chlorofyl-a in het water, als maat voor algenbloei en daarmee voor eutrofiëring, wordt gekoppeld aan de concentraties van nutriënten in het water. Hiermee kan inzicht verkregen worden in de meest sturende factor voor eutrofiëringseffecten in meerdere waterlichamen tegelijk. Het nadeel van deze methode is echter dat met gebruik van de chlorofyl-a-concentratie niet naar hogere planten en epifytische algen gekeken wordt. Ook valt het bij de analyse

van correlaties in een grote dataset niet op als algen in één of enkele meren uit de onderzochte dataset een ander type limitatie hebben.

Uit de typen onderzoek blijkt dat fosfor meestal limiterend is voor fytoplankton (vrij zwevende algen) in meren. Andere typen limitatie komen echter ook veelvuldig voor, vooral limitatie door stikstof, koolstof en silicium. Meren waarin het fytoplankton gelimiteerd is door stikstof, hebben meestal ofwel een zeer hoge concentratie fosfor of juist een lage belasting met stikstof. Een lage belasting met stikstof kan voorkomen in regio's met een zeer lage stikstof-depositie, zoals het noorden van Scandinavië⁵⁾. Een hoge fosforconcentratie komt van nature voor in gebieden met apatiet (een calciumfosfaat) in de ondergrond⁶⁾, maar kan ook worden beïnvloed door kwel, anaërobie en stratificatie en sulfaatrijk oppervlaktewater.

Meren in Noord-Holland ontvangen zulke hoge concentraties fosfaat en sulfaat uit brakwaterlenzen dat de lage N/P-verhoudingen er op wijzen dat sprake kan zijn van stikstoflimitatie van het fytoplankton⁷⁾. Koolstoflimitatie komt permanent voor in zachte wateren (vennen)⁸⁾. Zowel koolstoflimitatie als limitatie door stikstof en door silicium kunnen echter in veel meer wateren seizoensgebonden voorkomen⁹⁾. Koolstoflimitatie ontstaat in ondiepe wateren als er veel fotosynthese plaatsvindt, door algenbloei of door een hoge bedekking met waterplanten. Alle kooldioxide wordt dan uit het water opgenomen en ook de concentratie bicarbonaat raakt uitgeput doordat het wordt omgezet in kooldioxide. Periodieke limitatie door stikstof en silicium komt vooral voor bij een hoge belasting met fosfor: door de hoge productiviteit wordt er veel stikstof of silicium (in het geval van diatomeeënbloei) opgenomen. Omdat, in tegenstelling tot fosfor, nauwelijks stikstof wordt nageleverd vanuit het sediment, kunnen concentraties anorganisch stikstof in de loop van het groeiseizoen zeer laag worden, terwijl de fosforconcentratie in het water veel minder fluctueert.

Vaak wordt aangenomen dat het terugdringen van stikstofemissies blauwalgenbloei kan veroorzaken, omdat stikstofbindende blauwalgen goed kunnen concurreren met groenalgen onder stikstofarme omstandigheden. Slechts een deel van de toxineproducerende blauwalgen is echter in staat om stikstof uit de lucht te fixeren en niet-fixerende blauwalgen zijn juist afhankelijk van hoge stikstofconcentraties in het water¹⁰⁾. Uit internationaal onderzoek komt een zeer divers beeld naar voren over het voorkomen van blauwalgenbloei, waarbij het in elk geval vaststaat dat blauwalgenbloei alleen voorkomt bij hoge fosfaatconcentraties in het water, regelmatig in combinatie met hoge stikstofconcentraties.

Hoewel minder uitgebreid onderzocht dan algen blijkt dat waterplanten door stikstof, fosfor en koolstof gelimiteerd kunnen worden. Stikstoflimitatie van waterplanten lijkt het vaakst voor te komen, maar in veel

Helder water met hoge biodiversiteit in de Wieden (foto: Roos Loeb).



meren wordt de groei van ondergedoken waterplanten beperkt door lichtlimitatie ontstaan door algenbloei, wat vaak gerelateerd is aan eutrofiëring met fosfor. Toch blijkt uit studies uitgevoerd in Groot-Brittannië, Polen¹¹⁾ en Denemarken¹²⁾ dat zowel de biodiversiteit als de bedekking met waterplanten sterk vermindert bij hoge stikstofconcentraties, ongeacht de fosforconcentratie.

In de KRW vormen, naast het water, oevers een belangrijk onderdeel van een waterlichaam. De vegetatie van oevers en van ondiep water (wetlandplanten) bepaalt mede de score van een water op de KRW-maatlat. De vegetatie van oevers, uiterwaarden en wetlands kan gelimiteerd zijn door stikstof, fosfor en/of kalium, waarvan (co-)limitatie door stikstof het vaakst voorkomt¹³⁾. Aanvoer van het limiterende nutriënt leidt op oevers tot verrijking met grassen en brandnetels. In de ondiepe delen van watergangen leidt dit tot het versneld dichtgroeien van de watergang met helofyten¹⁴⁾.

Kennisleemten

Het onderzoek aan nutriëntenlimitatie in meren overheerst. In sloten, die ondiep zijn en niet door fytoplankton worden gedomineerd maar door hogere planten, ontbreekt echter gedegen onderzoek naar nutriëntenlimitaties. Naar nutriëntenlimitaties in stromende wateren is ook weinig onderzoek verricht, zodat ook hier een duidelijk beeld ontbreekt. Door de trekkracht van het water is de bedding van stromende wateren vaak schaars begroeid en heeft eutrofiëring een onduidelijk effect op de concurrentie tussen planten onder water. Wat wel duidelijk is, is dat bij eutrofiëring van stromende wateren ondergedoken planten begroeid kunnen raken met epifyten (op de planten groeiende algen)¹⁵⁾, die zowel door fosfor als stikstof gelimiteerd kunnen zijn. Een sterke begroeiing met epifyten neemt het licht weg voor de planten waarop zij groeien, waardoor ondergedoken waterplanten kunnen verdwijnen. Daarnaast is vanzelfsprekend ook het verrijgende effect van eutrofiëring op de oevers van stromende wateren bekend.

Zeker nu door defosfateringsmaatregelen en biomanipulatie de turbiditeit van veel meren in Nederland is afgenomen en er dus meer licht tot op de bodem doordringt, is de verwachting dat nutriëntenlimitatie bij ondergedoken waterplanten weer een belangrijkere rol gaat spelen en relevant zal zijn voor de soortensamenstelling van de ondergedoken vegetatie. Onderzoek naar de limitatie van ondergedoken waterplanten in relatie tot die van de algen in hetzelfde water ontbreekt echter nog.

Conclusies

Fosfor is het belangrijkste sturende nutriënt voor algenbloei in zoete, stilstaande wateren. Er zijn echter ook omstandigheden waarin stikstof het sturende nutriënt is, zoals bij het optreden van fosfaatrijke kwel of periodiek als alle stikstof uit het water in de loop van het groeiseizoen al is opgenomen. Voor de diversiteit aan waterplanten, en daarmee



Chara major in een duinplas op Texel (foto: Roos Loeb).

voor het bereiken van de 'goede ecologische toestand' of het 'goed ecologisch potentieel' volgens de KRW, is ook stikstof van groot belang. Daarnaast is stikstof vaak limiterend voor de vegetatie van oevers, moerassen en uiterwaarden en kan beïnvloeding met stikstofrijk water zorgen voor verrijking, ook als algen of planten in het desbetreffende water zelf door fosfor gelimiteerd zijn. Bij de huidige sterke beleidsnadruk op fosfor als limiterend nutriënt in zoete wateren, ontstaat het risico dat de verbetering van de biodiversiteit en bedekking van hogere planten niet optreedt. Reductie van emissies van stikstof naast die van fosfor is dus belangrijk voor de KRW.

LITERATUUR

- 1) Heinis F. en C. Evers (2007). Afleiding getalswaarden voor nutriënten voor de goede ecologische toestand voor natuurlijke wateren. STOWA/RIZA.
- 2) Loeb R. en P. Verdonschot (2009). Complexiteit van nutriëntenlimitaties in oppervlaktewateren. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu. Werkdocument 128. Alterra.
- 3) Redfield A. (1958). The biological control of chemical factors in the environment. *American Scientist* 46, pag. 205-221.
- 4) Sand-Jensen K. en J. Borum (1991). Interactions among phytoplankton, periphyton, and macrophytes in temperate fresh-waters and estuaries. *Aquatic Botany* 41, pag. 137-175.
- 5) Bergstrom A., P. Blomqvist en M. Jansson (2005). Effects of atmospheric nitrogen deposition on nutrient limitation and phytoplankton biomass in unproductive Swedish lakes. *Limnology and Oceanography* 50, pag. 987-994.
- 6) Kilinc S. en B. Moss (2002). Whitemere, a lake that defies some conventions about nutrients. *Freshwater Biology* 47, pag. 207-218.
- 7) De Klein J. (2008). Trends in N/P ratios and limitations in Dutch surface waters. Presentatie op Cost869 WG2 workshop 'N/P limitation and interactions between N and P in surface water' in Athene.
- 8) Roelofs J., E. Brouwer en R. Bobbink (2002). Restoration of aquatic macrophyte vegetation in acidified and eutrophicated shallow soft water wetlands in the Netherlands. *Hydrobiologia* 478, pag. 171-180.
- 9) Sommer U. (1993). Phytoplankton competition in Plußee - a field-test of the resource-ratio hypothesis. *Limnology and Oceanography* 38, pag. 838-845.
- 10) Van der Molen D., R. Portielje, W. de Nobel en P. Boers (1998). Nitrogen in Dutch freshwater lakes: trends and targets. *Environmental Pollution* 102, pag. 553-557.
- 11) James C., J. Fisher, V. Russell, S. Collings en B. Moss (2005). Nitrate availability and hydrophyte species richness in shallow lakes. *Freshwater Biology* 50, pag. 1049-1063.
- 12) Gonzalez Sagrario M., E. Jeppesen, J. Goma, M. Sondergaard, J. Jensen, T. Lauridsen en F. Landkildehus (2005). Does high nitrogen loading prevent clear-water conditions in shallow lakes at moderately high phosphorus concentrations? *Freshwater Biology* 50, pag. 27-41.
- 13) Olde Venterink H., R. van der Vliet en M. Wassen (2001). Nutrient limitation along a productivity gradient in wet meadows. *Plant and Soil* 234, pag. 171-179.
- 14) Geurts J., J. Sarneel, B. Willers, J. Roelofs, J. Verhoeven en L. Lamers (2009). Interacting effects of sulphate pollution, sulphide toxicity and eutrophication on vegetation development in fens: A mesocosm experiment. *Environmental Pollution* 157, pag. 2072-2081.
- 15) Hilton J., M. O'Hare, M. Bowes en J. Jones (2006). How green is my river? A new paradigm of eutrophication in rivers. *Science of the Total Environment* 365, pag. 66-83.