

Nutriënten in stromende wateren

Het project is uitgevoerd in opdracht van het ministerie van VROM.

Nutriënten in stromende wateren

Een samenvatting

P.F.M. Verdonschot & R.C. Nijboer

Alterra-rapport 516c

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2002

REFERAAT

Verdonschot P.F.M., Nijboer R.C. & Higler L.W.G. 2002. *Nutriënten in stromende wateren. Een samenvatting*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 516c. 30 blz. 10 tab.; 10 ref.

Dit rapport geeft een samenvatting van het onderzoek dat is uitgevoerd in het kader van het project Typegerichte normstelling en stroomgebiedbenadering. Het behandelt de belangrijkste ecologische processen in beken in relatie tot nutriënten. Er wordt een voorstel gedaan voor normering van de belangrijkste nutriënten en er wordt beschreven hoe normering ingepast kan worden in een beeksystembenadering.

Trefwoorden: nutriënten, beken, rivieren, normering, beekherstel, stromende wateren

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door €13,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 516c. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2002 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: postkamer@alterra.wag-ur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
1 Inleiding	9
2 Ecologische processen	11
2.1 Toevoer, decompositie en productie	11
2.2 Omzetting, transport en recycling van nutriënten	11
3 Eutrofiëring van beken	13
4 Nutriëntenormering voor beken	15
4.1 Inleiding	15
4.2 Berekeningswijze	15
4.3 Keuze van stoffen	17
4.4 Ortho-fosfaat	18
4.5 Totaal fosfaat	18
4.6 Ammonium	19
4.7 Nitraat	20
4.8 Overige stoffen	21
5 Nutriëntenormering in relatie tot andere factoren	23
6 Aanvullende maatregelen	27
Referenties	29

Woord vooraf

Het in dit rapport beschreven onderzoek is een onderdeel van het programma "Typegerichte normstelling en stroomgebiedsbenadering". Doelen van het project zijn:

- Het afleiden van effectgerichte milieukwaliteitsnormen voor een aantal (belangrijke) typen oppervlaktewater (als eerste voor sloten, meren & plassen, stromende wateren, vennen en grote wateren (zowel zoet als zout)).
- Het onderbouwen van de relatie tussen landgebruik en de resulterende belasting van het oppervlaktewater en de effecten erin via uit- en afspoeling.
- Middels proefprojecten volgens een gebiedsgerichte aanpak en op grond van de watersysteembenadering nagaan op welke wijze de voorgestelde waterkwaliteitsdoelstellingen voor de verschillende typen oppervlaktewater in een gebied samenhangen en randvoorwaarden stellen aan het gebruik van dit gebied.
- Het ontwikkelen van een modelinstrumentarium waarmee effecten van de totale belasting met nutriënten vanuit een regio op een rijkswateren (zowel zoet als zout) kunnen worden beoordeeld.
- Het meewerken met CIW V aan het vaststellen van een 'handvat toetsingskader nutriënten in regionale oppervlaktewateren', waarmee provincies en waterbeheerders op een zinvolle wijze kunnen komen tot beoordeling en normstelling van nutriënten in regionale oppervlaktewateren.

Het project ressorteert onder het koepelproject "Gedifferentieerde normstelling voor nutriënten in oppervlaktewater. Een voorstel voor onderzoek en modellering". Het gelijknamige projectplan werd in 1998 geaccepteerd door de stuurgroep "Nutriënten in Oppervlaktewater", waarin de participerende instituten RIVM, RIZA, STOWA en Alterra, samen met de opdrachtgever het Ministerie voor VROM/DGM/BWL vertegenwoordigd waren. Het project is nauw gelieerd aan de CIW 5 subgroep "Gedifferentieerde normstelling in oppervlaktewater", die zich met name richt op praktijkrelaties in gebieden.

Het in dit rapport beschreven onderzoek geeft een samenvatting van het normstellingsonderzoek in beken. Het normstellingsonderzoek in beken betreft drie delen:

- Het beschrijven van ecologische processen
- Het afleiden van nutriëntennormen
- Het verkennen van beschikbare modellen

Het onderzoek werd gefinancierd door het Ministerie voor VROM/DGM/BWL.

Leden van de stuurgroep: Douwe Jonkers (DGM/BWL, opdrachtgever), Jieles van Baalen (LNV/DWK), Ton Bresser (RIVM, voorzitter), Frans Claessen (RIZA), Miep van Gijsen (Alterra), Bert Higler (Alterra), Lowie van Liere (RIVM, projectsecretaris), Oene Oenema (Alterra, agendalid), Bas van der Wal (STOWA)

Verder namen deel aan de vergaderingen van de stuurgroep de projectleiders van de verschillende onderdelen: Francisco Leus (RIZA, projectleider RISTORI), Carla Bisseling (EC-LNV, projectleider Aquatische Natuurdoeltypen), Lowie van Liere (projectleider Typegerichte normstelling en stroomgebiedsbenadering).

1 Inleiding

Veel Nederlandse beeksystemen staan onder invloed van een hoge nutriëntentoevoer als gevolg van intensieve landbouw in het stroomgebied. Overvloedige bemesting zorgt voor oppervlakkige afspoeling van nutriënten naar het water en voor een verhoging van nutriëntenconcentraties in oppervlakkig en uiteindelijk diep grondwater. Daarnaast verandert de aard van de nutriënten in een beek door verandering van vegetatie in het stroomgebied (landbouwgewassen in plaats van de natuurlijke vegetatie, meestal bos).

De toename van toevoer van nutriënten naar beken heeft effect op processen in de beek en op de levensgemeenschap. Het is van belang vast te stellen aan welke voorwaarden voldaan moet worden voor een duurzame ontwikkeling van het systeem. Hiervoor is kennis noodzakelijk omtrent processen met betrekking tot nutriënten in beken. Deze processen zijn sterk afhankelijk van de ligging van de beek, het beektraject en de lokale geomorfologische en hydrologische kenmerken van het gebied. Om gebiedsgericht normen te kunnen stellen is het nodig om te weten welke processen van belang zijn en hoe deze processen kunnen verschillen afhankelijk van het beektype.

Kernvraag:

Hoe hoog kunnen de concentraties van nutriënten in beken zijn zonder dat processen in de beek dusdanig veranderen dat een negatief effect op het beekstelsysteem optreedt?

Nutriënten in stromende wateren: een drieluik

Dit rapport is een samenvatting van een serie van drie rapporten. In het eerste rapport 'Nutriënten in stromende wateren: Effecten van verrijking op de fysische, chemische en ecologische processen' (Nijboer 2001) zijn de resultaten beschreven van een uitgebreid **literatuuronderzoek naar processen** met betrekking tot nutriënten in beken. Op basis van literatuur is een overzicht gegeven van de ecologische processen en de nutriëntenhuishouding in beken. De studie richtte zich op de processen en de effecten in het beekstelsysteem alsmede de relaties naar het stroomgebied. Tevens zijn uit de literatuur methodieken voor modellering geëxtraheerd

Een beek kan niet als losstaand element worden beschouwd. Het is een onderdeel van het stroomgebied. Dit impliceert dat duurzame ontwikkeling van een beek vraagt om een stroomgebiedbenadering. Kennis van de rol die nutriënten spelen in het beekstelsysteem zelf, maar ook kennis van de processen van input, transport (tijdelijke opslag) en output van nutriënten, is daarvoor vereist. Voor het bepalen van de input van nutriënten in een beek vanuit het stroomgebied zijn verschillende **hydrologische en hydraulische oppervlaktewatermodellen** beschikbaar. Een overzicht van deze modellen is opgenomen in het tweede rapport van deze serie 'Nutriënten in stromende wateren: Een verkenning van ecologisch relevante hydrologische en hydraulische modelkenmerken' (Verdonschot 2002).

Ten slotte zijn in een derde rapport: 'Nutriënten in stromende wateren: Overzicht van normen' voorlopige **nutriëtnormen** voor stromende wateren afgeleid op basis van literatuur, een bekentypologie en referenties. In het kader van het DLO-programma 324 (Aquatische Ecosystemen & Visserij) zijn de beken van Nederland op basis van gegevens van waterbeheerders getypeerd in termen van structuren en processen. Dit onderzoek heeft geresulteerd in een bekentypologie waarin beekorganismen en milieuvariabelen gekwantificeerd zijn opgenomen. Ten behoeve van de normstelling worden uit de beektypologie de huidige nutriëntengehalten afgeleid. Tevens is binnen het programma 324 onderzoek uitgevoerd naar referentie-laaglandbeken in Polen en is samengewerkt met de Universiteit van Essen voor een vergelijkbaar grootschalig typologisch onderzoek in het westelijk en oostelijk deel van Duitsland (eveneens laaglandbeken). Dit leverde een gekwantificeerd beeld van nutriëntengehalten in referentie-beken. Daarnaast zijn de natuurlijke achtergrondgehalten van stoffen in de Nederlandse zandgebieden bestudeerd.

Deze samenvatting geeft de belangrijkste resultaten van het gehele onderzoek weer met de nadruk op de nutriëtnormering in beken in relatie tot de beeksystembenadering.

2 Ecologische processen

2.1 Toevoer, decompositie en productie

De van nature belangrijkste ecologische processen in beken die een duidelijk verband hebben met het nutriëntengehalte zijn de input en afbraak van detritus en de primaire productie. Detritus is organisch materiaal dat vooral vanaf de oevers in de beek terecht komt en op de oever of in het water door organismen wordt afgebroken tot opgeloste organische verbindingen of anorganische nutriënten. De hoeveelheid nutriënten die vrijkomt uit detritus is moeilijk te bepalen. Deze hangt af van de afbraaksnelheid die afhankelijk is van de fysische structuur van het detritus, van de chemische samenstelling van het detritus en van de milieu-omstandigheden in het water.

Primaire productie door bijvoorbeeld algen en waterplanten zorgt voor opname van nutriënten en de vorming van organisch materiaal binnen het beekstelsel. In kleinere beken zijn algenmatten op de bodem (op verschillende substraten) dominant, in grotere beken en rivieren gaat het fytoplankton een rol spelen. Primaire producenten kunnen worden gelimiteerd door licht, nutriënten, verstoring, stroomsnelheid, zelfregulatie en begrazing. Vaak zijn niet deze factoren op zich van belang maar treden interacties op waardoor limitatie versterkt of afgezwakt wordt. Welke factor limiterend is, is afhankelijk van de beek, het beektraject, het habitat, het seizoen en de soort producent. Wel blijkt het nutriënt fosfor vaker limiterend te zijn dan stikstof. Of dit ook geldt voor de Nederlandse beken is niet bekend. Indien de productie door nutriënten gelimiteerd is, kan een nutriëntenoverschot in beken snel worden opgenomen. Vooral als er veel fytoplankton aanwezig is kan dit de nutriëntenconcentratie snel doen afnemen. Dit kan van belang zijn bij eutrofiëring of organische belasting. Bij lage nutriëntenconcentraties in de waterlaag is het van belang dat nutriënten binnen het systeem zo lang mogelijk vastgehouden en hergebruikt worden. Hergebruik van nutriënten kan optreden binnen waterplanten of de algenmat. Dit resulteert in een lagere turnoversnelheid van fosfor vanuit de algenmat of de waterplant richting de waterkolom. Het geproduceerde organische materiaal wordt uiteindelijk via de voedselketen als detritus afgebroken en komt via decompositieprocessen weer als nutriënten in het water terecht.

2.2 Omzetting, transport en recycling van nutriënten

Normstelling moet gebiedsgericht zijn, omdat processen niet alleen tussen beken kunnen verschillen maar ook tussen trajecten in een beek. De processen zijn afhankelijk van het traject in de beek en de mate van beschaduwing. Bovenlopen van beken hebben dikwijls van nature bos op de oevers, zodat er veel input van organisch materiaal is. Beschaduwing zorgt er eveneens voor dat de primaire productie laag is. Bij smalle bovenloopjes is de toevoer van detritus relatief hoger doordat vallende bladeren en takken over het gehele oppervlak van de beek terecht kunnen komen.

Stroomafwaarts neemt de instraling van zonlicht toe. Ook al zijn de oevers bebost, dan kan het toch zo zijn dat het midden van de beek niet meer in de schaduw valt. Vaak liggen deze trajecten ook in meer open gebieden. Doordat er meer zonlicht is en minder toevoer van detritus is de productie hier hoger maar de afbraak van detritus lager. Wel is het zo dat nutriënten die bovenstrooms zijn vrijgekomen door de afbraak van detritus naar de benedenstroomse delen getransporteerd worden.

Organische en anorganische nutriënten zowel afkomstig van detritus als van primaire productie, komen in het voedselweb terecht. Terwijl het nutriënt zich door het voedselweb verplaatst, bevindt het zich in organismen en wordt het niet door het water getransporteerd naar benedenstroomse delen. Op deze manier kunnen nutriënten in een bepaald traject worden vastgehouden. Uiteindelijk komen de nutriënten weer vrij in de waterkolom en worden ze getransporteerd. Dit proces vindt continu plaats waardoor telkens een hoeveelheid nutriënten getransporteerd wordt.

Nutriëntencycli en -spiraal zijn van groot belang in het voorspellen van het effect van toevoeging van nutriënten aan een stromend-water-systeem. Gedurende de tijd dat een nutriënt een serie van transformaties ondergaat, waarbij een cyclus wordt gevormd als het weer in de oude staat terug is, legt het eveneens een bepaalde afstand stroomafwaarts af. Deze open cyclus die longitudinaal is wordt 'spiraal' genoemd. Met behulp van de theorieën omtrent nutriëntenspiralen kunnen de regeneratie-, opname- en transportsnelheid van nutriënten in het systeem bepaald worden. De dichtheid van de spiralen geeft aan in welke mate een systeem nutriënten kan vasthouden. Tevens geeft het weer hoe lang nutriënten in biota verblijven en hoe lang ze in het water verblijven voordat ze worden opgenomen. Om dergelijke gegevens te kunnen berekenen zullen bepaalde maten bekend moeten zijn. Het meten hiervan is echter erg moeilijk. De informatie over nutriëntenspiralen is theoretisch onderbouwd maar slechts eenmaal getoetst in de praktijk

3 Eutrofiëring van beken

Veel Nederlandse beeksystemen staan onder invloed van een hoge nutriëntentoevoer als gevolg van intensieve landbouw in het stroomgebied. Overvloedige bemesting zorgt voor oppervlakkige afspoeling van nutriënten naar het water en voor een verhoging van nutriëntenconcentraties in oppervlakkig en uiteindelijk diep grondwater. Daarnaast verandert de aard van de nutriënten in een beek door verandering van vegetatie in het stroomgebied (landbouwgewassen in plaats van de natuurlijke vegetatie, meestal bos en soms heide of veen).

De toename van toevoer van nutriënten naar beken heeft effect op processen in de beek en op de levensgemeenschap. Eutrofiëring in beken en rivieren kan leiden tot:

- Verhoogde primaire productie, bijvoorbeeld overmatige algenbloei;
- Verhoogde afbraaksnelheid van organisch materiaal;
- Zuurstofftekort;
- Verandering in samenstelling van de algengemeenschap;
- Verandering in de soortensamenstelling van overige groepen zoals een toename van het aantal filtreerders (macrofauna die fijn organisch materiaal uit het water filtert).

Om gebiedsgericht normen te kunnen stellen voor nutriëntengehalten en -belastingen in beken is het noodzakelijk te weten welke processen beïnvloed worden door veranderingen in nutriëntengehalten en -toevoer en andersom. De processen in beken zijn duidelijk anders dan die in stilstaande wateren, doordat afvoer een grote rol speelt. Er vindt constant transport plaats van stoffen. Om een constant nutriëntengehalte te hebben moet de aanvoer en afvoer van nutriënten gelijk zijn. Afvoerpieken kunnen het hele systeem verstoren waarna het zich weer herstelt gedurende een periode met basisafvoer. Doordat het systeem dynamisch is, zijn fysische, chemische en ecologische processen en de relaties tussen deze processen complex.

4 Nutriëtnormering voor beken

4.1 Inleiding

Voor een gebiedsgerichte normering spelen twee vragen een centrale rol:

1. Wat is het belang van stikstof en fosfor op eutrofiëringsverschijnselen in beken?
2. Wat zijn de te verwachten effecten van een vermindering van de nutriëntenbelasting?

Uit de voorgaande paragraaf blijkt dat nutriënten van belang zijn in bekeecosystemen. Wijzigingen in de belasting of concentratie van stikstof en fosfor leveren wijzigingen op in het bekeecosysteem. Echter hierbij spelen twee vragen:

1. Zijn er grens- of drempelwaarden in de stikstof- en of fosforconcentratie waarbij het bekeecosysteem duidelijke wijzigingen ondergaat en het functioneren verandert en zijn deze waarden bekend?
2. Wat is het belang van wijzigingen in de nutriëntenconcentraties in een bekeecosysteem ten opzichte van de toestand van de factoren die samenhangen met de hydromorfologie van het systeem?

De eerste vraag bleek met behulp van literatuuronderzoek niet op te lossen. Op de tweede vraag wordt nader ingegaan in hoofdstuk 6.

4.2 Berekeningswijze

Voor het stellen van normen voor nutriënten in stromende wateren is gebruik gemaakt van zeven datasets (tabel 2):

1. Reeds bestaande regionale normen voor beken genoemd in rapporten (1 dataset: NI-normen) (referenties in Verdonschot et al. 2002);
2. Meetwaarden van nagenoeg natuurlijke beken in Nederland (3 datasets: NI-STORA, NI-19 en NI-bekentypologie);
3. Meetwaarden van (nagenoeg) natuurlijke stromende wateren in het buitenland (3 datasets: Polen, Duitsland, Denemarken).

Per dataset is de 10-percentiel en de mediaan van de concentraties van de betreffende stoffen berekend (Verdonschot, Nijboer & Higler 2001). Vervolgens zijn het totale tien-percentiel en de totale mediaan (van zowel de 10-percentielen als de medianen over alle datasets tezamen) bepaald. Deze waarden zijn gebruikt voor de normering (tabel 1).

Er is onderscheid gemaakt tussen de zogenaamde *gebruikswaarde* en de *referentiewaarde*. De *gebruikswaarde* is ruimer gedefinieerd en wordt toegepast voor wateren waar meerdere gebruiksfuncties in het water dan wel in het stroomgebied of de waterbeheerseenheid een rol spelen. De *referentiewaarde* heeft betrekking op de natuurlijke toestand van betreffend systeem (inclusief het stroomgebied of de waterbeheerseenheid) en gaat ervan uit dat de functie van het water natuur is.

Voor de bepaling van de gebruiks- en referentiewaarde per beektraject is steeds het schema uit tabel 1 aangehouden. Deze getalsvolgorde is gebaseerd op het principe dat de stofgehalten gaande stroomafwaarts zullen toenemen.

Tabel 1 Schema ter vaststelling van de gebruiks- en referentiewaarde voor nutriënten uit de totale 10-percentiel en mediane waarden berekend over alle zeven gebruikte datasets tezamen.

beektraject	gebruikswaarde	referentiewaarde
bovenloopjes	mediaan van 10-percentielen	10-percentiel van 10-percentielen
bovenlopen	mediaan van 10-percentielen	10-percentiel van 10-percentielen
middenlopen	10-percentiel van medianen	mediaan van 10-percentielen
benedenlopen	mediaan van medianen	10-percentiel van medianen
riviertjes	mediaan van medianen	10-percentiel van medianen
beken algemeen	10-percentiel van medianen	10-percentiel van 10-percentielen

De op deze wijze verkregen normen worden vergeleken met de ranges die worden genoemd in de referentietypen uit het Aquatisch Supplement, met bestaande Nederlandse normen en met een, in het verleden op meetwaarden gebaseerde, classificatie in trofie- of saprobiëklassen. Tenslotte is ook een vergelijking met enkele buitenlandse normen uitgevoerd.

Er is voor deze rekenkundige benadering gekozen omdat:

1. Kennis over de vertaling van de onderliggende processen in concentraties ontbreekt
2. Kennis over grenswaarden waarbij ecologisch relevante veranderingen optreden ontbreekt
3. Gegevens van langjarige meetreeksen met een hoge meetfrequentie in natuurlijke systemen ontbreken.

Er is dus zeer weinig bekend over de effecten van verhoogde nutriëntenconcentraties in Nederlandse beken. Buitenlands onderzoek heeft uitgewezen dat effecten wel degelijk optreden, ook al bij lichte verhoging van concentraties. De effecten zijn echter mede afhankelijk van de lokale omstandigheden van de beek, zoals beschaduwing, dimensies en aanwezige organismen (Nijboer 2001).

De keuze voor de 10-percentiel en de mediaan is ingegeven door de redenering dat de beschikbare informatie afkomstig is uit recente meetreeksen in Nederland en omliggende landen. Alle recente metingen zijn afkomstig uit nagenoeg natuurlijke tot halfnatuurlijke beeksystemen. Deze beeksystemen representeren de best beschikbare maar niet de daadwerkelijk natuurlijke toestand. Waarschijnlijk zijn de meeste locaties minimaal in geringe mate beïnvloed. Daarom schatten we in dat de 10-percentiel, als zeer strenge maat (bijvoorbeeld in tegenstelling tot de iets ruimere 25-percentiel gebruikt door Peeters & Gardeniers (1998)), het dichtst de natuurlijke waarde zal benaderen. Een wetenschappelijke onderbouwing is hier niet voor te geven maar zolang niet aangetoond is dat hogere nutriëntengehalten niet nadelig zijn voor de levensgemeenschap is het beter met normering aan de veilige kant te zitten. Herstel is veel en veel moeilijker dan verstoring en herstel duurt veel langer naarmate een systeem erger verstoord is. Het moet dus voorkomen worden dat beken die nu nog in goede staat zijn (verder) verstoord worden doordat de normen niet streng genoeg zijn. Soorten die toch al achteruit zijn gegaan in Nederland door verstoring (bijvoorbeeld eutrofiëring) van beken moeten beschermd worden door normering. Als de norm niet streng genoeg is, is het risico hoger dat soorten die gebonden zijn aan natuurlijke beken in Nederland uitsterven. Er is niet gekozen voor een bandbreedte omdat de gebruiker dan toch zelf een waarde hieruit zal kiezen voor de praktische toepassing (veelal de hoogst mogelijke waarde). Dit is voor bescherming van de Nederlandse beken verre van optimaal. Bovendien kunnen de effecten van

een bandbreedte en de verschillende mogelijkheden daarbinnen niet onderbouwd worden.

4.3 Keuze van stoffen

De belangrijkste nutriënten zijn stikstof en fosfaat. In beken is gebleken dat in de meeste situaties fosfaat het limiterende nutriënt is voor algengroei. Echter, stikstof is zeker van belang, vooral als er zoveel fosfor in het beekwater aanwezig is dat het niet meer limiterend is.

Fosfaat heeft pas effect op de levensgemeenschap als het voorkomt in bio-beschikbare vorm. Dit is de opgeloste vorm die door organismen kan worden opgenomen en gebruikt (voornamelijk ortho-fosfaat). Doordat ortho-fosfaat opgenomen en weer afgegeven wordt, is verstoring (overmatige concentratie) vaak niet meetbaar. In meerdere onderzoeken is aangetoond dat het beter is om normering te richten op totaal-fosfaat. Deze fractie omvat alle fosfaten zowel in beschikbare als in gebonden vorm. Dit betekent dat ook het fosfaat dat op het moment nog gebonden is aan bijvoorbeeld bodemdeeltjes maar later vrij kan komen en kan worden opgenomen door organismen ook wordt meegenomen. Er is altijd uitwisseling van fosfaat in gebonden vorm met fosfaat in opgeloste vorm (Nijboer 2001).

Normering van alleen totaal-fosfaat volstaat dus maar omdat veel waterbeheerders (ook) orthofosfaat meten zijn ook daarvoor normen opgenomen.

Wat betreft stikstof is normering ingewikkelder. Stikstof bindt zich in tegenstelling tot fosfaat in veel mindere mate aan bodemdeeltjes dan zodat het minder belangrijk is hoeveel zich nog in niet-beschikbare vorm bevindt. De twee verschillende stikstofvormen, namelijk nitraat en ammonium zijn indicatoren voor verschillende typen verstoring en ze hebben invloed op verschillende processen in de beek. Een hoog ammoniumgehalte duidt op een grote hoeveelheid organisch materiaal in de beek. Het kan een aanwijzing zijn voor organische belasting (als gevolg van rioolwateroverstort of effluent van een zuiveringsinstallatie). Ammonium wordt opgenomen door heterotrofe organismen (micro-organismen en dieren). Nitraatbelasting vindt meestal plaats via het grondwater. De beken die liggen op de Nederlandse pleistocene zandgronden zijn onderhevig aan hoge nitraatconcentraties afkomstig van bemesting van weilanden en akkers. Dierlijke mest bevat veel ammonium dat in de bovenste laag van de bodem wordt omgezet in nitraat. Kunstmest kan naast organische stikstofverbindingen ook nitraat bevatten. Nitraat spoelt uit naar het grondwater. Het is een stof die zich nauwelijks bindt aan bodemdeeltjes. Via het grondwater komt het nitraat in de beek terecht. Nitraat wordt opgenomen door autotrofe organismen, zoals algen en waterplanten (Nijboer 2001). Omdat beide stoffen andere verstoringen aanduiden en andere processen beïnvloeden zijn ze beide in normering van belang. Een andere vaak gemeten variabele is totaal stikstof. Dit is een minder geschikte variabele om in normering te gebruiken, omdat hierbij niet duidelijk is wat het type verstoring is en waar in het systeem de grootste effecten te verwachten zijn. Ter informatie is deze variabele nog wel opgenomen.

4.4 Ortho-fosfaat

Een samenvattend overzicht voor ortho-fosfaat, gebaseerd op de 10-percentiel en de mediaan van alle zeven beschikbare getallenreeksen, is gegeven in tabel 2. De spreiding in de ortho-fosfaat bij de NI-normen is erg ruim maar zelfs de 10-percentiel van het hoogste niveau duidt volgens Leentvaar (1979) op een hyper/polytrofe toestand.

Tabel 2 Samenvatting van 10-percentielen en medianen van alle zeven beschikbare getallenreeksen voor ortho-fosfaat (NI-normen=bestaande normen in Nederland, NI-STORA=meetwaarden nutriënten in het STORA onderzoek, NI-19 beken=meetwaarden van 19 nagenoeg natuurlijke beken in Nederland, NI-bekentypologie=meet-waarden van beken in enkele nagenoeg natuurlijke beektypen, D, De en P=meetwaarden in (nagenoeg) natuurlijke beken in respectievelijk Duitsland, Denemarken en Polen).

getallenreeks o-P (mgP/l)	NI- normen	NI- STORA	NI- 19 beken	NI-beken- typologie	D	De	P	10-perc. totaal	mediaan totaal
10-perc. per dataset	0.078	0.015	0.006	0.016	0.050	0.002	0.076	0.004	0.016
Mediaan per dataset	0.165	0.035	0.028	0.030	0.074	0.006	0.320	0.019	0.035

De waarden in de Duitse en Poolse beken lopen uiteen van eu- tot ver boven hypertroof. In Denemarken liggen de waarden daar ver onder (oligotroof). In Nederland zijn de gemeten waarden in het algemeen nogal wisselend maar liggen de recente metingen (NI-19 beken) toch in het oligo- tot mesotrofe gebied. Ortho-fosfaat is niet in de Aquatisch Supplement-referentietypen opgenomen. De buitenlandse norm voor natuurlijke rivieren van 0.0125 mgP/l ligt iets onder de hier voorgestelde referentiewaarde Meybeck (1982).

Tabel 3 Voorstel voor gebruiks- en referentiewaarden voor ortho-fosfaat in verschillende beektrajecten.

ortho-fosfaat	gebruikswaarde mgP/l	referentiewaarde mgP/l
bovenloopjes	0.016	0.004
bovenlopen	0.016	0.004
middenlopen	0.019	0.016
benedenlopen	0.035	0.019
riviertjes	0.035	0.019
beken algemeen	0.019	0.004

4.5 Totaal fosfaat

Een samenvattend overzicht voor totaal-fosfaat, gebaseerd op de 10-percentiel en de mediaan van alle zeven beschikbare getallenreeksen, is gegeven in tabel 4.

Ook de spreiding in totaal-fosfaat is ruim en volgens Wegl (1983) en Vollenweider (1968) hyper/polytroof te noemen. De normen voor de meeste beektypen (tabel 5) vallen in de hoogste klasse. De ranges in Duitsland liggen rondom de hypertrofe toestand. In de Poolse beken lopen de waarden van eu- tot ver boven hypertroof. In Nederland liggen de waarden in het algemeen, ook in de periode 1998-2000, in het bereik van meso- tot eutroof.

Tabel 4 Samenvatting van 10-percentielen en medianen van alle zeven beschikbare getallenreeksen voor totaal-fosfaat (NI-normen=bestaande normen in Nederland, NI-STORA=meetwaarden nutriënten in het STORA onderzoek, NI-19 beken=meetwaarden van 19 nagenoeg natuurlijke beken in Nederland, NI-bekentypologie=meet-waarden van beken in enkele nagenoeg natuurlijke beektypen, D en P=meetwaarden in (nagenoeg) natuurlijke beken in respectievelijk Duitsland en Polen).

getallenreeks t-P (mgP/l)	NI- normen	NI- STORA	NI- 19 beken	NI-beken- typologie	D	P	10-perc. totaal	mediaan totaal
10-perc. per dataset	0.165	0.0205	0.024	0.036	0.096	0.072	0.022	0.054
mediaan per dataset	0.300	0.0475	0.070	0.100	0.189	0.440	0.059	0.145

In de Aquatisch Supplement-referentietypen loopt de range uiteen van oligo-mesotroof voor de zwak zure beeksystemen tot hyper/polytroof voor de riviertjes. De Duitse norm voor gestuwde rivieren van 0.16-0.20 mgP/l kan als gebruikswaarde en die van 0.05-0.15 mgP/l als referentiewaarde worden gezien. Beide lijken erg hoog. Bestaande Nederlandse normen voor totaal-fosfaat zijn <0.3 mg/l in het IMP 80-84 en 0.05 mgP/l en 0.15 mgP/l voor de landelijke streefwaarde respectievelijk maximaal toelaatbaar risico (MTR) in de 4^{de} Nota Waterhuishouding. De voorgestelde waarden zijn tot 10 keer zo laag ten opzichte van het IMP, maar meer vergelijkbaar met de 4^{de} Nota Waterhuishouding.

Tabel 5 Voorstel voor gebruiks- en referentiewaarden voor totaal-fosfaat in verschillende beektrajecten.

totaal-fosfaat	gebruikswaarde mgP/l	referentiewaarde mgP/l
bovenloopjes	0.054	0.022
bovenlopen	0.054	0.022
middenlopen	0.059	0.054
benedenlopen	0.145	0.059
riviertjes	0.145	0.059
beken algemeen	0.059	0.022

4.6 Ammonium

Een samenvattend overzicht voor ammonium, gebaseerd op de 10-percentiel en de mediaan van alle zeven beschikbare getallenreeksen, is gegeven in tabel 6.

Tabel 6 Samenvatting van 10-percentielen en medianen van alle zeven beschikbare getallenreeksen voor ammonium (NI-normen=bestaande normen in Nederland, NI-STORA=meetwaarden nutriënten in het STORA onderzoek, NI-19 beken=meetwaarden van 19 nagenoeg natuurlijke beken in Nederland, NI-bekentypologie=meet-waarden van beken in enkele nagenoeg natuurlijke beektypen, D, De en P=meetwaarden in (nagenoeg) natuurlijke beken in respectievelijk Duitsland, Denemarken en Polen).

getallenreeks NH ₄ (mgN/l)	NI- normen	NI- STORA	NI- 19 beken	NI-beken- typologie	D	De	P	10-perc. totaal	mediaan totaal
10-perc. per dataset	0.18	0.06	0.03	0.08	0.07	0.00	0.06	0.02	0.06
mediaan per dataset	0.30	0.11	0.11	0.10	0.10	0.03	0.10	0.07	0.10

De spreiding in ammonium bevindt zich aan de onderzijde van het β -mesosaprobe gebied (Wegl 1983). De waarden in Duitsland en Polen duiden op oligosaprobe omstandigheden, terwijl die in Denemarken daar nog ver onder liggen. De Nederlandse waarden zijn vergelijkbaar met de Duitse en Poolse.

Ammonium is in de Aquatisch Supplement-referentietypen opgenomen als oligosaproob in de zwak zure beektypen en als β -mesosaproob in alle andere beektypen. De buitenlandse normen verschillen van 0.015, 0.2, 0.4, 0.5 tot 3.0 mgN/l. De laatste norm betreft kleinere stromende wateren, de overige normen hebben betrekking op rivieren. De waarden in tabel 6 liggen alle beduidend lager dan de buitenlandse normen. Vermoedelijk zijn de waarden voor ammonium in tabel 6 te streng en dient ammonium ruimer te worden genormeerd. De IMP 80-84 leidraadnorm voor ammonium + ammoniak bedroeg < 1.0 mgN/l. Deze norm is ook hoger dan de in tabel 6 en 7 berekende waarden. De normen per beektraject zijn weergegeven in tabel 7.

Tabel 7 Voorstel voor gebruiks- en referentiewaarden voor ammonium in verschillende beektrajecten.

ammonium	gebruikswaarde mgN/l	referentiewaarde mgN/l
bovenloopjes	0.06	0.02
bovenlopen	0.06	0.02
middenlopen	0.07	0.06
benedenlopen	0.10	0.07
riviertjes	0.10	0.07
beken algemeen	0.07	0.02

4.7 Nitraat

De spreiding in nitraat is erg ruim (tabel 8), de 10-percentiel is volgens de indeling van Leentvaar (1979) β -mesotroof terwijl de 90-percentiel op hyper/polytrofie duidt. De waarden in Duitsland liggen erg hoog. De Poolse waarden duiden op eutroof tot hypertroof water. Opvallend zijn de lagere Poolse waarden ten opzichte van de Duitse en de Nederlandse. Waarschijnlijk is nitraat de variabele die het sterkst toeneemt bij meer intensieve landbouwkundige bedrijfsvoering. In Nederland liggen de waarden van nitraat over het algemeen, juist in de periode 1998-2000 (NI-19 beken), erg gespreid; van oligo- tot hyper/polytroof.

Tabel 8 Samenvatting van 10-percentielen en medianen van alle zeven beschikbare getallenreeksen voor nitraat (NI-normen=bestaande normen in Nederland, NI-STORA=meetwaarden nutriënten in het STORA onderzoek, NI-19 beken=meetwaarden van 19 nagenoeg natuurlijke beken in Nederland, NI-bekentypologie=meet-waarden van beken in enkele nagenoeg natuurlijke beektypen, D, De en P=meetwaarden in (nagenoeg) natuurlijke beken in respectievelijk Duitsland, Denemarken en Polen).

getallenreeks	NI-normen	NI-STORA	NI-19 beken	NI-beken-typologie	D	P	10-perc. totaal	mediaan totaal
10-perc. per dataset	0.90	0.19	0.83	0.50	(4.40)*	0.40	0.28	0.50
mediaan per dataset	3.30	4.01	2.51	1.60	(5.65)*	0.90	1.18	2.51

* niet in de berekening betrokken

De nitraatwaarden zijn in de Aquatisch Supplement-referentietypen gesteld op waarden in de range van meso- tot eutroof. De buitenlandse norm voor nitraat van 0.1 mgN/l (Hamm 1991) is ten opzichte van de gevonden getallen laag te noemen. De bestaande IMP 80-84 leidraadnorm voor nitraat + nitriet bedroeg < 10 mgN/l. Deze norm was veel te hoog.

Tabel 9 Voorstel voor gebruiks- en referentiewaarden voor nitraat in verschillende beektrajecten.

nitraat	gebruikswaarde mgN/l	referentiewaarde mgN/l
bovenloopjes	0.50	0.28
bovenlopen	0.50	0.28
middenlopen	1.18	0.50
benedenlopen	2.51	1.18
riviertjes	2.51	1.18
beken algemeen	1.18	0.26

4.8 Overige stoffen

Een samenvattend overzicht voor de overige nutriënten en zuurstof, gebaseerd op de 10-percentiel en de mediaan van alle zeven beschikbare getallenreeksen, is gegeven in tabel 10.

Tabel 10 Samenvatting van 10-percentielen en medianen van alle zeven beschikbare getallenreeksen voor de overige nutriënten en zuurstof (NL-normen=bestaande normen in Nederland, NI-STORA=meetwaarden nutriënten in het STORA onderzoek, NI-19 beken=meetwaarden van 19 nagenoeg natuurlijke beken in Nederland, NI-bekentypologie=meet-waarden van beken in enkele nagenoeg natuurlijke beektypen, D, De en P=meetwaarden in (nagenoeg) natuurlijke beken in respectievelijk Duitsland, Denemarken en Polen).

stof	getallenreeks	NL-normen	NI-STORA	NI-19 beken	NI-beken-typologie	D	De	P	10-perc. totaal	mediaan totaal
O ₂ (min.)	10-perc. per dataset	5.3	9.7		5.9	9.2		7.6	5.5	7.6
	mediaan per dataset	6.0	9.8		7.8	9.7		9.2	6.7	9.2
O ₂ (max.)	10-perc. per dataset	7.5								
	mediaan per dataset	11.0								
O ₂ [%]	10-perc. per dataset		86			89		69		
	mediaan per dataset		88			96		76		
BOD ₅ [mg/l]	10-perc. per dataset		1.0		0.8	1.4	0.5	1.6	0.6	1.0
	mediaan per dataset		1.0		1.2	2.6	1.2	2.2	1.1	1.2
Nkj (10-perc)	10-perc. per dataset				0.59					
	mediaan per dataset				1.09					
t-N (10-perc)	10-perc. per dataset				2.8					
	mediaan per dataset				4.6					
NO ₂ [mg/l]	10-perc. per dataset			0.002		0.015				
	mediaan per dataset			0.020		0.050				

De waarden voor zuurstof zijn indicatief bedoeld. De IMP 80-84 leidraadnorm voor zuurstof is > 5 mg/l evenals het MTR in de 4^{de} Nota Waterhuishouding. Het lijkt erop dat de zuurstofnorm voor beken iets scherper mag worden gesteld.

De gevonden waarden voor het BZV duiden op oligo tot β-mesosaprobie.

Volgens de totaal-stikstof indelingen van Vollenweider (1968) en Wegl (1983) vallen de waarden voor de beektypen in de klasse hypertroof (> 1.5 mgN/l). De bestaande normen voor totaal-stikstof zijn < 2.0 mg/l voor de IMP 80-84 leidraadnorm, 1 mgN/l en 2.2 mgN/l voor de landelijke streefwaarde respectievelijk het MTR in de 4^{de} Nota Waterhuishouding. Deze lagere waarden en het gegeven dat stikstof in de Nederlandse beken meestal in overvloed aanwezig is als gevolg van de uitspoeling van nitraat, duiden aan dat de landelijke normen minimaal moeten blijven gelden.

5 Nutriëtnormering in relatie tot andere factoren

In het algemeen is het onmogelijk aan te geven of bovengenoemde waarden ook daadwerkelijk ecologisch relevant zijn. Het is te verwachten dat de aangegeven waarden in ieder geval aan de veilige kant zitten. Ruimere marges leiden snel tot eutrofiëringseffecten, daar veldmetingen in nauwelijks beïnvloede beeksystemen toch aanwijzingen geven van verandering in het beekecosysteem. De belangrijkste normen zijn die voor totaal fosfaat, ammonium en nitraat. Aanvullend kunnen normen gebruikt worden voor ortho-fosfaat, totaal stikstof, zuurstof en het biochemisch zuurstofverbruik (BZV).

Nutriënten zijn zeker van groot belang, zelfs in stromende wateren, maar andere factoren spelen eveneens een grote rol. Het verlagen van nutriëntengehalten heeft alleen effect als ook andere factoren in een beek optimaal zijn. Vaak gaan eutrofiëring en morfologische verstoring hand in hand. Tot op heden is in laaglandbeken geen gericht onderzoek gedaan naar de respons van het beekecosysteem op toenemende belasting met stikstof en/of fosfor. De aandacht is steeds uitgegaan naar de morfologie van de beek. Eutrofiëring kwam meestal niet alleen. Daar waar beken meer nutriënten ontvingen, was ook steeds sprake van veranderingen in het waterhuishoudkundige systeem ten behoeve van de heersende gebruiksfunctie (voornamelijk landbouw met de hiermee gepaard gaande normalisaties, regulaties en kanalisaties).

Het effect van een verhoogd nutriëntengehalte is vaak groter als de stroomsnelheid laag is. Dit betekent dat de effecten groter zullen zijn in rechtgetrokken, diepere, gestuwde beken dan in natuurlijk meanderende beken. Het effect van eutrofiëring op de levensgemeenschap hangt nauw samen met de stroomsnelheid en het zuurstofgehalte. Andersom is moeilijk te voorspellen of het verlagen van het nutriëntengehalte in een genormaliseerde rechtgetrokken beek een groter of kleiner effect heeft als het verlagen van het nutriëntengehalte in een natuurlijke meanderende beek. Enerzijds kan gesteld worden dat in de morfologisch aangetaste beek andere factoren nog steeds niet verbeterd zijn, zoals de stroomsnelheid maar anderzijds kan het verlagen van het nutriëntengehalte leiden tot een betere zuurstofhuishouding. In een natuurlijke beek was het effect minder sterk, dus zal na verbetering ook minder verandering optreden. Wel leidt het verlagen van nutriëntengehalten in dergelijke systemen die verder optimaal zijn tot het bereiken van de referentiesituatie. Dit laatste is natuurlijk het uiteindelijke doel van natuurbeleid en -beheer.

Het is dan ook van groot belang voor beekherstel om het systeem als geheel te beschouwen en alle nodige maatregelen samen uit te voeren. Het gaat om een systeembenadering, niet om een variabele gerichte benadering! In hoofdstuk 7 wordt nader ingegaan op maatregelen.

6 Ontwikkeling van een gebiedsgericht instrument

Om een gebiedsgericht instrument te bouwen voor de voorspelling van het effect van nutriënten in een stroomgebied of beek is het noodzakelijk **gegevens van de beek** te verzamelen zoals:

- Beschaduwing;
- Dimensies;
- Frequentie en duur van inundatie;
- Stroomsnelheid;
- Afvoerdynamiek.

Vervolgens moet bekend zijn hoeveel nutriënten in de beek terechtkomen (**nutriënteninput**). Dit wordt bepaald door kenmerken van het stroomgebied en het landgebruik. De input kan gemeten worden aan de hand van de volgende factoren:

- De input van detritus en de mate en snelheid van detritusafbraak;
- De input van organische nutriënten van antropogene herkomst (organische belasting);
- De input van anorganische nutriënten;
- De mate en snelheid van primaire productie;
- De ratio productie:respiratie;
- De limiterende factor voor de productie.

De retentie van nutriënten in een beektraject bepaalt de hoeveelheid nutriënten ter plekke en stroomafwaarts. Het **transport van nutriënten** kan bepaald worden met behulp van de volgende factoren:

- De aanwezigheid van structuren in de beek;
- De opname van nutriënten gedurende het transport door biota of fysisch/chemisch;
- De retentie van nutriënten in het systeem (organisch of anorganisch);
- De afgifte van nutriënten naar de waterkolom;
- Het transport van organisch materiaal (grof, fijn en opgelost);
- Het transport van nutriënten en organisch materiaal (vracht);
- De spiraallengte (opnamelengte en afstand in biota).

Ten slotte speelt de **afvoer van nutriënten** vanuit het systeem naar land, lucht of andere wateren een rol:

- De hoeveelheid nutriënten die het systeem verlaat via bijvoorbeeld nitrificatie, denitrificatie of respiratie;
- De afvoer van nutriënten vanuit het traject.

Al deze factoren verschillen met het seizoen. Seizoensverschillen moeten in beeld gebracht worden door de gegevens per beek(traject) gedurende verschillende seizoenen te bepalen. Een belangrijke factor is, zoals hierboven al beschreven, de afvoer. Deze factor fluctueert deels afhankelijk van het seizoen maar verschilt ook sterk tussen beken (veel-weinig, constant-fluctuerend) en zal zeker als belangrijke factor in een instrument opgenomen moeten worden.

De bouw van een geschikt gebiedsspecifiek instrument om nutriëntengehalten en hun effecten op biota te voorspellen vraagt om een uitgebreide verzameling van gegevens. In een aantal voorbeeldbeken, waarvan een deel met constante afvoer en

een deel met onregelmatige afvoer en een deel beschaduwd, zou uitgeprobeerd moeten worden of de benodigde gegevens verzameld kunnen worden en of het mogelijk is met behulp van deze gegevens effecten te voorspellen.

7 Aanvullende maatregelen

De aantasting van beken en beekdalen is een gevolg van ingrepen van de mens ten behoeve van de gebruiksfunctie van het stroomgebied. Natuurbeheer en -ontwikkeling in beken vereisen een aanpak gericht op het gehele stroomgebied. Bescherming en herstel van beken en beekdalen is ook van belang voor de terrestrische natuur. Inrichtings- en beheersmaatregelen die de oorzaak van de problematiek aanpakken, hebben vanuit ecologisch oogpunt altijd de voorkeur. In het dicht bevolkte Nederland is dit echter niet altijd mogelijk. Wordt de nutriëntenproblematiek in beschouwing genomen dan is dat zeker een probleem. Daarnaast zijn de stoffen niet altijd de enige factoren die een bedreiging vormen voor het beekmilieu. Structuren en stromingskenmerken zijn ook van belang. Het effect van herstel van deze beide factorcomplexen kan in veel gevallen tot een aanzienlijke ecologische verbetering leiden. Dit betekent niet dat stoffen minder belangrijk zouden zijn, maar dat steeds naar een optimaal ecologisch rendement gezocht dient te worden. Het effect van eutrofiëring en daarmee van eutrofiëringsbestrijding hangt af van de kwaliteit van de andere kenmerken.

Steeds moet gezocht worden naar maatregelen die de negatieve effecten op de natuur zo veel mogelijk opheffen. Maatregelen gericht op het langer vasthouden van water in het stroomgebied sorteren het grootste effect bij beekherstel. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan het opheffen van drainage, het verhogen van het drainageniveau of het aanleggen van retentiebekkens. Daarnaast is terugdringing van de toevoer van voedingsstoffen noodzakelijk. Vooral het terugdringen van de diffuse toevoer is van belang. Naast vermindering van bemesting kan de aanleg van bufferzones langs de beek positieve gevolgen voor de waterkwaliteit hebben. Herstelmaatregelen als hermeandering, verhoging van de beekbodem en aanplant van bomen versnellen het herstelproces (Van der Vlies 1996, Verdonschot *et al.* 1995).

Bij beken dringt zich steeds de vraag op naar het belang van nutriënten ten opzichte van het belang van andere factoren. Welk rendement levert een nutriëntenreductie op ten opzichte van een hydromorfologische ingreep? Volgens het 5-S-model staan de stoffen in de hiërarchie gelijk aan de stroming en de structuren. Echter de stoffen staan gerangschikt als derde naar belang in het beekstelsysteem functioneren ten opzichte van beide andere.

De ervaring heeft geleerd dat de aanpak van sterke belasting (eutrofiëring en saprobiëring) grote ecologische effecten oogst. De eerste en tweede saneringsgolf van rioolafvalwaterzuivering hebben in geheel Europa tot een sterke verbetering van de beekwaterkwaliteit geleid. Een verdere gaande verbetering van de waterkwaliteit is minder van belang voor het bekecosysteem maar van groot belang voor de beekwater ontvangende systemen (met andere woorden afwenteling kan grote consequenties hebben benedenstrooms). Zijn beken in verslechterde hydromorfologische toestand dan zal een hydromorfologische verbetering een ecologisch veel groter rendement oogsten dan een verdere verlaging van de nutriëntenlast. Momenteel verkeren veel Nederlandse laaglandbeken in een hydrologisch aangetaste toestand. De afvoerdynamiek is veel groter dan die in de natuurlijke toestand. Beekherstel is vooral gericht op de morfologie van de beeksystemen. Inzet van middelen op een verbetering

van de waterhuishouding en verdergaande structuurverbetering (vrije meandering en het terug laten keren van de rol van hout in de vorming van het beekstelsel (is gelijk het achterwege laten van onderhoud) lijkt daarom van veel groter belang dan een nog verdere reductie van nutriënten. Een uitzondering hierop vormt het nitraatgehalte. In de meeste Nederlandse beeksystemen is nitraat een bijna exponentieel toenemende parameter die leidt tot sterke en versnelde verzuivering van brongebieden en moeraszones, naast nog onbekende effecten op de natuurlijke primaire productie op de beekbodem.

Nader onderzoek naar de effecten van deze nitraatverhoging is zeer gewenst.

Referenties

- Hamm A. 1991. Studie ueber Wirkungen und Qualitaetsziele von Naehrstoffen in Fliessgewaessern. Sankt Augustin : Academia Verlag, ISBN: 3-88345-380-3.
- Leentvaar P. 1979. Comparison of hypertrophy on a seasonal scale in Dutch inland waters. -In: J. Barica and L.R. Mur (eds.). Developments in hydrobiology. 2: 45-55. Meinardi, C.R., 1974. De chemische samenstelling van het grondwater van de Veluwe. R.I.D.- mededeling 74-4. 47 pp.
- Meybeck M. 1982. Carbon, nitrogen and phosphorus transport by world rivers. Am. J. Sci. 282: 401-450.
- Nijboer R.C. 2001. Nutriënten in stromende wateren. Effecten van verrijking op de fysische, chemische en ecologische processen. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 332. 173 blz.
- Peeters E.T.H.M. & Gardeniers J.J.P. 1998. Aanzet tot gedifferentieerde grens- en streefwaarden voor nutriënten in regionale wateren. H₂O 1998-2: 16-20.
- Verdonschot P.F.M. 2002. Nutriënten in stromende wateren. Een verkenning van ecologisch relevante hydrologische en hydraulische modelkenmerken. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport in prep.
- Verdonschot P.F.M., Nijboer R.C. & Higler L.W.G. 2002. Nutriënten in stromende wateren. Overzicht van normen. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport in prep.
- Verdonschot P.F.M. *et al.* 1995. Beken stromen. Leidraad voor ecologisch beekherstel. Werkgroep Ecologisch Waterbeheer, subgroep Beekherstel, WEW-06. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, STOWA 95-03, Utrecht. 1-236.
- Vlies M. van der 1996. Beken natuurlijk in beweging. Vogelbescherming Nederland, Zeist. 143 pp.
- Vollenweider R.A. 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Organ. Econ. Coop. Dev. Tech. Rep. DAS/SCI 68.27, Paris.
- Wegl R. 1983. Index für die Limnosaprobität. Wasser und Abwässer 26: 1-176.

