



Nutriënten en het ecologisch functioneren van oppervlaktewateren

1. INLEIDING	2
3. STRATEGIE.....	3
4. SCHEMATISCHE WEERGAVE.....	3
5. WERKING.....	5
Herkomst	5
Transport	6
Retentie	6
Effecten	6
6. KOSTEN EN BATEN	7
7. RANDVOORWAARDEN	7
8. GOVERNANCE	9
9. PRAKTIJKERVARINGEN EN LOPENDE INITIATIEVEN	10
Bronaanpak	10
Effectgerichte maatregelen	11
End-of-pipe maatregelen	12
Tenslotte.....	13
10. KENNISLEEMTES	13
11. BRONNEN & LINKS	13
12. COLOFON	14
13. DISCLAIMER	Error! Bookmark not defined.

1. INLEIDING

Overmatige toevoer van nutriënten uit diffuse bronnen en puntbronnen leidt tot eutrofiëring van stromende en stilstaande wateren. Eutrofiëring van oppervlaktewater kan leiden tot problemen, zoals het optreden van massale waterplantengroei, overmatige algengroei, vertroebeling, zuurstofverlies, vissterfte en verlies aan biodiversiteit. Deze verrijking kan ook plaats vinden bij toevoer van organisch slib en ander organisch materiaal, we noemen dat saprobiëring. Wanneer het organisch materiaal afbreekt komen de voedingsstoffen vrij en treden secundaire eutrofiëringverschijnselen op. Deze Deltafact gaat in op de bronnen en effecten van deze stress en geeft inzichten in hoe de stress terug te dringen en tot welk niveau.

2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS

Deze Deltafact is gerelateerd aan de volgende onderwerpen:

Waterkwaliteit, ecologische kwaliteit, nutriënten, eutrofiëring, organische belasting

Gerelateerde kennisdocumenten:

van Geest, G. (2020). Factsheet: Rol van slibbodems in ondiepe stilstaande wateren. Notitie Kennisimpuls Waterkwaliteit. (in voorbereiding)

van Geest, G.J., P.F.M. Verdonschot, P.N.M. Schipper, A.J. Veraart, J.G.M. Roelofs, H.B.M. Tomassen (2021). Factsheet: Ecologische effecten van stikstof op Nederlandse oppervlaktewateren. Notitie Kennisimpuls Waterkwaliteit.

<https://www.kennisimpulswaterkwaliteit.nl/nl/publicaties/ecologische-effecten-van-stikstof-op-nederlandse-oppervlaktewateren>

van der Lee G.H. & Verdonschot P.F.M. (2021). Ecologische effecten van nutriënten op laaglandbeken. Kennisdocument Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. 40 pp.

<https://www.kennisimpulswaterkwaliteit.nl/nl/publicaties/ecologische-effecten-van-nutriënten-op-laaglandbeken>

Verdonschot P.F.M. & Verdonschot R.C.M. (2020). Factsheet: Fosforbelasting. Kennisimpuls Waterkwaliteit. Notitie Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR,

Wageningen. 24 pp.

<https://www.kennisimpulswaterkwaliteit.nl/nl/publicaties/factsheet-fosforbelasting>

Verdonschot P.F.M. & Verdonschot R.C.M. (2020). Kennisdocument Beekslib. Kennisimpuls Waterkwaliteit. Notitie Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. 11 pp.

<https://www.kennisimpulswaterkwaliteit.nl/nl/publicaties/beekslib>

Gerelateerde Deltafacts:

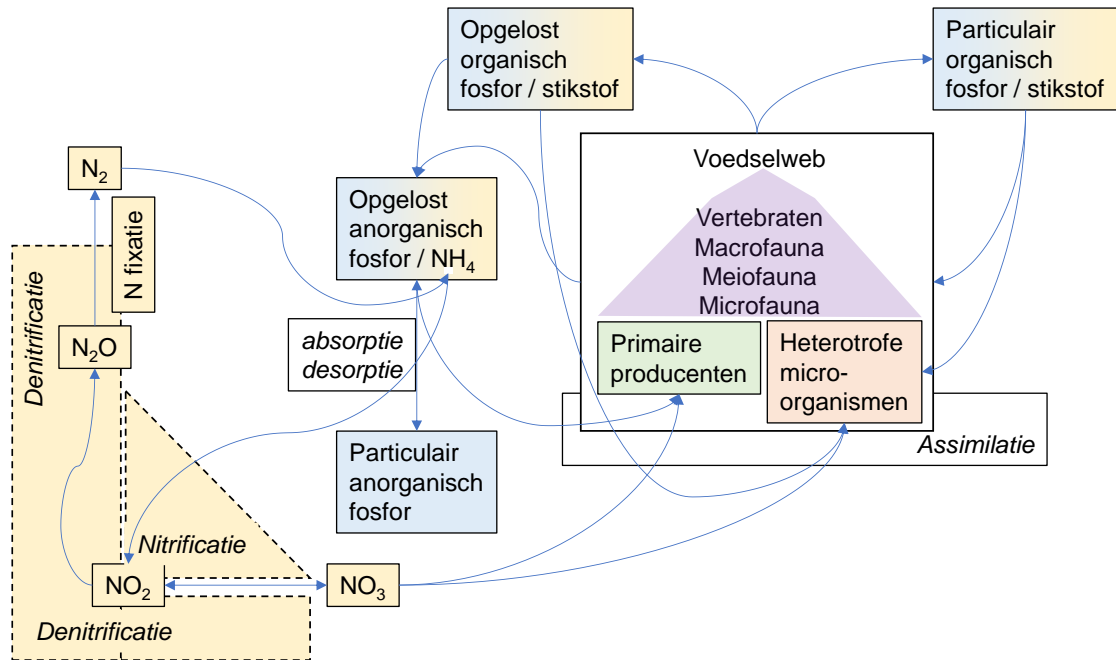
Effectiviteit nutriëntenmaatregelen om uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden te verminderen: <https://www.stowa.nl/deltafacts/waterkwaliteit/kennisimpuls-waterkwaliteit/effectiviteit-nutriëntenmaatregelen-om-uit-en>

3. STRATEGIE

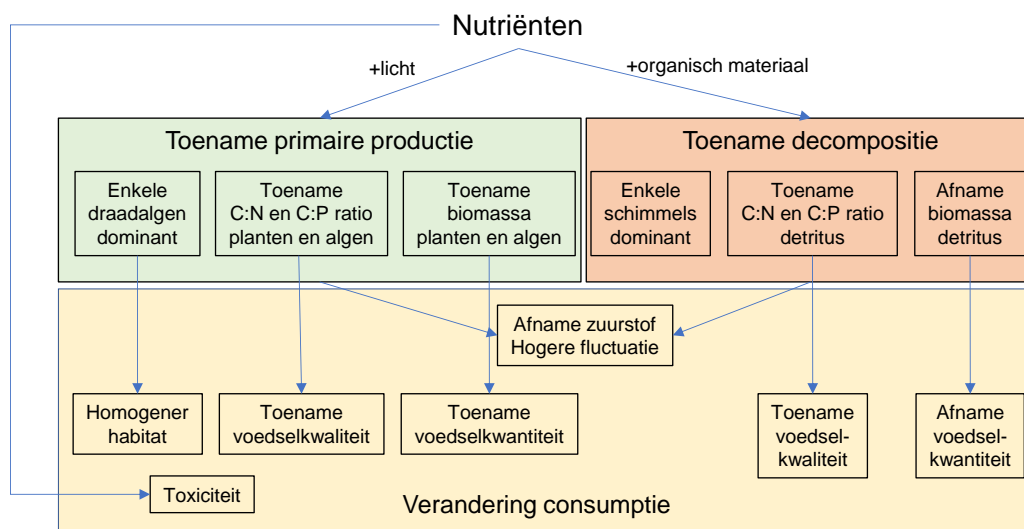
Eutrofiëring en saprobiëring veroorzaken al meer dan een eeuw problemen in het oppervlaktewater en worden nog steeds gezien als de belangrijkste stressor in Nederland, die zich in de tijd als een deken over Nederland heeft uitgespreid. Ingegeven door wet- en regelgeving zoals de Kaderrichtlijn Water (KRW) zijn de nutriëntengehalten in veel wateren verlaagd ten opzichte van de situatie in de jaren 70-80 van de vorige eeuw. Echter voldoet de ecologische kwaliteit op veel plaatsen nog niet aan de gestelde normen en zijn verdere stappen nodig, waaronder op het vlak van het verder terugdringen van de nutriëntenbelasting. Deze Deltafact geeft inzicht in de drempelwaarden voor nutriënten die relevant zijn voor de ecologie, zodat deze kunnen worden meegenomen in een afwegingskader bij het formuleren van maatregelpakketten.

4. SCHEMATISCHE WEERGAVE

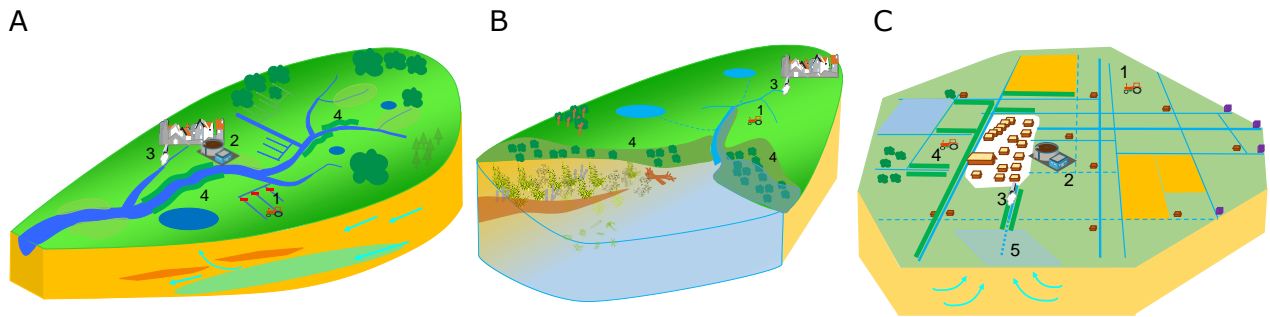
Schematische voorbeelden van de nutriëntencyclus in oppervlaktewateren (Afb. 1), de ecologische effecten van eutrofiëring (Afb. 2) en de mogelijke maatregelen om de nutriëntenbelasting terug te dringen (Afb. 3).



Afbeelding 1: Schematisch overzicht van de fosfor- en stikstofcyclus met als voorbeeld de cycli in stromende wateren. De kleuren refereren naar stikstof (bruin), fosfor (blauw), primaire producenten (groen) fauna (paars) en heterotrofe micro-organismen (donkerbruin).



Afbeelding 2: Schematisch overzicht van de ecologische effecten van verrijking met nutriënten in stromende wateren.



Afbeelding 3: Maatregelen in een stroomgebied (A), meer (B) en polder (C) om fosforbelasting te verminderen: 1: bronmaatregelen in het landgebruik, 2: maatregelen op de RWZI, 3: maatregelen bij overstorten en kleine lozingen, 4: aanleggen van bufferzones, 5: tegengaan van bodemaafbraak.

5. WERKING

De belangrijkste voedingsstoffen in het Nederlandse oppervlaktewater zijn fosfor (P), stikstof (N) en koolstof (C). Deze Deltafact gaat alleen in op P en N als stoffen waarop in het waterbeheer te sturen is. P en N zijn afkomstig uit verschillende natuurlijke en antropogene bronnen en spelen een cruciale rol in het ecosysteem (Afb. 1). Van nature zijn de nutriëntengehalten in de bodem laag, echter in veen- en kleigronden zijn deze hoger dan in zandbodems. In veel wateren waren deze nutriënten van oorsprong beperkend voor de groei van algen en planten; de natuurlijke achtergrondbelasting was laag. Veel kenmerkende soorten van deze wateren zijn dan ook aangepast aan deze voedselarme tot matig voedselrijke omstandigheden en kunnen alleen onder deze condities duurzaam voortbestaan. Verrijking uit antropogene bronnen leidt tot een cascade van verstoringen van het ecologisch functioneren en de soortenrijkdom (Afb. 2).

Herkomst

Nutriënten zijn meestal afkomstig van landbouwactiviteiten en bereiken het water in de vorm van diffuse toevoer door af- en uitspoeling: P circa 64%, N circa 57%. Ook stedelijke activiteiten, vooral uit puntbronnen zoals overstorten en rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZIs), dragen bij. Voor RWZIs is de bijdrage aan P circa 15% en voor N circa 9%.

De verrijking met nutriënten kan ook plaatsvinden door de toevoer van organisch slib (mengsel van fijn organisch en mineraal materiaal) en ander organisch materiaal. De herkomst van het slib is van groot belang voor de samenstelling. Slib dat ontstaat uit afspoeling van aanliggende landbouwgronden of van stedelijke oorsprong is zeer rijk

aan voedingsstoffen. Omdat in het slib de P- en N-concentraties vaak veel hoger zijn dan in het oppervlaktewater, treedt nalevering naar de waterlaag op.

Een andere bron is de N-depositie vanuit de atmosfeer, die in Nederland bijna overal veel te hoog is. Vooral zure of zwak gebufferde wateren op de pleistocene zandgronden zijn gevoelig voor atmosferische N-depositie. Zwak gebufferde wateren zijn niet alleen gevoelig voor eutrofiëring, maar ook voor de vorming van bicarbonaat als gevolg van een hoge N-belasting. Sterk gebufferde wateren zijn over het algemeen niet of minder gevoelig voor N-depositie.

Transport

De belangrijkste transportroutes van opgeloste en aan slib gebonden nutriënten op land zijn oppervlakkige afspoeling (gemiddeld circa 60%) en (ondiepe) uitspoeling, uiteraard afhankelijk van landgebruik, landschap en watertype. De hoeveelheid uit- en afspoeling hangt af van de neerslag, bemesting, bodem en grondwaterstand. Afspoeling vindt over alle bodems plaats terwijl de mate van inzijging en ondiepe uitspoeling afhangt van de porositeit en de mate van drainage. Tijdens het transport kunnen P en N tijdelijk worden gebonden, afhankelijk van microbiologische en chemische processen, de hoeveelheid organisch materiaal, de pH, het kalk-, ijzer-, aluminium- en kleigehalte in de bodem, de doorworteling, de zuurstofhuishouding, de bodemfauna en de grondwaterstand; factoren die ruimtelijk nogal kunnen verschillen. Tijdelijk gebonden P en N kunnen door biochemische en biologische processen (weer) vrijkomen en verder worden getransporteerd. Een voor N bijkomend belangrijk proces is denitrificatie. In de meeste Nederlandse stroomgebieden zal denitrificatie de grootste bijdrage leveren aan de verwijdering van N naar de atmosfeer.

Retentie

Retentie betekent tijdelijke opslag van nutriënten in waterplanten, het sediment of definitieve verwijdering, zoals door denitrificatie, irreversibele sedimentatie en baggeren. Planten kunnen hierbij een aanzienlijke tijdelijke bijdrage leveren: tijdens de groei treedt tot 60-70% opname van nutriënten op. Echter, bij afsterven en volledige afbraak van het afgestorven plantenmateriaal komt dit allemaal weer vrij.

Effecten

De belangrijkste effecten van een verhoogde nutriëntenbelasting zijn i.) voedselverrijking (eutrofiëring) door de verhoogde beschikbaarheid, ii.) verschuiving in de verhouding tussen P en N in algen en planten, wat negatief kan doorwerken naar de rest van het voedselweb door bijvoorbeeld vermindering van de

voedselkwaliteit en eetbaarheid, iii.) verhoogde denitrificatie, kan leiden tot verhoogde concentraties van bicarbonaat en sulfaat met als gevolg een verlaging van de ijzerconcentraties, wat de beschikbaarheid van P vergroot (interne eutrofiëring) en iv) directe vergiftiging (toxiciteit) door hoge concentraties van stikstofhoudende verbindingen, zoals NO_2^- , NH_3 , NH_4^+ .

Concentratie, vracht en (kritische) belasting

Er is een verschil tussen concentratie, vracht, belasting en kritische belasting. De nutriëntenconcentratie is de hoeveelheid opgeloste nutriënten op het meetmoment, de nutriëntenvracht is de op een locatie getransporteerde hoeveelheid nutriënten, de nutriëntenbelasting is de totale hoeveelheid nutriënten die in een watersysteem terecht komt en de kritische nutriëntenbelasting is de kwantitatieve schatting van de hoeveelheid/vracht nutriënten waar beneden volgens de huidige kennis geen significante schadelijke gevolgen op het betreffend watermilieu optreedt. Het onderscheid tussen deze termen en het gebruik is belangrijk omdat concentratienormen alleen onvoldoende zijn en belasting en kritische belasting eveneens van groot belang zijn.

6. KOSTEN EN BATEN

Eutrofiëring en saprobiëring hebben grote gevolgen voor het ecologisch functioneren van oppervlaktewateren en kunnen leiden tot negatieve gevolgen zoals bloei van algen- en cyanobacteriën, massale waterplantenontwikkeling, stankoverlast en vissterfte. Dit werkt weer negatief door op het menselijk gebruik van het water; variërend van de belevingswaarde door aangelanden, gebruik door de landbouw-, recreatie en waterwinning en het waterbeheer, waar grote kosten mee gemoeid zijn. Vanaf de laatste decennia van de vorige eeuw zijn grote investeringen gedaan om de waterkwaliteit te verbeteren, mede ingegeven door wet- en regelgeving zoals de KRW, waardoor in veel wateren de nutriëntengehalten zijn teruggedrongen. Echter, voldoet de ecologische kwaliteit op veel plaatsen nog niet aan de gestelde normen en zijn verdere stappen nodig, wat meer investeringen vergt.

7. RANDVOORWAARDEN

Het stellen van ecologische grenswaarden voor nutriënten is een belangrijk controlemiddel om eutrofiëring te monitoren en te beheren. Hierbij moet rekening worden gehouden met een verschil tussen de nutriënten die aanwezig zijn in opgeloste vorm — bio-beschikbaar waardoor ze direct door veel micro-organismen

en primaire producenten kunnen worden opgenomen — en die daarnaast makkelijker meetbaar zijn en de totale hoeveelheden in het water (t-P en t-N).

Bij hoge nutriëntenconcentraties (>2 mg P/L, >5 mg N/L) bestaat ongeveer 60% van de nutriënten uit opgeloste anorganische vormen, bij lagere concentraties is deze verhouding nogal variabel. Het gebruik van totale ongefiltreerde concentraties is daarom van groot belang, omdat P en N op enig moment weer in opgeloste vorm beschikbaar kunnen komen.

De voor Nederland gehanteerde KRW GET-grenswaarden voor P en N zijn watertype afhankelijk (Tabel 1; kolom 2 en 3) en de range hangt samen met verschillen in gevoeligheid tussen de typen. De laagste waarden horen bij de zwak gebufferde (zwak zure) wateren en de hoogste waarden komen voor in gebufferde wateren. De geïndiceerde ecologische drempelwaarden (Tabel 1; kolom 4 en 5) zijn ingeschat of op basis van de waarden in natuurlijke wateren vastgesteld, echter meestal op basis van de best beschikbare kennis. Deze grenswaarden zijn tot op heden onvoldoende onderbouwd met metingen, maar ze geven wel aan dat de huidige KRW-normen te hoog zijn. Meestal is een locatie-specifieke benadering noodzakelijk.

Tabel 1: Oppervlaktewaterkwaliteitsnormen (GET) voor zomergemiddelden ecologische drempelwaarden voor jaargemiddelden totaal-P en totaal-N (in mg/l) voor verschillende hoofdwatertypen. De variatie hangt samen met verschillen in gevoeligheid van het betreffende watertype, zoals wel of niet gebufferd).

Wateren	GET	GET	"Ecologische drempelwaarde"	
	t-P	t-N	t-P	t-N
<i>Regionale wateren</i>				
Sloten	<0.01-0.10	0.7-2.0	0.01-0.10	0.85-1.5
Beken	0.11	2.0	<0.015-0.04	0.8-1.0
Meren	0.04-0.1	0.5-1.0	<0.06-0.11	0.4-1.5
Vaarten/kanalen	0.15	1.0	<0.015-0.10	1.0-1.2
<i>Rijkswateren</i>				
Rivieren	0.14		0.05-0.10	
Grote diepe meren	0.03-0,07	0.8-1.0	0.034-0.10	0.6-1.2

MTR = Maximaal Toelaatbaar Risico GET = Goede Ecologische Toestand

Eén van de weinige data-gebaseerde studies die tot grenswaarden hebben geleid voor meren en plassen is die van Vollenweider (Tabel 2).

Tabel 2. Relatie tussen trofiegraad en grenswaarde voor jaargemiddelden totaal-P en totaal-N in mg/l in meren.

Trofieniveau	t-P (mg/l)	t-N (mg/L)
Ultra-oligotroof (zeer voedselarm)	<0.005	<0.2
Oligo-mesotroof (matig voedselrijk)	0.005-0.01	0.2-0.4
Meso-eutroof (voedselrijk)	0.01-0.03	0.3-0.6
Eu-hypertroof (zeer voedselrijk)	0.03-0.1	0.5-1.5
Hypertroof	>0.1	>1.5

De ranges waarbij algen gaan domineren liggen voor N gelijk aan die in andere buitenlandse studies. Voor zwak gebufferde laaglandbeken (met een alkaliniteit < 1 meq/L) bedroeg de drempelwaarde tussen de zeer goede en goede toestand 0.22 mg N/L, en tussen de goede en matige toestand 1.63 mg N/L. Dergelijke waarden tussen 0.4 en 2.0 mg/l gelden ook voor sloten, plassen en meren, mede afhankelijk van de bodem, de zuurgraad en de vorm van het waterlichaam.

Op basis van een uitgebreide analyse van wetenschappelijke studies blijkt voor stromende wateren dat vanaf 0.03-0.06 mg P/L en 0.5-1.0 (tot 2.0) mg N/L al verzadiging optreedt in de ecologische effecten, m.a.w. het negatieve effect wordt niet groter omdat alle ecologische grenzen al zijn overschreden. Eerder werden ook voor stilstaande wateren grenswaarden geduid die liggen tussen de 0.06 en 0.4 mg P/l. Deze ranges in stilstaand en stromend water komen overeen met die van Vollenweider, in meren is dit de overgang van een eutrofe naar een hypertrofe toestand. Gaande van eutroof naar mesotroof (bijvoorbeeld in laagveengebieden) en naar oligotroof (bijvoorbeeld in vennen) verschuift de grenswaarde richting de 0.06-0.03 mg P/l. Waarschijnlijk is de ondergrens (de overgang naar meso-eutroof) vergelijkbaar met de grens voor een 'goede' toestand. Voor een 'zeer goede' toestand moeten de grenswaarden waarschijnlijk ruim onder de laagste waarden zitten.

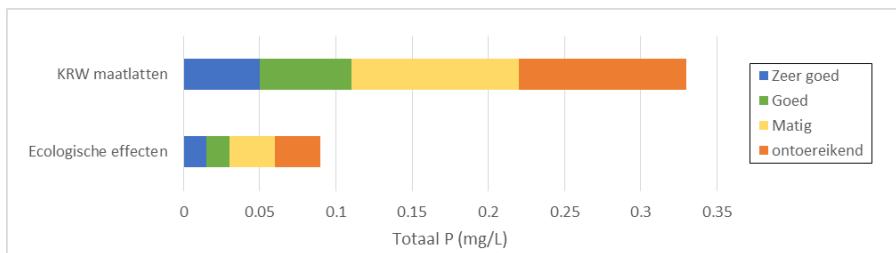
Daarnaast is de N:P-ratio, die aangeeft welk nutriënt de groei beperkt (nutriëntlimitatie) een mogelijk aanvullende indicator voor eutrofiëring. Voor zoetwater wijst een N:P-ratio ≤ 4.5 op N-limitatie (<14 op molaire basis), 4.5-6 (14-16 op molaire basis) op intermediaire omstandigheden en 7 (16 op molaire basis) op P-limitatie. Ook kan groei beïnvloed worden door de concentraties silicium, ijzer, sulfaat en koolstof en andere milieufactoren, zoals licht, fysische milieuomstandigheden en biobeschikbaarheid. Omdat de N:P-ratio de resultante is van de afzonderlijke concentraties van N en P zegt een afwijkende ratio niets over de absolute concentraties. Dit betekent dat naast de N:P ratio ook naar altijd naar absolute concentraties moet worden gekeken.

8. GOVERNANCE

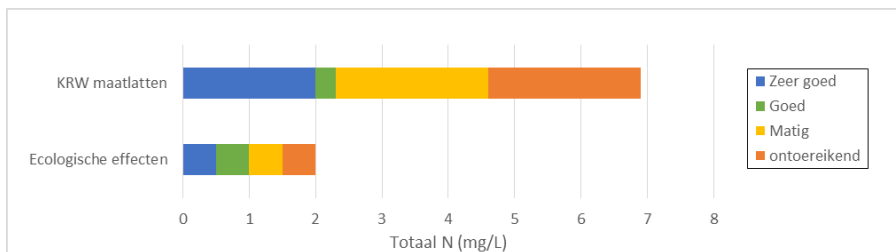
De bevindingen in de vorige paragrafen indiceren dat de huidige KRW-grenswaarden voor nutriënten te hoog te zijn voor een gezonde ecologie (Afbeelding 4). In stilstaande wateren lijken de huidige KRW-normen te ruim om een matig voedselrijke toestand te bereiken, vooral in de zwak gebufferde stilstaande wateren. Dit kan echter ook het geval zijn voor de gebufferde wateren, omdat de KRW-

normen betrekking hebben op zomerhalfjaargemiddelden, terwijl de ecologische drempelwaarden zijn gebaseerd op de mediane waarde van meetgegevens op jaarbasis. Voor stromende wateren lijken de huidige normen duidelijk te ruim. Consequentie hiervan is dat op dit moment een goede maatlatscore voor de chemie niet automatisch betekent dat de ecologie ook gezond is.

A



B



Afbeelding 4: Huidige grenswaarden voor totaal-P (A) en totaal-N (B) volgens de KRW maatlatten in vergelijking tot de waarden waarbij ecologische effecten optreden in stromende wateren, met de notie dat er ook een bepaalde mate van onzekerheid rond deze grenzen is (van der Lee & Verdonschot 2021).

Het is overigens belangrijk op te merken dat specifieke omstandigheden tot andere ecologische effecten kunnen leiden dan op basis van de nutriëntengehalten te verwachten is; bijvoorbeeld bij een dominante aanwezigheid van driehoeks- of quaggamosselen kunnen de concentraties voor fosfor soms relatief hoog liggen terwijl er toch geen algendominantie optreedt.

9. PRAKTIJKERVERINGEN EN LOPENDE INITIATIEVEN

Er is al veel ervaring met maatregelen om eutrofiëring en organische belasting in oppervlaktewateren terug te dringen. De ecologie-georiënteerde eutrofiëringsmaatregelen kunnen gegroepeerd worden van brongericht (zeer effectief omdat ze (op termijn) de oorzaak/veroorzaker van het probleem wegnemen), effectgericht (matig-effectief) tot end-of-pipe (laag-effectief omdat het alleen de symptomen bestrijdt). Hieronder worden verschillende opties kort toegelicht.

Bronaanpak

Het meest effectief zijn maatregelen die de fosfor- en stikstofbelasting bij de bron wegnemen. Het grootste aandeel hierin hebben de diffuse bronnen uit de landbouw.

Deze kunnen met een milieuneutraal gebruik van en omgaan met nutriënten (b.v. door uitmijnen, evenwichtsbemesting, plantmoment en bodemspecifieke mestgift en vorm (organische mest), sterk worden verminderd.

Daarnaast speelt de achtergrondbelasting mee, indien afkomstig uit het veraarden van veen dan is aangepast peilbeheer noodzakelijk om de afbraak te stoppen. Indien fosforaanvoer uit diepe bodemlagen, vaak marien van oorsprong, plaatsvindt dan is het een systeemeigen kenmerk waar weinig sturing op mogelijk is.

Voor de RWZI's en overstorten is het lastig de bron bij de bewoners verder te reduceren, wat ook geldt voor de toevoer uit het buitenland. Wel zouden de lozingsnormen van RWZIs aangepast kunnen worden op die van het ontvangend oppervlaktewater en verdere reductie van nutriënten kan geschieden door fysisch-chemische verwijdering in de afvalwaterketen, biologische verwijdering op de RWZI en of aansluitend op de puntlozing (nazuivering met bijvoorbeeld helofytenfilters, zuiveringsmoerassen, waterharmonica's). Overstorten kunnen worden gesaneerd door de berging in het rioolstelsel te vergroten.

Effectgerichte maatregelen

De meeste nutriënten, al dan niet gebonden aan organisch materiaal of slib, komen vaak in het watersysteem terecht vanuit landbouwgronden. Maatregelen die deze transportroute over het maaiveld, door de bouwvoor, via greppels en drainagebuizen of de ondiepe uitspoeling door de bovengrond naar het oppervlaktewater vertragen, veranderen of blokkeren zijn i) het verminderen van de bodemverdichting en het verbeteren van de bodemstructuur, ii) het aanpassen van de teelt en gewassen en iii) het verminderen van de drainerende werking van de bodem. Mogelijke maatregelen oppervlakkige afspoeling te verminderen zijn bijvoorbeeld i) het opvangen in een bufferzone, helofytenfilter, bezinkgreppel of -sloot, of voor een dammetje, ii) het, al dan niet aansluitend op het vorige, laten uitmonden via greppels en buisdrainage in een bufferstrook, bezinkgreppel, moerasje (horse-shoe wetland) of voor een dammetje zodat het water eerst kan infiltreren, of iii) het hergebruiken van het verzamelde drainage en afspoelingswater en dit gebruiken voor bevoeiing.

In tegenstelling tot stikstof kan fosfor niet worden omgezet in een gasvormige fase waardoor het naar de lucht verdwijnt. Voor de reductie van de belasting naar oppervlaktewateren moet het fosfor daarom worden "opgevangen", vastgelegd en actief worden verwijderd. Bufferzones zijn een effectieve en met succes toegepast middel om de fosforbelasting te verminderen. Bufferzones kunnen organisch

materiaal en slib heel effectief invangen en (tijdelijk) vastleggen. De effectiviteit van bufferzones neemt niet-lineair toe met de breedte van deze zones.

Er is onderscheid tussen i) natte bufferzones, zoals begeleidende moerassen vooral geschikt voor N-verwijdering, ii) droge bufferzones, zoals houtwallen en grasstroken waar de vegetatie de nutriënten opneemt en iii) de nat-droge bufferzones, zoals begeleidende vegetaties langs wateren met een natuurlijk peil waar afwisselend natte en droge en daardoor anaerobe en aerobe omstandigheden optreden. Deze afwisseling heeft een hoog rendement voor stikstofverwijdering. Maar voor fosfor geldt ook hier dat het niet wordt verwijderd, dat kan alleen door het actief verwijderen via maaien, afzetten en afvoeren.

Een uitgebreid en flexibel concept voor de aanleg van beekdalbrede, multifunctionele bufferzones langs laaglandbeken is het 5-B-concept (Verdonschot 2010). Dit concept omvat een flexibel omgaan met 5 zones: beek, bos-, bosschage- en bufferzone, en beekflank. Deze zones kunnen in al dan niet en breder of smaller aangelegd worden in het gebied tussen de beek en het aangrenzend land.

Maatregelen om de nutriëntenbelasting te verminderen in de transportroute naar en in stilstaande wateren kunnen sterk variëren. De meest effectieve hiervan is de aanleg van geïsoleerde, zuiverende perceelsslotsen. Daarnaast kunnen ook verschillende hydrologische maatregelen getroffen worden, zoals de weglengte verlengen, hydrologische isolatie, het water omleiden en doorspoelen. Bij doorspoelen, feitelijk een end-of-pipe maatregel, moet vooral in veengebieden worden gelet op de aanwezigheid van sulfaat waardoor fosfor juist kan vrijkomen.

End-of-pipe maatregelen

Ook kunnen maatregelen in het watersysteem zelf worden genomen, zoals het verminderen van de interne belasting door baggeren, het aanleggen van bezinksystemen (schermen, kuilen) voor zwevende stof en algen, afdekken met zand om opwerveling te stoppen het binden van fosfor in de bodem doormiddel van toevoeging van ijzer, aluminium met actief biologisch beheer. In eerste instantie bedoeld om vertroebeling te verminderen, maar als er veel bodemwoelende vis aanwezig is in het systeem dan kunnen deze vissen er ook voor zorgen dat meer fosfor vanuit de bodem in het water wordt opgelost. Actief biologisch beheer werkt vooral in afgesloten wateren (anders treedt heel snel re-kolonisatie op) en is feitelijk alleen zinvol als de huidige belasting lager is dan de kritische belasting. Met actief biologisch beheer (zoals vispopulatie manipulatie, inzetten van quaggamosselen of krabbenscheer) wordt daarom slechts een tijdelijk oplossing geboden indien niet de

bronnen tegelijk worden aangepakt. Dit geldt echter voor alle maatregelen in het watersysteem zelf.

Tenslotte

Maatregelen zijn vanuit een ecologisch perspectief alleen effectief wanneer ze alle stressoren wegnemen. Om deze gekwantificeerd in beeld te krijgen is een ecologische systeemanalyse noodzakelijk en geeft richting aan het benodigde maatregelpakket dat nodig is om effectief de ecologische kwaliteit te verbeteren.

10. KENNISLEEMTES

De belangrijkste kennisleemte bij nutriënten in het oppervlaktewateren is het ontbreken van watertype-specifieke, ecologische onderbouwing van grenswaarden en aanpassing van de KRW-normen daarop. Daarnaast is gekwantificeerde kennis nodig van verschillende maatregelen, zoals bufferzones en zuiveringsmoerassen of -cascades.

11. BRONNEN & LINKS

- Altenburg, W., Arts, G., Baretta-Bekker, J. G., van den Berg, M. S., van den Broek, T., Buskens, R., ... & Walvoort, D. (2018). Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water 2021-2027 (No. 2018-49). Stowa. <https://edepot.wur.nl/469646>
- Barker, T., K. Hatton, L. Connor & B. Moss (2008) Effects of nitrate load on submerged plant biomass and species richness: results of a mesocosm experiment. *Fundamental and Applied Limnology, Archiv für Hydrobiologie* 173/2: 89-100. <https://goliath.net/akvaristika/docs/Effects%20of%20nitrate%20load%20on%20submerged%20plant%20biomass%20and%20species%20richness.pdf>
- Bennett, M. G., & Lee, S. S. (2019). Measuring Lotic Ecosystem Responses to Nutrients: A Mismatch that Limits the Synthesis and Application of Experimental Studies to Management. *Limnology and oceanography bulletin*, 28, 26. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6475923/>
- Biggs, B. J. (2000). Eutrophication of streams and rivers: dissolved nutrient-chlorophyll relationships for benthic algae. *Journal of the North American Benthological Society*, 19, 17-31. <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.2307/1468279>
- Dodds, W. K. (2003). Misuse of inorganic N and soluble reactive P concentrations to indicate nutrient status of surface waters. *Journal of the North American Benthological Society*, 22, 171-181. <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.2307/1467990>
- Dufour, F.C. (1998) Grondwater in Nederland, inzichtbaar water waarop wij lopen. Geologie van Nederland, deel 3. Rapport Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO – Delft.
- Groenendijk, P., van Boekel, E., Renaud, L., Greijdanus, A., Michels, R., & de Koeijer, T. (2016). Landbouw en de KRW-opgave voor nutriënten in regionale wateren: het aandeel van landbouw in de KRW-opgave, de kosten van enkele maatregelen en de effecten ervan op de uit-en afspoeling uit landbouwgronden (No. 2749). Wageningen Environmental Research. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/392093>
- James, C., Fisher, J., Russell, V., Collings, S. & Moss, B. (2005). Nitrate availability and hydrophyte species richness in shallow lakes. *Freshwater Biology* 50: 1049–1063. <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/48130073/j.1365-2427.2005.01375.x20160817-9336-1imt2je-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1653304734&Signature=Hdk8n8HDrB6bIWiyZ8AIDwVVGxWUbxN7-odUdwIx70DmJ61pVSdkJMrKiwu8QPsEf7ddRZeXqq->

- [DOmWkIEU~29mLOn4EKb4E7n9uczPkPk0TFbKIWqBtLdN-mrnngs702UPgtKh2ogF-4yIdur4DyGI-FF6ET~S7vktorMr9HTWXGMq5M2Dy5rpdz04bRtxKs-ge1yXbHklcILYGce1jLj~OiFOpxeSxDHShi4gBYBCfBwm7LVfkexZ-H5TWifBxtawNQeuE25EmSOY8Yn7Z~vB8vF~0DgMmD2MeuvILdOMLohodURBzXeim06mXwZtK7nPdqqcQMhxQykOYbI-A &Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://doi.org/10.1002/1522-0175(199804)27:4%3C895::AID-JEQ895%3E3.0.CO;2-1)
- Lyons, J. B., Görres, J. H., & Amador, J. A. (1998). Spatial and temporal variability of phosphorus retention in a riparian forest soil. *Journal of Environmental Quality*, 27(4), 895-903.
<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/jeq1998.00472425002700040025x>
- Newbold, J. D., Elwood, J. W., O'Neill, R. V., & Winkle, W. V. (1981). Measuring nutrient spiralling in streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38, 860-863.
<https://cdnsiencepub.com/doi/abs/10.1139/f81-114>
- Nijboer, R. C. (2001). Nutriënten in stromende wateren; effecten van verrijking op de fysische, chemische en ecologische processen (No. 332). Alterra.
<https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/32293>
- Poikane, S., Várbió, G., Kelly, M. G., Birk, S., & Phillips, G. (2020). Estimating river nutrient concentrations consistent with good ecological condition: More stringent nutrient thresholds needed. *Ecological Indicators*, 121, 107017.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X20309560>
- Schoumans, O.F., Willems J. & van Duinhoven, G. (2008). 30 vragen en antwoorden over fosfaat in relatie tot landbouw en milieu. Wageningen, Alterra, 53 blz.
<https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/4399>
- van der Lee G.H. & Verdonschot P.F.M. (2021). Ecologische effecten van nutriënten op laaglandbeken. Kennisdocument Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. 40 pp. <https://www.kennisimpulswaterkwaliteit.nl/nl/publicaties/ecologische-effecten-van-nutriënten-op-laaglandbeken>
- Verdonschot, P. F., & Verdonschot, R. C. (2021). Ecologische systeembenadering en ecologische systeemanalyse (No. 2021-29). [Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA)].
<https://kennisimpulswaterkwaliteit.nl/nl/publicaties/ecologische-systeembenadering-en-ecologische-systeemanalyse>
- Vollenweider, R. A. (1968). Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to phosphorus and nitrogen as factors in eutrophication. *Organ. Econ. Coop. Devel. Tech. Rep. OAS/CSI/68.27*.
https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference_id/37262

12. COLOFON

Auteurs: Piet FM. Verdonschot, Gea van der Lee, Ralf Verdonschot, Wageningen Environmental Research

Leescie: Sandra Roodzand (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier), Hermen Klomp (Waterschap Hunze & Aas), Arnold Oste, Ronald Gylstra, Hilde Ketelaar (Waterschap Rivierenland)

Datum: mei 2022

Dit Deltafact is geschreven in het kader van het project Systeemkennis ecologie en waterkwaliteit van de Kennisimpuls Waterkwaliteit. In de Kennisimpuls werken Rijk, provincies, waterschappen, drinkwaterbedrijven en kennisinstututen aan meer inzicht in de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater en de factoren die deze kwaliteit beïnvloeden. Daarmee kunnen waterbeheerders en andere partijen de juiste

maatregelen nemen om de waterkwaliteit te verbeteren en de biodiversiteit te vergroten.

In het programma brengen partijen bestaande en nieuwe kennis bijeen, en maken ze deze kennis (beter) toepasbaar voor de praktijk. Hiermee verstevigen ze de basis onder het waterkwaliteitsbeleid. Het programma is gestart in 2018 en duurt vier jaar. Het wordt gefinancierd door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, STOWA, waterschappen, provincies en drinkwaterbedrijven.