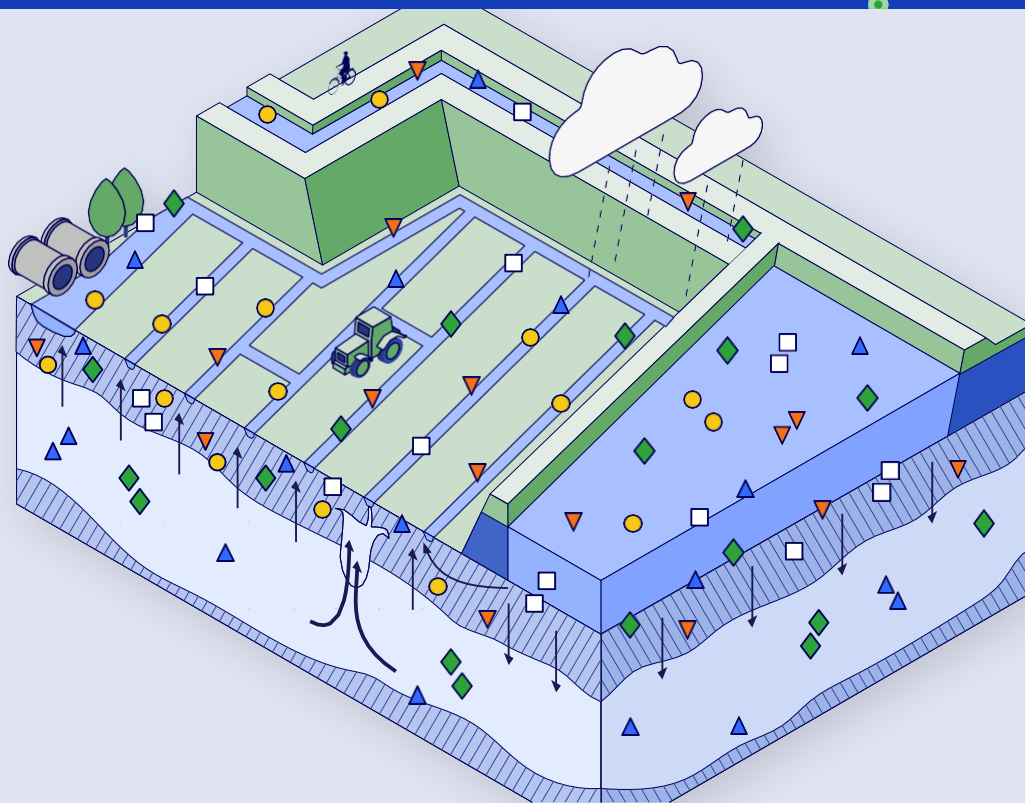


Notitie

Inzicht in achtergrondbelasting stikstof en fosfor op waterkwaliteit kleipolders.



Auteurs

prof. dr. Jasper Griffioen, dr. Alwina Hoving

Februari 2024

TNO innovation
for life

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Inleiding	4
Beschrijving Zeekleipolders	5
Diffuse Kwel en Wellen	6
Stikstof en Fosfor in Grondwater	7
De Hydrologische Routes van Kwel	8
Biogeochemische Processen tijdens Kwel	9
Toestand van de Waterkwaliteit	11
Resumé	12
Aanbevelingen	13
Verwerkte literatuur	14
Bijlagen	17
Contact	26

Samenvatting

In grote delen van ons land is het niet goed gesteld met de waterkwaliteit door de aanwezigheid van te hoge concentraties stikstof en fosfor. Dat geldt ook voor de zeeleigebieden van ons land, grofweg de polders in de kustprovincies van Zeeland tot Groningen en Flevoland. Volgens CBS wordt de belasting landelijk voor bijna 50 procent veroorzaakt door landbouw en 20 tot 30 procent komt voor rekening van rioolwaterzuiveringsinstallaties.

Maar de concentraties en de veroorzakers van deze nutriënten verschillen sterk per gebied. Om het probleem adequaat te lijf te gaan, moet de nutriëntbelasting in al die gebieden nauwkeurig worden vastgesteld.

Uiteenlopende bronnen

Door de uiteenlopende bronnen van belasting door stikstof en fosfor goed te kwantificeren, wordt duidelijk of het om verontreiniging door menselijk handelen gaat of natuurlijke oorzaken in het spel zijn. Het laatste is bijvoorbeeld het geval als nutriëntrijk grondwater uit de diepe ondergrond het oppervlaktewater van de polder weet te bereiken. Men spreekt dan van achtergrondbelasting. TNO, dat al decennia onderzoek doet naar nutriëntengedrag in de ondergrond, bundelt in deze notitie bestaande inzichten in achtergrondbelasting en doet ook concrete aanbevelingen.

Hoge concentraties

Voor zandgronden en veengebieden is de aanwezigheid en het gedrag van stikstof en fosfor goed gemodelleerd en beschreven. Voor de kleipolders ligt dat anders. Inmiddels is uit diverse onderzoeken vast komen te staan dat de concentraties van

fosfaat en ammonium in grondwater hoog zijn in bijvoorbeeld de Haarlemmermeer, de Beemster en op Goeree-Overflakkee. In zandgebieden is die achtergrondbelasting niet zo groot. In de zeeleipolders kan die per gebied uiteenlopen van nagenoeg nul tot hoogstwaarschijnlijk tientallen procenten.

Complexe biogeochemische processen

Het berekenen van de nutriëntbelasting van het oppervlaktewater door kwel van grondwater is complex. De aanwezigheid van andere bronnen zoals landbouw en rioolwaterzuiveringsinstallaties maakt het nog complexer. En de waterhuishouding van zeeleipolders is zelf al gecompliceerd. TNO heeft in de Schermerpolder onderzoek gedaan gericht op nutriëntrijke kwel en de biogeochemische processen die daarbij optreden. De aanwezigheid van nutriëntrijke kwel varieerde flink in de bestudeerde polder. Uit eerder onderzoek door TNO bleek al dat in Noord- en Zuid-Holland zeer hoge concentraties van fosfaat en ammonium in grondwater voorkomen, die een natuurlijk oorzaak hebben.

Achtergrondbelasting meten en modelleren

Met de aangescherpte landelijke regelgeving rond de belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfor zijn geactualiseerde analyses gewenst van de bronnen die hieraan bijdragen. TNO doet dan ook de aanbeveling om de vaak onderschatte bijdrage van nutriëntrijke kwel nauwkeurig vast te stellen door een combinatie van veldgegevens en hydrologische modellen. Op basis daarvan kan het nodig zijn geldende normen voor bepaalde gebieden aan te scherpen of juist te versoepelen.

Inleiding

De waterkwaliteit met betrekking tot de nutriënten stikstof (N) en fosfor (P) is niet goed in grote delen van Nederland. Voor het verbeteren van de waterkwaliteit is het enerzijds nodig om de toestand te kennen in termen van absolute concentraties en overschrijding van normen, en anderzijds de stoffluxen te herleiden voor de diverse bronnen. Belangrijk voor beide is de diverse landschapstypen te onderkennen met hun typische bodemsoorten, landgebruik, waterhuishouding, achtergrondbelasting, etc. Bij de landschapstypen gaat het om de duinen, zeekleipolders, rivierpolders, veenweidegebieden, Limburgs heuvellandschap, etc. Bij de bodemsoorten gaat het primair om klei, zand, veen of löss welke wezenlijke verschillen hebben in bodemkundige eigenschappen. Een illustratief, simpel voorbeeld is afbraak van veen door drooglegging wat typisch in veenbodems speelt.

Zeekleipolders (inclusief droogmakerijen) vormen een landschapstype en in deze gebieden geldt dat nutriëntrijke kwel een stofbelasting geeft die onderkend dient te worden naast de belasting vanuit antropogene bronnen. Er geldt hierbij dat de nutriëntconcentraties in de kwel normaliter een natuurlijke oorzaak zullen hebben, ofwel er is dan sprake van een achtergrondbelasting. Kwel is hierbij het grondwater dat vanuit de diepere ondergrond (in het bijzonder het eerste watervoerende pakket) het oppervlaktewatersysteem van een polder bereikt. Dit is bovenop het lokale neerslagoverschot (neerslag minus (gewas)verdamping) dat via af- en uitspoeling het oppervlaktewatersysteem bereikt en eventueel inlaatwater. De kwel passeert hierbij een meer of minder slechtdoorlatende deklaag die enkele meters tot enkele tientallen meters dik is en bestaat uit Holocene afzettingen (jonger dan 11.000 jaar).

Deze notitie beoogt algemeen inzicht te geven in het verschijnsel van nutriëntrijke kwel in zeekleipolders en het belang hiervan bij het opstellen van nutriëntenbalansen voor dit type polders. Nutriëntrijke kwel wordt hierbij geplaatst naast uit- en afspoeling van nutriënten vanuit landbouwbodems en tevens naast mobilisatie van nutriënten door afbraak van veen. De notitie is opgesteld naar aanleiding van recent onderzoek in de Schermerpolder gericht op nutriëntrijke kwel en de biogeochemische processen die daarbij optreden. De Schermerpolder is een droogmakerij in Noord-Holland met relatief veel kwel die rijk aan fosfaat en stikstof kan zijn. Bij het opstellen van de notitie is ook andere literatuur verwerkt die handelt over hydrologische processen in bodems met (zee)klei, en biogeochemische processen van stikstof en fosfaat in de ondiepe ondergrond dan wel rondom het grensvlak tussen grondwater en oppervlaktewater. De notitie vat zo onderzoek samen dat in de afgelopen dertig jaar is uitgevoerd door TNO en andere (kennis)instellingen.

Beschrijving Zeekleipolders

Zeekleipolders zijn dominant in de kustprovincies van Zeeland tot en met Groningen en de meer binnenlands gelegen provincie Flevoland (zie Bijlage 1). De unieke combinatie van eigenschappen is voor zeekleipolders als volgt:

- 1** bodemtype zeeklei waarin bij droge perioden scheuren kunnen ontstaan en soms ondiep permanent aanwezig zijn,
- 2** vaak gedraineerd middels drainbuizen en greppels met sloten die meestal het hele jaar door water bevatten,
- 3** waterhuishouding kunstmatig gecontroleerd middels een vastgesteld polderpeil en een gemaal dat het water wegpompt (daargelaten polders in Zeeuws-Vlaanderen die tijdens eb onder zwaartekracht water afvoeren) en
- 4** dieper grondwater dat van nature hoge concentraties aan fosfaat (PO_4) en ammonium (NH_4) kan bevatten. Normaliter komt nitraat (NO_3) niet voor in dieper grondwater in zeekleipolders; stikstof komt voor als ammonium en als organisch gebonden stikstof (indien opgelost organisch koolstof ook hoog is).

Kwel kan een prominente rol spelen in de waterhuishouding, met name in diepgelegen polders, zoals de droogmakerijen of polders aangrenzend aan grote oppervlaktewaterlichamen als de Waddenzee of langs de duinen (zie Bijlage 2). Er wordt hierbij wel gesproken van regionale kwel en dijkkwel. Het eerste treedt op in de hele polder en het tweede vindt plaats langs de dijk met aan de andere kant een hoger gelegen oppervlaktewaterlichaam of (polder)gebied.

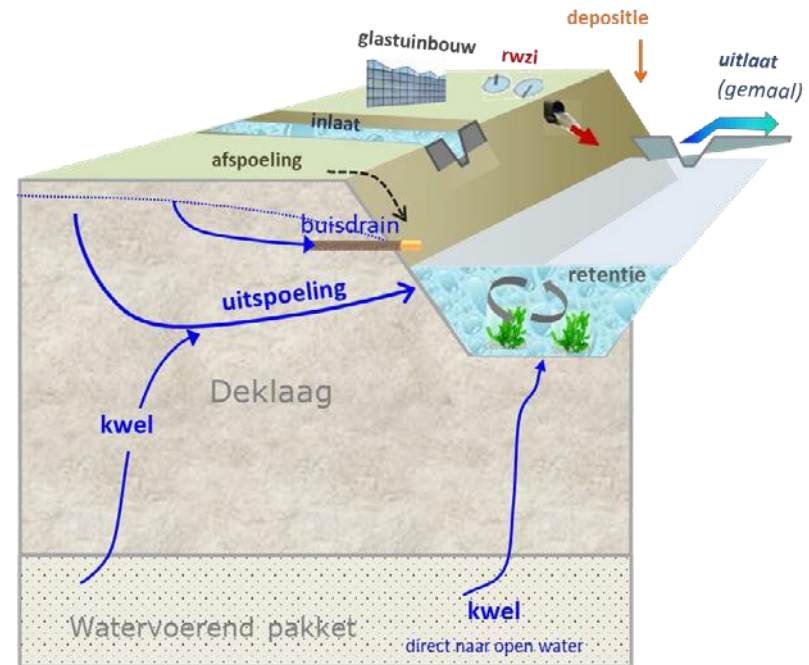
In zeekleipolders is de landbouw een belangrijke bron voor nutriënten. Daarnaast zijn er mogelijke stedelijke en industriële bronnen waaronder rioolwaterzuiveringsinstallaties. Nutriëntrijke

kwel kan een wezenlijke rol spelen als kwel prominent aanwezig is en deze relatief hoge concentraties PO_4 en NH_4 bevat. Verder kunnen polderinlaten ook een belangrijke nutriëntenbron zijn als het inlaatwater nutriëntrijk is. Soms komen in zeekleipolders ook delen voor met veenbodems en kan mineralisatie van veen een additionele bron zijn. Het berekenen van de nutriëntbelasting van het oppervlaktewatersysteem vanuit de bodem en het grondwater is complex omdat er meerdere bronnen zijn en de waterhuishouding van zeekleipolders ook gecompliceerd kan zijn. Door deze complexiteit hebben zulke berekeningen wellicht een grotere onzekerheid dan vergelijkbare berekeningen voor zandgronden. Dit geldt des te meer als uitspraken op het niveau van waterlichamen gedaan worden in plaats van op regionaal niveau (landschapstype dan wel waterschap of provincie).

De belasting uit kwel wordt primair bepaald door de kwelflux en de kwelconcentratie. Potentieel is deze belasting hoog als beide hoog zijn, wat het geval is in diverse poldergebieden (zie Bijlage 3); voorbeelden zijn de Haarlemmermeer, de Beemster en Goeree-Overflakkee. De actuele belasting hangt ook af van de hydrologische route die het kwelwater volgt en de biogeochemische processen die optreden als het grondwater uittreedt. Hieronder wordt de hydrologische en biogeochemische complexiteit nader toegelicht met het accent op landbouwgebieden in zeekleipolders. Verschillen in landbouwpraktijk en hun consequenties op nutriëntenbalansen zijn buiten beschouwing gelaten. De rol van atmosferische depositie van stikstof en fosfaat is eveneens buiten beschouwing gelaten (mede omdat dit een verwaarloosbare bijdrage levert aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewatersysteem in het geval van fosfaat).

Diffuse Kwel en Wellen

Zeekleipolders hebben een kunstmatige waterhuishouding en mede hierdoor is het hydrologische gedrag complex (zie figuur 1). Kwel zoals eerder omschreven stroomt uit het eerste watervoerende pakket via een meestal slecht doorlatende toplaag naar het drainagesysteem toe. We kunnen hierbij onderscheid maken tussen afvoer via drainagebuizen en eventueel ook greppels, en kwel die direct in de sloten uittreedt. Bij het laatste kan sprake zijn van wellen naast meer diffuus uittreden van het grondwater. Wellen zijn lokale plekken waar grondwater uitstroomt onder hoge stroomsnelheden en komen zowel langs dijken voor (waar de kweldruk vaak het hoogst is) als midden in polders. Ze kunnen visueel herkend worden en zijn ook typisch plekken waar het water niet bevriest tijdens koude winters. Voor de droogmakerij Noordplaspolder in Zuid-Holland is afgeleid dat de kwelflux via wellen ongeveer gelijk is aan de diffuse kwelflux. De bijdrage van wellen aan de nutriëntbalans kan navenant substantieel zijn afhankelijk van de bijbehorende nutriëntconcentraties.



Figuur 1 Schematische weergave van nutriëntenbronnen en routes voor het polderwatersysteem (afkomstig van WEnR (2022), Invloed grondwater op de kwaliteit van Gelderse beken. Wageningen Environmental Research, rapport 3046). Merk op dat kwel ook via drainbuizen het oppervlaktewater kan bereiken.

Stikstof en Fosfor in Grondwater

Stikstof komt vooral voor als ammonium in dieper grondwater (> 3-5 m onder maaiveld) onder zeekleipolders (en andere typen polders). De infiltratiediepte van nitraat is meestal zeer gering en reikt geregeld niet dieper dan de diepte van de drainbuizen (1-1,5 m onder maaiveld). Fosfaat komt in dieper grondwater vooral voor als vrij, anorganisch ortho-fosfaat (o-PO_4) terwijl organisch-gebonden fosfaat alleen een rol speelt bij zeer hoge concentraties aan opgelost organisch koolstof. De concentraties van ammonium en ortho-fosfaat variëren ruimtelijk sterk op regionale schaal als ook op polderniveau (zie Bijlage 4). Met name in Noord- en Zuid-Holland komen zeer hoge concentraties van meer dan 4,0 mg $\text{P-PO}_4/\text{L}$ geregeld voor en concentraties tussen 0,4 en 4,0 mg $\text{P-PO}_4/\text{L}$ zijn hier gangbaar. Voor ammonium zijn concentraties tussen 6,0 en 32 mg $\text{N-NH}_4/\text{L}$ gangbaar in deze provincies met hoogste waarden tussen 60-120 mg $\text{N-NH}_4/\text{L}$. Deze hoge concentraties van zowel PO_4 als NH_4 zijn natuurlijk van aard en worden hoogst

waarschijnlijk veroorzaakt door langzame afbraak van sedimentair organisch materiaal of begraven veen in de geologisch jonge, ondiepe afzettingen (tot enkele tientallen meters diep). Er wordt vaak een relatie gesuggereerd tussen hoge concentraties van ammonium of fosfaat en het zoutgehalte van dieper grondwater. Dit is onjuist: de statistische correlatie is niet hoog voor regionale datasets en zoet grondwater onder poldergebieden kan ook hoge nutriëntconcentraties bevatten net zoals brak of zout grondwater.

De Hydrologische Routes van Kwel

Onderscheid tussen kwel via drains (of greppels) en direct in de sloot is biogeochemisch relevant zoals verderop uitgewerkt. Onderscheid tussen diffuse kwel in de sloot en kwel via wellen is biogeochemisch ook relevant want de stroomsnelheden van het kwelwater zijn veel hoger bij de laatste situatie. Hierdoor is de reactietijd tijdens het uittreden van kwelwater kort waardoor biogeochemische processen onvolledig zullen optreden tijdens het uittreden en voornamelijk plaats zullen vinden in het oppervlaktewater zelf. De hogere stroomsnelheden bij wellen zorgen er ook voor dat er minder fosfaat en ammonium gemobiliseerd kan worden tijdens de passage van de Holocene deklaag. De Holocene deklaag is een biogeochemisch reactieve eenheid en bij diffuse kwel of dijkkwel door deze deklaag kunnen fosfaat en ammonium gemobiliseerd worden. Het gevolg is dat de concentraties in het uittredende kwelwater hoger zijn dan in het grondwater in het watervoerende pakket waar het kwelwater vandaan komt. De nutriëntbelasting zoals gepresenteerd in Bijlage 3 is dus mogelijk een systematische onderschatting van de achtergrondbelasting door kwel want eventuele mobilisatie in de deklaag is niet meegenomen in de achterliggende berekeningen.

Biogeochemische Processen tijdens Kwel

Grondwater van meerdere meters diep dat kwelt in zeekleipolders is normaal ijzerhoudend en zuurstofloos, ofwel anoxisch (of ook wel anaeroob). Tijdens het uittreden verandert de redoxtoestand van het kwelwater meestal van anoxisch ofwel zuurstofloos naar oxisch ofwel zuurstofhoudend. Dit zorgt voor allerlei hydrochemische reacties. Daarnaast kan er CO_2 uit het kwelwater ontsnappen want grondwater bevat vaak veel meer opgelost CO_2 dan wanneer er evenwicht met de lucht zou zijn (zeker grondwater in West- en Noord-Nederland). Dit leidt tot een pH-verhoging wat ook weer tot andere hydrochemische reacties kan leiden.

Zoals eerder vermeld, is de hydrologische route die het kwelwater volgt relevant met betrekking tot (de intensiteit van) de biogeochemische processen die optreden. Fosfaatvastlegging die optreedt in drainagebuizen (of greppels) kan permanent zijn en leidt dan tot een lagere belasting van het oppervlaktewatersysteem. Vastlegging in de sloot of bij de slootwand hoeft niet permanent te zijn: mogelijk treedt later onder veranderende condities weer mobilisatie op en dan is geen sprake van een permanent lagere nutriëntbelasting. Tijdens kwel via drains (of greppels) kan er ook menging optreden tussen kwelwater afkomstig van de diepere ondergrond en geïnfiltreerd, nutriëthoudend regenwater dat de bodem heeft gepasseerd. Hierbij kan ook vastlegging van fosfaat optreden. Dit fenomeen wordt zelden meegenomen in beschouwingen omtrent nutriëntbelasting van het oppervlaktewatersysteem. Dit heeft echter wel wezenlijke implicaties zoals hieronder toegelicht.

Ammonium kan in aanwezigheid van zuurstof geoxideerd worden tijdens het uittreden in sloten, greppels of drains. Dit proces wordt nitrificatie genoemd en vindt stapsgewijs plaats waarbij eerst lachgas (N_2O) en nitriet (NO_2^-) geproduceerd worden en uiteindelijk nitraat. Lachgas kan naar de lucht ontsnappen en draagt dan niet bij aan de nutriëntbelasting van het oppervlaktewatersysteem. Nitrificatie wordt meestal als een snel proces gezien: oxidatiesnelheden in orde grootte van 1 tot enkele mg N per kg grond of sediment per dag worden in de literatuur genoemd voor (water)bodems. Andersom geldt dat ammonium geregeld wordt aangetroffen in het oppervlaktewater binnen zeekleigebieden (en elders), wat aangeeft dat nitrificatie dan niet volledig is binnen de verblijftijd van het water in de sloten, etc. Naast nitrificatie kunnen in het oppervlaktewatersysteem allerlei andere biogeochemische processen optreden die de toestand met betrekking tot stikstof beïnvloeden waaronder ook biologische opname. Globaal valt niet uit te sluiten dat er nitraat geproduceerd wordt uit ammonium bij beluchting van ammoniumrijk kwelwater. De hoeveelheid is waarschijnlijk gering tot verwaarloosbaar als het gaat om drainwater want de reistijd door de drainbuis is hiervoor waarschijnlijk te kort.

Het gedrag van ortho-fosfaat bij uitspoeling en kwel wordt in hoge mate bepaald door de interactie met opgelost ijzer (Fe). Anoxisch, zuurstofloos grondwater bevat veelal ook opgelost, gereduceerd Fe^{2+} . Als dit in contact komt met zuurstof wordt het geoxideerd naar Fe^{3+} en slaat het meestal snel neer bij neutrale of licht basische pH zoals gangbaar in zeekleipolders (uitzondering zijn zure kattekleigronden die ook voorkomen in zeekleipolders). De neerslag bestaat uit ijzerhydroxide en als ortho-fosfaat aanwezig

is uit ijzerhydroxyfosfaat. Het is de typische rode roest die men in sloten of bij het uiteinde van drainbuizen aantreft. Deze reactie vindt plaats in de drainbuis of de sloot en is sterk bepalend voor de actuele belasting van het oppervlaktewatersysteem. Naast vastlegging aan ijzer, kan fosfaat ook vastgelegd worden aan calcium als calciumfosfaat tijdens het uittreden van kwel en de uitspoeling van geïnfiltrerd nutriëthoudend regenwater. Dit hangt samen met de eerder genoemde ontgassing van CO₂ dat een pH-verhoging oproept. Dit proces is nationaal en internationaal minder goed bestudeerd dan vastlegging van fosfaat aan ijzer.

Enkele opmerkingen zijn belangrijk om te maken:

- 1** Fosfaat uit de bouwvoor kan in de drainbuis in contact komen met ijzer uit de kwel en zo vastgelegd worden in de drainbuis. Neerslag van calciumfosfaat kan daarnaast optreden. Deze processen worden meestal niet meegenomen bij het opstellen van nutriëntenbalansen. De actuele achtergrondbelasting door kwel is lager dan de potentiële belasting als fosfaat uit kwel wordt vastgelegd in drainbuizen met ijzer dan wel calcium.
- 2** Het is een open vraag of fosfaat dat wordt vastgelegd in een drainbuis toegeschreven kan worden aan de belasting van het oppervlaktewatersysteem. Omdat het proces niet wordt meegenomen in gangbare modellen, is dit meestal wel het geval. Praktisch gezien worden drainbuizen incidenteel doorgespoten en dan kan het fosfaat in één keer in sloten terecht komen. De vervolgvraag is: wat gebeurt er dan met het fosfaat?
- 3** Fosfaat afkomstig van kwel of de landbouwbodem kan ook in de sloot dan wel op de slootbodem/wand worden vastgelegd met ijzer of calcium. Het is hierbij relevant of het kwelwater uittreedt via wellen of diffuus. Bij wellen is de stroomsnelheid zo hoog dat de geassocieerde biogeochemische processen in de sloot zullen plaats vinden waarbij menging tussen het slootwater en het kwelwater snel aan de orde is. Het ijzergebonden fosfaat blijft makkelijk in suspensie wat slootwater een oranje kleur geeft. Bij diffuse kwel is meer reactietijd beschikbaar tijdens het uittreden van kwelwater en kunnen de biogeochemische processen in de waterbodem plaats vinden waarbij dan ophoping van vastgelegd fosfaat ontstaat.
- 4** Het is een relevante vraag wat er gebeurt met fosfaat dat in de sloot wordt vastgelegd met ijzer of calcium. Wordt dit bij het schonen van de sloten op de kant gezet en verdwijnt het zo uit het oppervlaktewatersysteem? Of wordt het verder getransporteerd richting het gemaal bijvoorbeeld tijdens hevige regenbuien als er sprake is van hogere stroomsnelheden in de sloten waarbij P-houdend slib meegenomen wordt? In het laatste geval blijft het fosfaat in het polderwatersysteem en een deel kan uitgemalen worden naar bijvoorbeeld de boezem. Biologische processen waaronder plantopname bepalen ook mede het lot van fosfaat in sloten net als van stikstof. Met ijzer vastgelegd fosfaat kan onder bepaalde condities ook weer in oplossing gaan wat in de literatuur vaak als “nalevering” wordt aangeduid. Deze processen vinden allemaal wel plaats in het “oppervlaktewatersysteem” en bepalen daarmee de mate van “eutrofiëring” van het oppervlaktewater.

Toestand van de Waterkwaliteit

Op basis van de KRW-systematiek is de waterkwaliteitstoestand in 2021 voor waterlichamen in de Nederlandse zeeleipolders herhaaldelijk beoordeeld als niet goed met betrekking tot nutriënten: geregeld is sprake van een matig tot slechte waterkwaliteitstoestand voor stikstof en/of fosfor (zie Bijlage 5). Dit betekent dat sprake is van overschrijding van grenswaarden voor het zogenaamde Goed Ecologisch Potentieel (voor sterk veranderde of kunstmatige wateren waarvan in Nederland voornamelijk sprake is). Dit maakt maatregelen noodzakelijk om de kwaliteit te verbeteren. Het gaat hierbij om de zomergemiddelde concentraties van totaal-P en totaal-N. Uitzondering zijn zoute wateren zoals de Waddenzee waarvoor geen toetsing op fosfaat plaats vindt (zie Bijlage 5) en het wintergemiddelde van opgelost anorganisch stikstof (DIN) wordt beoordeeld.

Globaal is de toestand in Noord- en Zuid-Holland slechter dan in Groningen, Friesland, Flevopolder en Zeeland. We hebben niet achterhaald wat de toestand is in termen van absolute concentraties naast de vergelijking met GEP-grenswaarden zoals die in het kader van de KRW is gemaakt. Wel valt te constateren dat de GEP-grenswaarden voor waterlichamen in zeeleipolders wezenlijk verschillen tussen de waterschappen met name voor fosfor. Het waterschap Scheldestromen hanteert een hoge grenswaarde van 2,50 mg P/L en Noorderzijlvest hanteert lage waarden van typisch 0,14-0,25 mg P/L. Bij Hollands Noorderkwartier liggen de gehanteerde waarden tussen 0,15-0,39 mg P/L en bij Rijnland tussen 0,24-0,49 mg P/L.

Naast deze toetsing vindt er een aparte toetsing plaats op ammonium dat 1 van de 77 “specifiek verontreinigende stoffen” is. Hiervoor zijn normen op nationaal niveau vastgesteld in relatie tot de ecologische waterkwaliteit. Hierbij wordt de jaargemiddelde concentratie vergeleken met de gestelde norm. De ammoniumnorm werd in 2021 in 75% van alle Nederlandse waterlichamen overschreden. Zoals te zien in Bijlage 6 wordt de norm veelvuldig overschreden (in 2019) in zeeleipolders in Flevoland, Noord- en Zuid-Holland en veel minder in Groningen en Friesland. De situatie in Zeeland werd niet bepaald in 2019 op één waterlichaam na (zie Bijlage 6).

Resumé

Zeekleipolders (waaronder droogmakerijen) zijn uniek in hun nutriëntenhuishouding in de zin dat de achtergrondbelasting van het oppervlaktewatersysteem door kwel substantieel kan zijn als het product van kwelflux en kwelconcentratie hoog is. Deze notitie presenteert algemene inzichten omtrent het verschijnsel van nutriëntrijke kwel in zeekleigebieden en hieronder worden de inzichten zoals die verworven zijn in de afgelopen tientallen jaren samengevat.

Het nauwkeurig kwantificeren van de kwelterm in de totale nutriëntbelasting is ingewikkeld op het niveau van polders onder andere door ruimtelijke heterogeniteit in de grondwatersamenstelling binnen polders en het mogelijk optreden van kwel via lokale wellen naast meer diffuse kwel. De aanwezigheid van nutriëntrijke kwel compliceert ook het kwantificeren van de nutriëntbelasting uit de landbouw (of uit het stedelijk, industriële gebied). Dit hangt samen met de complexe, biogeochemische processen die optreden tijdens het uittreden van kwelwater en de passage van de Holocene deklaag en verder de menging die optreedt met geïnfiltreerd regenwater in drainbuizen of sloten. De kwelbelasting kan potentieel hoog zijn voor fosfor en ammonium maar de actuele belasting kan voor fosfor betrekkelijk gering zijn als er veel vastlegging met ijzer of calcium optreedt tijdens de kwelpassage.

Fosfaat dat wordt vastgelegd in het oppervlaktewatersysteem kan later weer gemobiliseerd worden waarbij biologische processen zoals plantopname veelal een rol spelen. Daarnaast kan tijdens regenbuien vastgelegd fosfaat via erosie van de waterbodem getransporteerd worden richting het gemaal alwaar het uitgemalen

kan worden. Fosfaat dat is vastgelegd in de slootbodem zal uit het oppervlaktewatersysteem verdwijnen bij het schonen of uitbaggeren van sloten en het op de kant zetten van deze bagger. Fosfaat dat wordt vastgelegd in drainbuizen kan meer permanent vastgelegd zijn en vormt dan geen onderdeel van de belasting van het oppervlaktewatersysteem. Ammonium dat met kwel meekomt zal meer of minder snel omgezet worden door nitrificatie. De biogeochemische processen die vervolgens optreden in het oppervlaktewatersysteem zijn complex. Vorming van lachgas (dat naar de lucht toe kan ontsnappen) en nitraat kan optreden naast biologische opname van stikstof. De snelheid van deze biogeochemische processen is niet dusdanig hoog dat ammonium niet voorkomt in het oppervlaktewater van zeekleigebieden. Productie van lachgas en nitraat door oxidatie van ammonium is waarschijnlijk gering in drainwater.

De GEP-grenswaarden voor nutriënten (totaal-P en totaal-N als zomergemiddelde) verschillen wezenlijk tussen beheersgebieden van waterschappen voor KRW-waterlichamen in zeekleipolders met name voor fosfor. Voor ammonium in oppervlaktewater is er voor de Kaderrichtlijn Water daarentegen juist een generieke norm. Het is hierbij relevant om vast te stellen hoe deze normen zich verhouden tot de achtergrondbelasting door kwel. Het is daarnaast relevant om vast te stellen welke fractie van fosfor waarschijnlijk wordt vastgelegd tijdens het uittreden van kwelwater of lokaal geïnfiltreerd regenwater en of deze fractie wordt toegeschreven aan de belasting van het oppervlaktewatersysteem of niet.

Aanbevelingen

Bovenstaande uiteenzetting maakt duidelijk dat nutriëntrijke kwel een complex fenomeen is door:

- 1 de complexe samenhang tussen de hydrologische en de biogeochemische processen,
- 2 de ruimtelijke heterogeniteit in zowel kwelintensiteit als grondwatersamenstelling op het niveau van polders en
- 3 de seizoensafhankelijkheid (en daarmee samenhangend temperatuursafhankelijkheid) van de intensiteit van met name de biogeochemische processen.

Het is wel wenselijk om de bijdrage van nutriëntrijke kwel aan de belasting van het oppervlaktewatersysteem nauwkeurig te kunnen kwantificeren als er aanwijzingen zijn dat deze aan de hoge kant is. Momenteel is dit slecht mogelijk op de schaal van individuele polders en het is ook onduidelijk wat de nauwkeurigheid is op de regionale schaal van waterschap en/of provincie.

De volgende activiteiten worden voorgesteld om dit beter mogelijk te maken waarbij de laatste activiteit alleen voor PO_4 geldt en niet voor NH_4 :

- 1 Het kwantificeren van de bijdrage van kwel aan de waterbalans van zeekleipolders op basis van een synthese tussen gegevens afkomstig van hydrologische modellen en gegevens van gemalen (en mogelijk ook inlaten).
- 2 Het uitsplitsen van de kwelbijdrage naar type kwel: via wellen, diffuus en als dijkkwel. Het in kaart brengen van de bijdrage via wellen vergt hierbij een veldinspanning.

- 3 Inventariseren van gegevens van de grondwatersamenstelling in de Holocene deklaag en in het eerste watervoerende pakket. Een minimale dichtheid aan gegevens dient hierbij vastgesteld te worden en de grondwateranalyses dienen naast de nutriënten ook Fe, Ca, alkaliniteit en pH te omvatten (naast zoutgehalte om de zoutbelasting ook beter te kunnen kwantificeren).
- 4 Het koppelen van de kwelintensiteiten met representatieve grondwatersamenstellingen voor de drie typen kwel om de potentiële nutriëntbelasting door kwel te berekenen.
- 5 Het berekenen van de potentiële vastlegging van PO_4 als Fe-hydroxyfosfaat en Ca-gebonden fosfaat voor de diffuse kwel en de dijkkwel. Zienswijze hierbij is dat de vastlegging tijdens het uittreden verwaarloosbaar is bij kwel via wellen door de hoge kwelintensiteit.

Het nauwkeurig vaststellen van de nutriëntbelasting door kwel leidt er toe dat de achtergrondbelasting beter bekend wordt voor de zeekleipolders, waarbij in sommige gevallen de bijdrage door veenafbraak ook aandacht behoeft. Hiermee kan vervolgens vastgesteld worden wat de achtergrondconcentraties zijn voor de nutriënten, die vervolgens vergeleken kunnen worden met de vigerende normen en eventueel aanleiding kunnen geven tot bijstelling van de normen.

Verwerkte literatuur

Caverzam Barbosa, E. (2018). Assessment of P retention dynamics in tile drainage upon exfiltration of nutrient-rich groundwater in a marine clay polder. TNO, internship report, no. TNO 2018 R10835.

CLO (2023). <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0252-fysisch-chemische-waterkwaliteit-krw>. Website bezocht 4 augustus 2023.

Corbetta, A. (2022). Relative contribution of groundwater seepage and surface runoff to the phosphorus loading of surface waters in the Zuid-Schermer polder, The Netherlands. TNO, internship report.

De Louw, P.G.B., Eeman, S., Oude Essink, G.H.P., Vermue, E., Post, V.E.A. (2013). Rainwater lens dynamics and mixing between infiltrating rainwater and upward saline groundwater seepage beneath a tile-drained agricultural field. *Journal of Hydrology* (501), 133-145.

De Louw, P.G.B., Van Der Velde, Y., Van Der Zee, S.E.A.T.M. (2011). Quantifying water and salt fluxes in a lowland polder catchment dominated by boil seepage: A probabilistic end-member mixing approach. *Hydrology and Earth System Sciences* (15), 2101-2117.

Eurofins Agro (2023). Leaflet_2P_Pfcurve-NL-A4-LR.pdf (eurofins-agro.com). Website bezocht 4 augustus 2023.

Griffioen, J., De Louw, P.G.B., Boogaard, H.L. & Hendriks, R.F.A. (2002). De achtergrondbelasting van het oppervlaktewatersysteem met N, P en Cl, en enkele ecohydrologische parameters in West-Nederland. TNO-NITG en Alterra, rapportno. NITG 02-166-A, 143 pp + bijlagen.

Griffioen, J. (2006). Extent of immobilization of phosphate during aeration of nutrient-rich, anoxic groundwater. *J. Hydrol.* (320), 359-369.

Griffioen, J., De Louw, P., Orup, C. & Foppen, J.W. (2010). Variatie in achtergrondbelasting van fosfaat op oppervlaktewater in een polder. *H2O* (7-2010), 35-38.

Griffioen, J., Vermooten, S. & Janssen, G.J.A. (2013). Geochemical and palaeo-hydrological controls on the composition of shallow groundwater in the Netherlands. *Applied Geochem.* (39), 129-149.

Groenendijk, P., Van Boekel, E., Renaud, L., Geijdanus, A., Michels, R. & De Koeijer, T. (2016). Landbouw en de KRW-opgave voor nutriënten in regionale wateren. Wageningen Environmental Research, rapportno. 2749.

Hellmann, F. & Vermaat, J.E. (2012). Impact of climate change on water management in Dutch peat polders. *Ecol. Modelling* (240), 74-83.

Hollands Noorderkwartier (2020). Update KRW meetnet en monitoring chemische stoffen HHNK 2020. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, registratienummer 20.0018612.

Kim, H., Bae, H.S., Reddy, K.R. & Ogram, A. (2016). Distributions, abundances and activities of microbes associated with the nitrogen cycle in riparian and stream sediments of a river tributary. *Water Res.* (106), 51-61.

KWR (2022). DrainStore: vergroten van zoetwaterbeschikbaarheid voor irrigatie door koppeling van peilgestuurde drainage en ondergrondse waterberging. KWR, rapportno. 2021.114.

NGWCLC (2003). Review of ammonium attenuation in soil and groundwater. National Groundwater and Contaminated Land Centre, report no. NC/02/49.

Regelink, I.C., Koopmans, G.F., van der Salm, C., Weng, L., van Riemsdijk, W.H. (2013). Characterization of colloidal phosphorus species in drainage waters from a clay soil using asymmetric flow field-flow fractionation. *Journal of Environmental Quality*, 42 (2), pp. 464-473.

Rost, J., Evers, N. & Twisk, W. (2020). Is het tijd voor een waterlichaamspecifieke ammoniumnorm? H2O Online. Website bezocht 11 augustus 2023.

Schipper, P., Van Boekel, E., Jeurissen, L., Renaud, L. & Hendriks, R. (2020). Water- en nutriëntenbalansen oppervlaktewater Flevoland. Wageningen Environmental Research, rapportno. 3009.

Su, Y., Wang, W., Wu, D., Huang, W., Wang, M. & Zhu, G. (2018). Stimulating ammonia oxidizing bacteria (AOB) activity drives the ammonium oxidation rate in a constructed wetland (CW). *Sci. Total Env.* (624), 87-95.

Van Beek, C.L., Droogers, P., van Hardeveld, H.A., Van den Eertwegh, G.A.P.H., Velthof, G.L. & Oenema, O. (2007). Leaching of Solutes from an Intensively Managed Peat Soil to Surface Water. *Water Air Soil Poll.* (182), 291-301.

Van Beek, C.L., Van Der Salm, C., Plette, A.C.C., Van De Weerd, H. (2009). Nutrient loss pathways from grazed grasslands and the effects of decreasing inputs: Experimental results for three soil types. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 83 (2), pp. 99-110.

Van der Grift, B., Rozemeijer, J.C., Berendrecht, W., Osté, L.A., Broers, H.P. & Griffioen, J. (2016). High-frequency nutrient monitoring reveals nutrient sources and transport processes in an agriculture-dominated lowland watersystem. *Hydrol. Earth System Sci* (20), 1851-1868.

Van der Grift, B., Osté, L., Schot, P.P., Kratz, A., van Popta, E., Wassen, M.J. & Griffioen, J. (2018). Forms of phosphorus in suspended particulate matter in agriculture-dominated lowland catchments: iron as phosphorus carrier. *Sci. Total Env.* (631-632), 115-129.

van der Salm, C., Dupas, R., Grant, R., Heckrath, G., Iversen, B.V., Kronvang, B., Levi, C., Rubaek, G.H., Schoumans, O.F. (2011). Predicting phosphorus losses with the PLEASE model on a local scale in Denmark and the Netherlands. *Journal of Environmental Quality* (40), 1617-1626.

Van der Salm, C., Van den Toorn, A., Chardon, W.J. & Koopmans G.F. (2012). Water and nutrient transport on a heavy clay soil in a fluvial plain in the Netherlands. *J. Environ. Qual.* (41), 229-241.

Van der Zaan, B. & Van Dongen, M. (2020). Effectmonitoring 2019 UPDA. Waterschap Hunze en Aa.

Van Helvoort, P.J., Griffioen, J. & Hartog, N. (2007). Characterization of the reactivity of riverine heterogeneous sediments using a facies-based approach: The Rhine-Meuse delta (the Netherlands). *Appl. Geochem* (22), 2735-2757.

Veraart, A.J., Audet, J., Dimitrov, M.R., Hoffmann, C.C., Gilissen, F. & De Klein, J.J.M. (2014). Denitrification in restored and unrestored Danish streams. *Ecol. Eng.* (66), 129-140.

Vermooten, S., Maring, L., Van Vliet, M. & Griffioen, J. (2006). Landsdekkende, geologische karakterisering van de regionale grondwatersamenstelling in de geotop van Nederland. Datarapport. TNO Bouw en Ondergrond, rapportno. 2006-U-R0171/A.

Yu, L., Rozemeijer, J., Van Breukelen, B. M., Ouboter, M., Van Der Vlugt, C., & Broers, H. P. (2018). Groundwater impacts on surface water quality and nutrient loads in lowland polder catchments: monitoring the greater Amsterdam area. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(1), 487-508

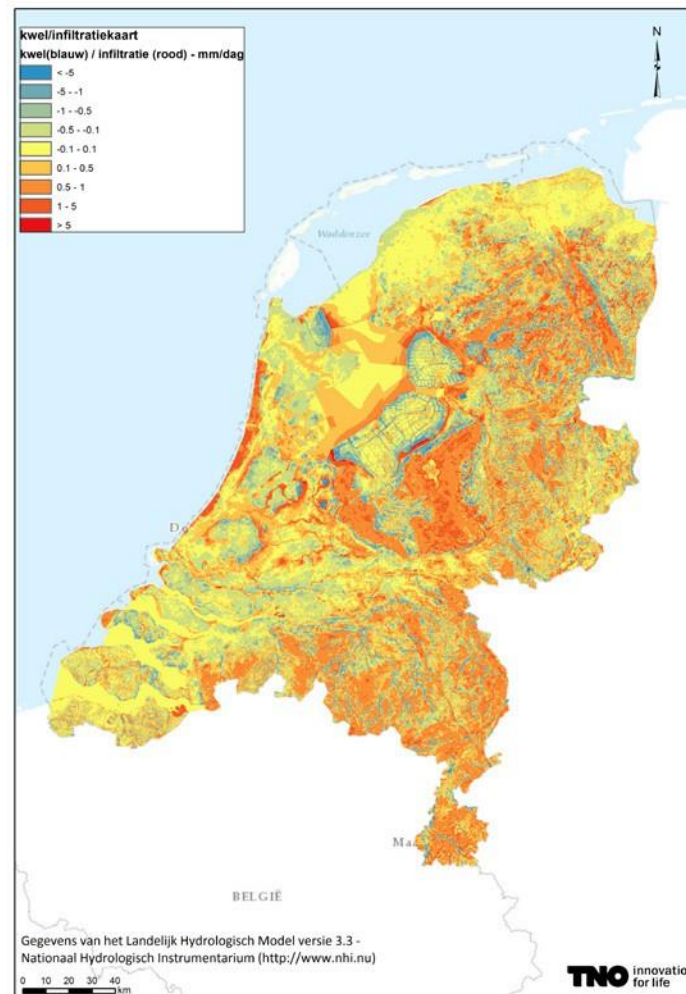
Yu, L., Rozemeijer, J. C., Broers, H. P., Van Breukelen, B. M., Middelburg, J. J., Ouboter, M., & Van Der Velde, Y. (2021). Drivers of nitrogen and phosphorus dynamics in a groundwater-fed urban catchment revealed by high-frequency monitoring. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(1), 69-87.

Bijlagen

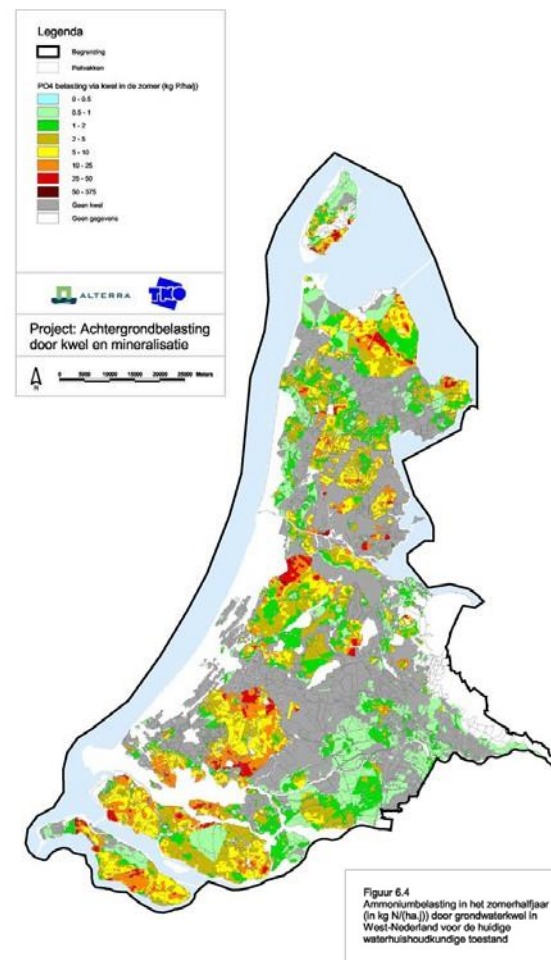
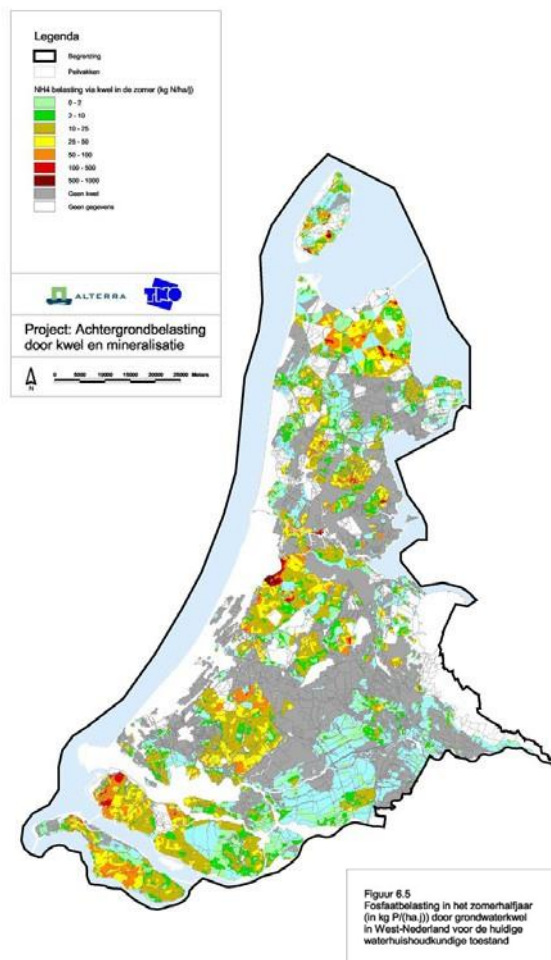
Bijlage 1 Kaart met nationale gebiedsindeling van bodemtypen zoals gehanteerd voor het Landelijk Meetnet Effecten Mestbeleid (LMM; overgenomen uit WUR Economic Research “Afname derogatie: verkenning omvang en beweegredenen ondernemers”). De zeekleipolders vallen onder drie onderscheiden zeekleigebieden: Zeeklei noord, Zeeklei centraal en Zeeklei zuidwest.



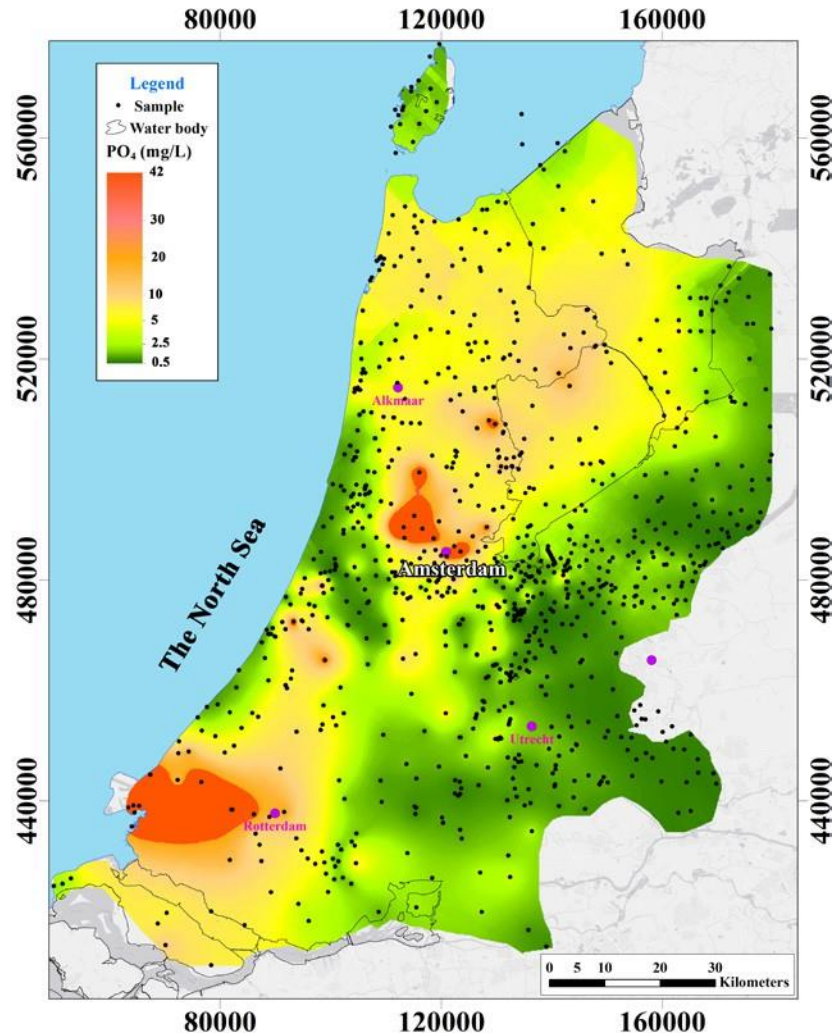
Bijlage 2 Kaart met de intensiteit van grondwaterkwel dan wel infiltratie. Gegevens afkomstig van het Landelijk Hydrologisch Model (<https://nhi.nu/>).



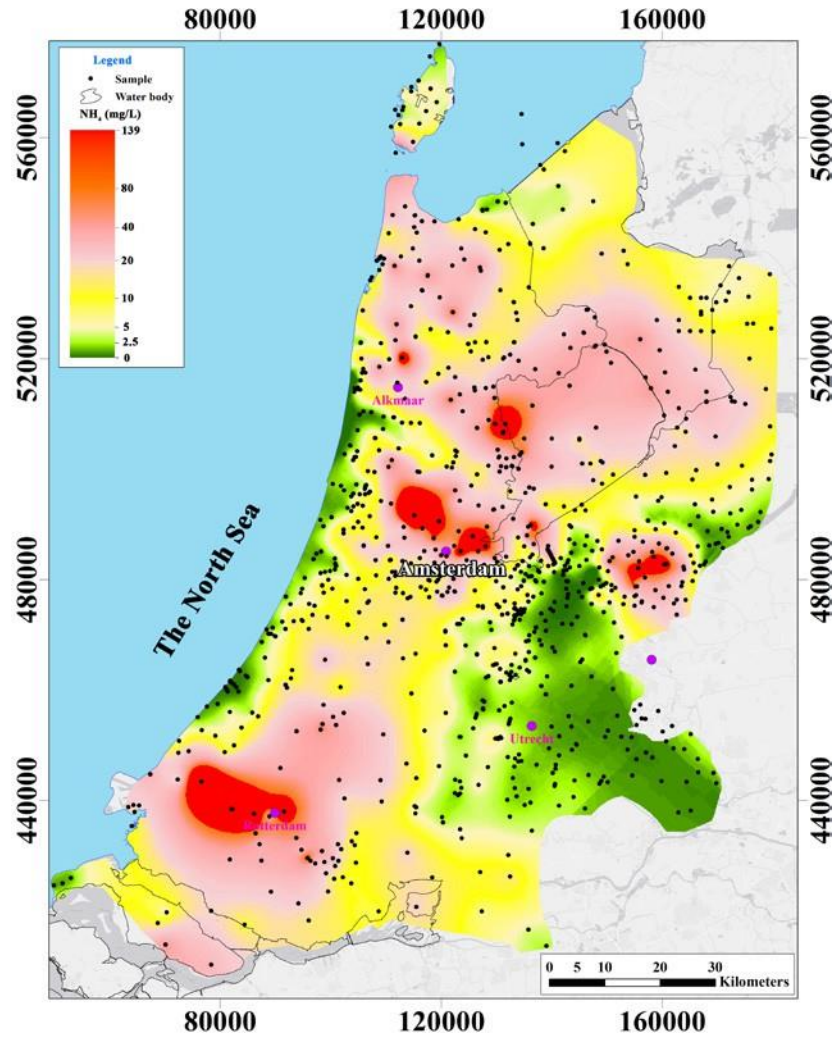
Bijlage 3 Kaarten met de fosfaat- en ammoniumbelasting van het oppervlaktewatersysteem gedurende het zomerhalfjaar door kwel vanuit het eerste watervoerende pakket (Griffioen et al., 2002). Merk op dat de belasting van het oppervlaktewatersysteem door kwel mogelijk hoger is dan aangegeven doordat fosfaat en ammonium worden gemobiliseerd in de Holocene deklaag tijdens passage van de kwel.



Bijlage 4 Kaarten van West-Nederland met de fosfaat- en ammoniumconcentraties in grondwater op 5-20 m-NAP. De kaarten zijn opgesteld door Mojtaba Zaresefat (Universiteit Utrecht) middels Empirical Bayesian Kriging van analysegegevens van de aangegeven grondwaterputten. Merk op dat de eenheden mg PO₄/L en mg NH₄/l zijn en niet mg P/L en mg N/L. De conversiefactoren zijn respectievelijk 0,32 en 0,78.

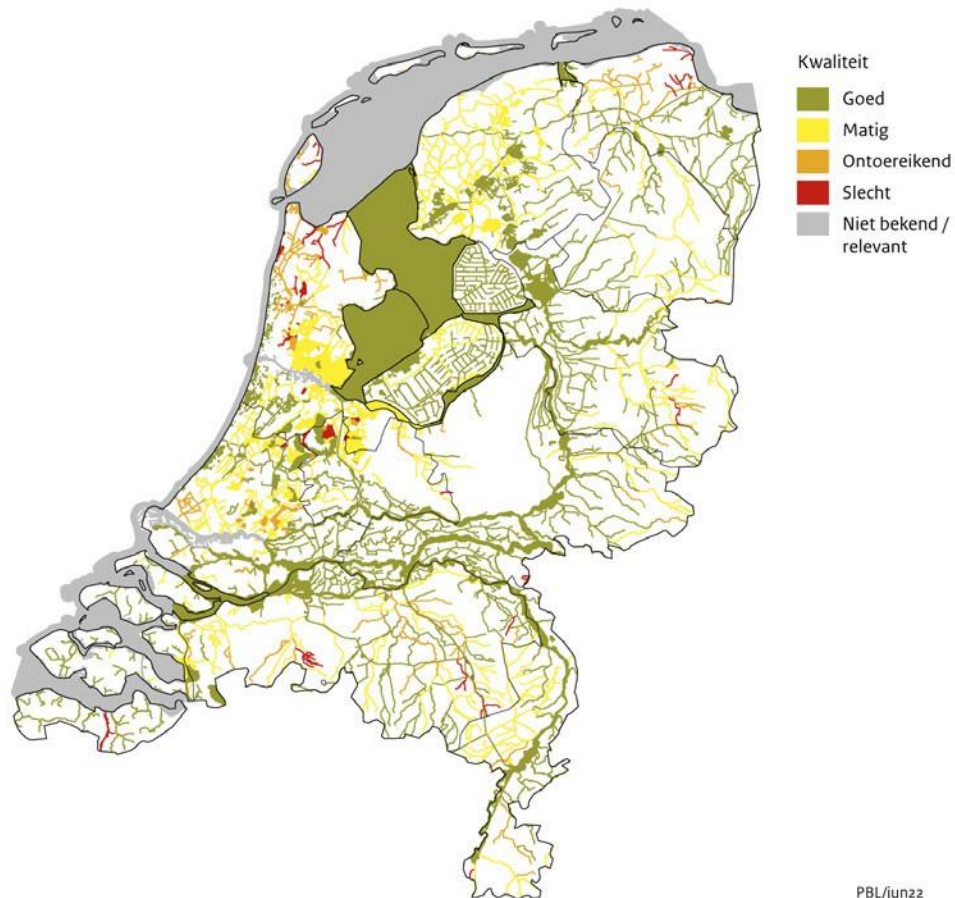


Bijlage 4 Vervolg



Bijlage 5 Kaarten met de kwaliteitstoestand volgens de Europese Kaderrichtlijn Water van oppervlaktewaterlichamen met betrekking tot de nutriënten fosfor (boven) en stikstof (onder; <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0252-fysisch-chemische-waterkwaliteit-krw>).

Beoordeling fosfor, Kaderrichtlijn Water, 2021

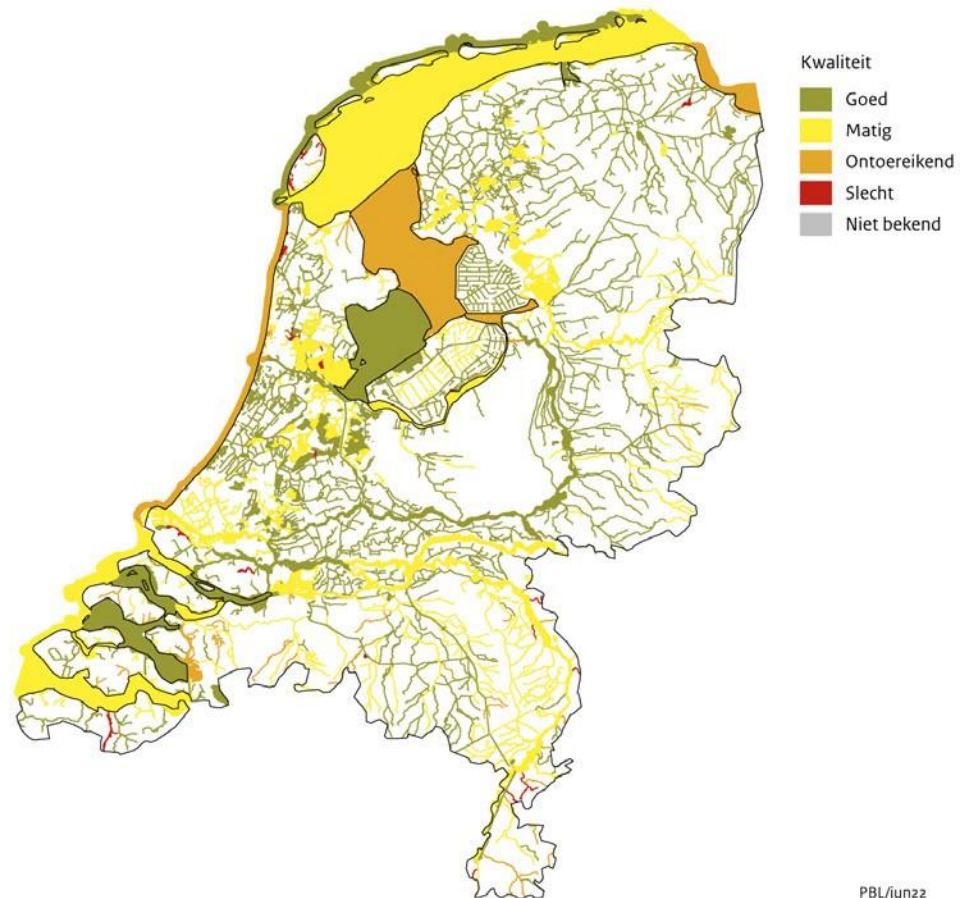


Bron: IHW (waterschappen, RWS); bewerkt door PBL

PBL/jun22
www.clo.nl/nl025217

Bijlage 5 Vervolg

Beoordeling stikstof, Kaderrichtlijn Water, 2021

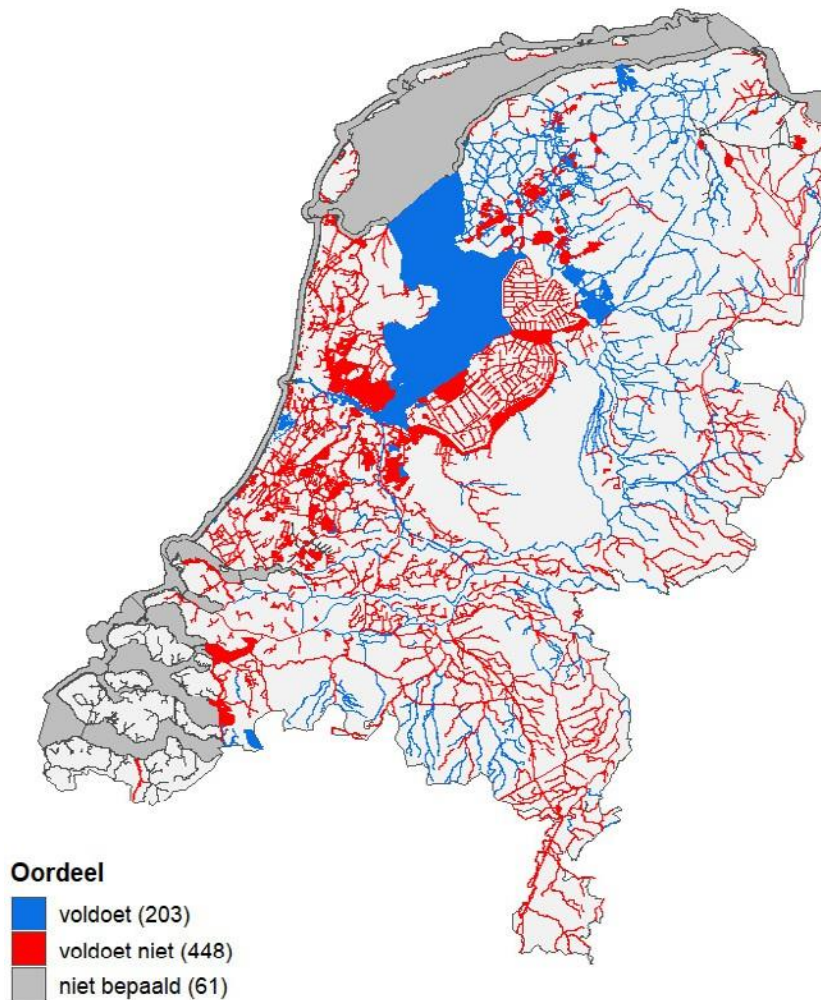


Bron: IHW (waterschappen, RWS); bewerkt door PBL

PBL/jun22
www.clo.nl/nl025217



Bijlage 6 Kaart met de kwaliteitstoestand volgens de Europese Kaderrichtlijn Water van oppervlaktewaterlichamen met betrekking tot het nutriënt ammonium voor rapportagejaar 2019 (Rost et al., 2020).



Bijlage 7 Infographic

Negatieve invloed stikstof & fosfor op waterkwaliteit kleipolder

Complexiteit nutriëntenbelasting door kwel van grondwater

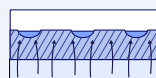
Belangrijke bronnen

-  Neerslag
-  Landbouw
-  Achtergrondbelasting
-  Rioolwaterzuiveringsinstallaties

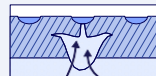
Verschijningsvorm nutriënten

-  Gebonden stikstof (N)
-  Ammonium (NH₄)
-  Ortho-fosfaat (o-PO₄)
-  Gebonden fosfaat (PO₄)
-  Nitraat (NO₃)

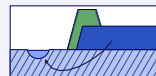
Kwelwater



Diffuse kwel

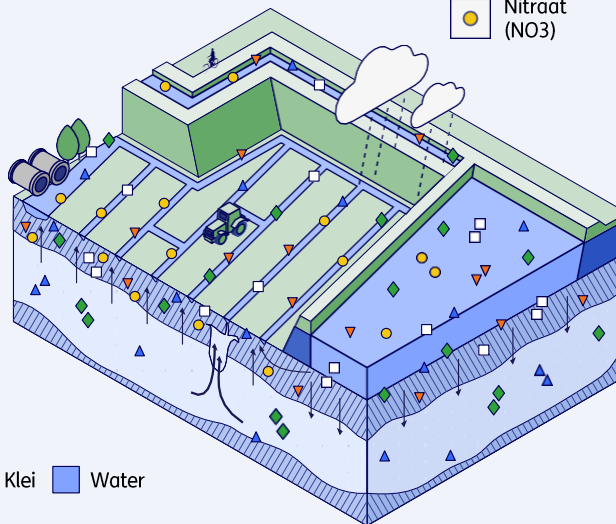


Wellen



Dijkkwel

 Veen  Zand  Klei  Water



Nutriëntrijke kwel nauwkeurig vaststellen

Analyse bijdragende bronnen



Veldgegevens

Hydrologische modellen



Geactualiseerde analyse van bronnen die bijdragen

Contact

Contact

prof. dr. Jasper Griffioen

Professor Waterkwaliteitsbeheer

✉ jasper.griffioen@tno.nl

✉ j.griffioen@uu.nl

dr. Alwina Hoving

Senior onderzoeker Milieugeochemie

✉ alwina.hoving@tno.nl

Utrecht, Princetonlaan 6

TNO innovation
for life



Universiteit
Utrecht

Projectnummer

060.59460/01.01.08

RIS Report Number

TNO 2024 P10390

Alle rechten voorbehouden

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

© Februari 2024 TNO