

KWR 2020.028 | Maart 2020

**Toestand
watervegetatie in
infiltratieplassen in
Solleveld**

Toestand van watervegetatie in infiltratieplassen in Solleveld

KWR 2020.028 | Maart 2020

Opdrachtnummer

402835

Projectmanager

Dr. E. Dorland

Opdrachtgever

Dunea

Auteurs

Drs. C.J.S. Aggenbach, dr.ir. A.M. Verschoor,
S. Clevers MSc

Kwaliteitsborger

Dr.ir. R.P. Bartholomeus

Verzonden naar

Dunea

Dit rapport is niet openbaar en slechts verstrekt aan de opdrachtgevers van het adviesproject. Eventuele verspreiding daarbuiten vindt alleen plaats door de opdrachtgever zelf.

Keywords

watervegetatie, waterkwaliteit, nutriëntenflux,
infiltratieplas, kunstmatige infiltratie

Jaar van publicatie
2020

Meer informatie

Dr. Edu Dorland
T +31 6 46916697
E Edu.Dorland@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR

Maart 2020 ©

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevens bestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder

Samenvatting

Aanleiding

De infiltratieplassen van Dunea in duingebied Solleveld zijn van belang voor aquatische natuurwaarden en hebben een ecologische doelstelling voor de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW). Een tussenevaluatie gaf aan dat de watervegetatie slecht tot matig is ontwikkeld. Een mogelijke oorzaak is dat een hoge fosfaatbelasting als gevolg van ruime aanvoer van voorgezuiverd rivierwater de ontwikkeling van een soortenrijke vegetatie van waterplanten belemmert. Doel van dit onderzoek is:

1. beoordelen van de toestand van de watervegetatie in 2018;
2. vaststellen van de mate van fosfaatbelasting en inschatten van mogelijke effecten hiervan op ontwikkeling van watervegetatie;
3. beoordelen welke andere factoren een rol kunnen spelen in de ontwikkeling van de watervegetatie;
4. inventariseren van mogelijke maatregelen in het infiltratiesysteem van Solleveld om de kwaliteit van de watervegetatie te verbeteren.

Beantwoording vragen

Geeft een meer gedetailleerde inventarisatie van watervegetatie van 2018 in afzonderlijke plassen een andere beoordeling van realisatie van het KRW-doel t.o.v. de beoordeling met de officiële KRW-methode?

Het antwoord hierop is deels bevestigend. De beoordeling van de vegetatie op basis van inventarisatie uit 2000 viel laag uit doordat de individuele plassen zelf laag scoren. In 2018 scoorden veel plassen voor bedekking en soortensamenstelling van waterplanten in aanzienlijk deel van de plassen beter. De soortenrijkdom aan waterplanten was gering, maar er werden enkele bijzondere soorten aangetroffen. Omdat de inventarisatie van plantensoorten echter verschilde tussen 2000 (water en oeverplanten) en 2018 (alleen waterplanten) is echter lastig te beoordelen of de kwaliteit van submerse vegetatie is verbeterd door de herinrichting in de periode 2000-2006. De toestand van het doel watertype M23 wordt beoordeeld op plas 7 en in 2019 ook op basis van plas 13. De watervegetatie op basis van macrofytensamenstelling van waterplanten zou in zou dan zeer goed voor plas 7 en goed voor plas 13 worden beoordeeld. De macrofytenbedekking scoort dan echter voor plas 7 matig. Onduidelijk is wat de score zal zijn op basis van de totale soortensamenstelling van macrofyten (water- en oeverplanten).

Hoe hoog is de fosfaatbelasting van de plassen en hoe beïnvloedt deze de ontwikkeling van een soortenrijke vegetatie van waterplanten?

De fosfaatbelasting is zeer hoog (voor zomer- en winterhalfjaar resp. gemiddeld 9 en 12 mg P/m²/d) in vergelijking tot meren in het laagland en andere duininfiltratiesystemen. Dit is het gevolg van een combinatie van een relatief hoge totaal fosfor (P-totaal) concentratie en een hoge hydraulische belasting. De berekende P-belasting is gebaseerd op een aanname voor de verdeling van het gemeten totale aanvoerdebiet van voorgezuiverd rivierwater over de plassen (zie par. 2.3). De werkelijke P-belasting kan daarvan afwijken. Een zekerder bepaling van de P-belasting is mogelijk als aanvoerdebieten van afzonderlijke plassen worden gemeten.

Naast een hoge P-belasting is de orthofosfaatconcentratie in het oppervlaktewater ook vaak hoger dan grenswaarden waarbij soortenrijke watervegetatie kan voorkomen. Tevens komen in de zomer

regelmatig hoge P-totaal concentraties (>0,06 mg P/l) voor, waarbij algenbloei zou kunnen optreden. Algenbloei is echter weinig waargenomen in de plassen van Solleveld, waarschijnlijk vanwege de doorgaans korte verblijftijd. Alleen in plas 12, met een relatief lange verblijftijd, treedt algenbloei op. Bij een langere verblijftijd wordt fytoplankton minder snel afgevoerd uit de waterlaag en heeft dan voldoende tijd om te groeien. In de overwegend heldere plassen valt het op dat de bedekking met watervegetatie doorgaans beperkt is. In plassen met een kortere verblijftijd zorgt een hoge P-belasting wel voor een sterke groei van algen op de bodem en planten (perifyton), wat de ontwikkeling van een goed ontwikkelde watervegetatie kan belemmeren.

Opvallend is dat ondanks de zeer hoge P-belasting in Solleveld in de zomer (juli 2018) in de waterlaag uitputting optreedt van orthofosfaat. Omdat dit ook gebeurt in plassen met geen of weinig macrofyten zullen vooral algen en cyanobacteriën zorgen voor de opname van orthofosfaat. Omdat nitraatconcentraties niet naar zeer lage waarden dalen, is het systeem P-beperkt in de productie. Uit vergelijking van de P-totaal concentraties in het voorgezuiverde rivierwater en het teruggewonnen water blijkt dat het infiltratiesysteem (plassen+freatisch pakket) sinds 2006 fosfaat verliest. Netto accumuleert het infiltratiesysteem dus niet en lijkt het niet aannemelijk dat een groot deel van het aangevoerde fosfaat in de plassen accumuleert. Wel kan er in de sliblaag van de plassen fosfaat worden geaccumuleerd door dode algen en neerslag van fosfaathoudend kalkslib. Of accumulatie van fosfaat in de sliblaag die in de opgeschoonde plassen weer ontstaan is, bijdraagt aan een betere fosfaatbeschikbaarheid voor wortelende waterplanten en algen op de bodem is onduidelijk.

Welke andere factoren dan nutriëntenrijkdom kunnen de ontwikkeling van watervegetatie beïnvloeden?

De grote plas 12 is duidelijk afwijkend van de overige plassen met sterke algenbloei en het ontbreken van watervegetatie. Hier dragen mogelijk de volgende oorzaken aan bij: 1) de relatief lange verblijftijd, 2) het aanwezig zijn van een fosfaatrijke sliblaag, 3) aanwezigheid van stortafval, 4) sterke opwoeling van bodemslib door een grote karperpopulatie, 5) uitwerpselen van een aalscholverkolonie. Voor de plassen 8, 9A, 11 en 13 kan een hoge bedekking van waterplantvegetatie samenhangen met hun geringe grootte en diepte. Andere plassen met weinig watervegetatie zijn juist dieper: in diepere delen (> 1 m) kan lichtbeperking (mede door troebelheid) een grote rol spelen. Ook is mogelijk de combinatie van de hoeveelheid perifyton en waterdiepte doorslaggevend voor de lichtcondities voor diverse submerse waterplantsoorten. In ondiep water zouden deze mogelijk nog relatief veel perifyton kunnen verdragen, omdat hier meer licht doordringt. In dieper water is de indringing van licht minder, wat samen met perifyton kan zorgen voor een sterkere lichtbeperking. Na het opschonen van de meeste plassen in 2006 is hier weer een nieuwe slibbodem ontstaan. Hierin kan fosfaat accumuleren en zorgen voor een hoge fosfaatbeschikbaarheid voor wortelende planten en algen op de bodem.

Wat zijn mogelijke maatregelen voor verbetering van de watervegetatie?

Verlaging van de P-belasting is een zinvolle optie omdat het aquatisch systeem in Solleveld P-gelimiteerd is. Dit kan worden bereikt door een combinatie van het verminderen van de hydraulische belasting (minder water infiltreren en dus minder water winnen) en/of verlagen van de P-totaal concentratie van het aangevoerde rivierwater. Aangezien het infiltratiegebied een waterwinfunctie heeft is verminderen van de infiltratie en daarmee hydraulische belasting een weinig realistische optie. Het verlagen van de hydraulische belasting kan bovendien bloei van fytoplankton bevorderen, wat weer remmend kan werken op de watervegetatie. Dat is een reëel risico bij de huidige hoge fosfaatconcentraties van het voorgezuiverde rivierwater. Het verbeteren van de fosfaatverwijdering in de voorzuivering van rivierwater is technisch gezien een optie. Ten eerste zou de P-belasting flink verlaagd kunnen worden door ook in het winterhalfjaar te coaguleren. Daarnaast zou de coagulatie kunnen worden verbeterd. Om voor de plassen in Solleveld bij het huidige infiltratiedebiet tot een gemiddelde lage P-belasting (<2,5 mg P/m²/d) te komen, is een P-totaal concentratie van minder dan 0,01 mg P/l nodig. Dat is 4,5 maal zo laag als de huidige gemiddelde concentratie. Een streefwaarde van de P-totaal concentratie in het

voorgezuiverde water kan daarbij tevens worden afgestemd met ecologische waarden van infiltratieplassen, kwelplassen en natte duinvalleien in alle duininfiltratiegebieden van Dunea. Een lagere fosfaatconcentratie van het infiltratiewater draagt immers ook bij aan de duurzaamheid van al deze gebieden.

Een aanzienlijk oppervlakte-aandeel van de plassen is diep (> 1m), wat in combinatie met snelle perifytongroei snel kan leiden tot lichtbeperking van submerse macrofyten. Een mogelijke maatregel om dit tegen te gaan is om de plassen ondieper te maken met nutriëntenarm zand. De hydraulische belasting en infiltratiesnelheid blijven dan hetzelfde, maar het lichtklimaat verbetert. Het is wel de vraag hoe onderhoudsgevoelig dit is, aangezien de plassen dan sneller dichtgroeien met helofyten en verlanding kan optreden.

Ondanks dat plas 12 wat betreft watervegetatie momenteel het minst ontwikkeld is, is er juist voor deze plas een perspectief voor verdere ontwikkeling van de onderwatervegetatie. Als de fosfaatconcentratie van het aangevoerde water wordt verlaagd kan algenbloei worden voorkomen en de laagste P-belasting in Solleveld worden gerealiseerd. Verdere maatregelen die hieraan kunnen bijdragen zijn: 1) baggeren van de ondiepe delen, 2) wegvangen van karpers, 3) bomen kappen zodat de aalscholverbreedkolonie verdwijnt.

Inhoud

Samenvatting	3
Inhoud6	
1 Inleiding	7
1.1 Aanleiding	7
1.2 Aanpak	7
2 Beschrijving waterhuishouding en waterchemie infiltratiegebied	9
2.1 Hydrografie van de infiltratieplassen	9
2.2 Aanvoer infiltratiewater	11
2.3 Verblijftijden en hydraulische belasting infiltratieplassen	12
2.4 Chemische samenstelling aangevoerde rivierwater en oppervlaktewater in plassen	15
3 Kwaliteit van de watervegetatie en score tot het KRW-doel	24
3.1 Aanpak	24
3.2 Resultaat	24
3.2.1 Huidige watervegetatie	24
3.2.2 Evaluatie doelrealisatie kaderrichtlijnwater	26
4 Fosfaatconcentratie en -belasting in relatie tot goed ontwikkelde watervegetatie	28
4.1 Aanpak	28
4.2 Resultaat	28
5 Discussie en conclusies	33
5.1 Kwaliteit watervegetatie in relatie tot KRW-doel	33
5.2 Fosfaatbelasting	33
5.3 Andere factoren voor watervegetatie	35
6 Mogelijke maatregelen voor verbetering kwaliteit van de watervegetatie en adviezen voor monitoring	37
6.1 Mogelijke maatregelen	37
6.2 Adviezen voor monitoring	38
7 Literatuur	39
I Bijlage: Hydrografische kenmerken, helderheid van het water en soortensamenstelling van de watervegetatie in de infiltratieplassen	40

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De infiltratieplassen van Dunea in duingebied Solleveld zijn van belang voor aquatische natuurwaarden en hebben een ecologische doelstelling voor de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW). Een tussenevaluatie voor de periode 2000-2007 met de officiële KRW-methode gaf aan dat de watervegetatie slecht tot matig is ontwikkeld (Sierdsma et al. 2008). Een mogelijke oorzaak is dat een hoge fosfaatbelasting de ontwikkeling van een soortenrijke vegetatie van waterplanten belemmert. Het infiltratiesysteem is namelijk na de herinrichting geïntensiveerd, waardoor de infiltratiesnelheid van de plassen hoog is. Dit geeft een hoge aanvoer van infiltratiewater en daarmee vermoedelijk ook een hoge fosfaatbelasting, zelfs als het infiltratiewater in het groeiseizoen wordt voorgezuiverd. Uit eerder onderzoek van KWR aan het intensieve infiltratiesysteem in de Oostduinen (i.o.v. Evides; Aggenbach et al. 2012+2016; Aggenbach & Annema 2014) blijkt dat de hoge fosfaatbelasting algengroei op waterplanten bevordert en daarmee het voorkomen van waterplanten beperkt.

Dunea heeft de volgende vragen ten aanzien van de watervegetatie in de infiltratieplassen van Solleveld:

1. Geeft de meer gedetailleerde inventarisatie van watervegetatie van 2018 een andere beoordeling van realisatie van het KRW-doel t.o.v. de beoordeling met de officiële KRW-methode?
2. Hoe hoog is de fosfaatbelasting van de plassen en in hoeverre beïnvloedt deze de ontwikkeling van soortenrijke vegetatie van waterplanten?
3. Welke andere factoren kunnen de ontwikkeling van soortenrijke watervegetatie beïnvloeden?
4. Met welke maatregelen kan de kwaliteit van de watervegetatie worden verbeterd?

Opbrengsten

De opbrengsten van het project bestaan uit:

1. inzicht in de actuele kwaliteit van de watervegetatie in relatie tot het KRW-doel;
2. inzicht in de fosfaatbelastingen van de afzonderlijke infiltratieplassen en beoordeling per plas in hoeverre deze kan leiden tot een goed ontwikkelde watervegetatie;
3. inzicht in andere factoren die de ontwikkeling van watervegetatie kunnen beïnvloeden; daarbij worden de volgende factoren beoordeeld: hoge nutriëntengehalten in de winter- en voorjaarsperiode wanneer geen voorzuivering plaatsvindt, begrazing en opwerveling van slib door vissen, inwaai/invalid van nutriëntenrijk blad van bomen;
4. aanbevelingen over mogelijke maatregelen, met een inschatting van de kans van slagen.

De resultaten worden in dit rapport gepresenteerd.

1.2 Aanpak

Onderdeel 1: beschrijving waterhuishouding en waterchemie van de infiltratieplassen (H 2)

De ontwikkeling, huidige morfologie en omvang van de infiltratieplassen is beschreven. Daarna is het aanvoerdebiet van infiltratiewater naar de plassen, de verblijftijd en hydraulische belasting van de plassen kwantitatief beschreven voor de periode 2008-2018. Voor dezelfde periode is het verloop en de seizoensdynamiek van nutriënten- en chlorofyl-concentratie van het aangevoerde voorgezuiverde rivierwater en het water in de plassen beschreven.

Evaluatie watervegetatie en doelrealisatie KWR (H 3)

Op basis van de inventarisatie uit 2018 is de toestand van de watervegetatie geëvalueerd en beoordeeld hoe deze samenhangt met morfologie, hydraulische belasting, de concentratie en belasting met totaal-P en enkele andere omgevingsfactoren. Tevens is de toestand van deze wateren geëvalueerd aan de hand van de KRW-maatlatten voor ondiepe kalkrijke (grotere) plassen (type M23).

Evaluatie nutriëntenconcentraties en P-belasting in relatie tot goed ontwikkelde watervegetatie (H 4)

Omdat fosfaat waarschijnlijk beperkend is voor het aquatische ecosysteem is gekeken hoe de fosfaat en totaal-fosfor concentratie van het oppervlaktewater zich verhouden tot grenswaarden voor goed ontwikkelde watervegetatie. Daarna is de berekende P-totaal belasting geëvalueerd in relatie tot aquatische vegetatie. Daarbij zijn effecten op macrofyten, fytoplankton (zwevende algen) en perifyton (algen op macrofyten en de bodem) beschouwd. Voor deze beoordeling is gebruik gemaakt van inzichten uit andere duininfiltratiesystemen waaronder die in de Oostduinen en grenswaarden die kunnen worden afgeleid uit berekeningen van omslagpunten in aquatische ecosystemen met PC-lake en PC-ditch.

Screening andere oorzaken met bestaande gegevens (H 5)

De invloed van andere factoren is geanalyseerd op basis van beschikbare gegevens. Dit heeft geleid tot een kwalitatieve beoordeling van de invloed van overige factoren op de kwaliteit van de watervegetatie.

Analyse mogelijke maatregelen voor verbetering van de kwaliteit van watervegetatie (H 6)

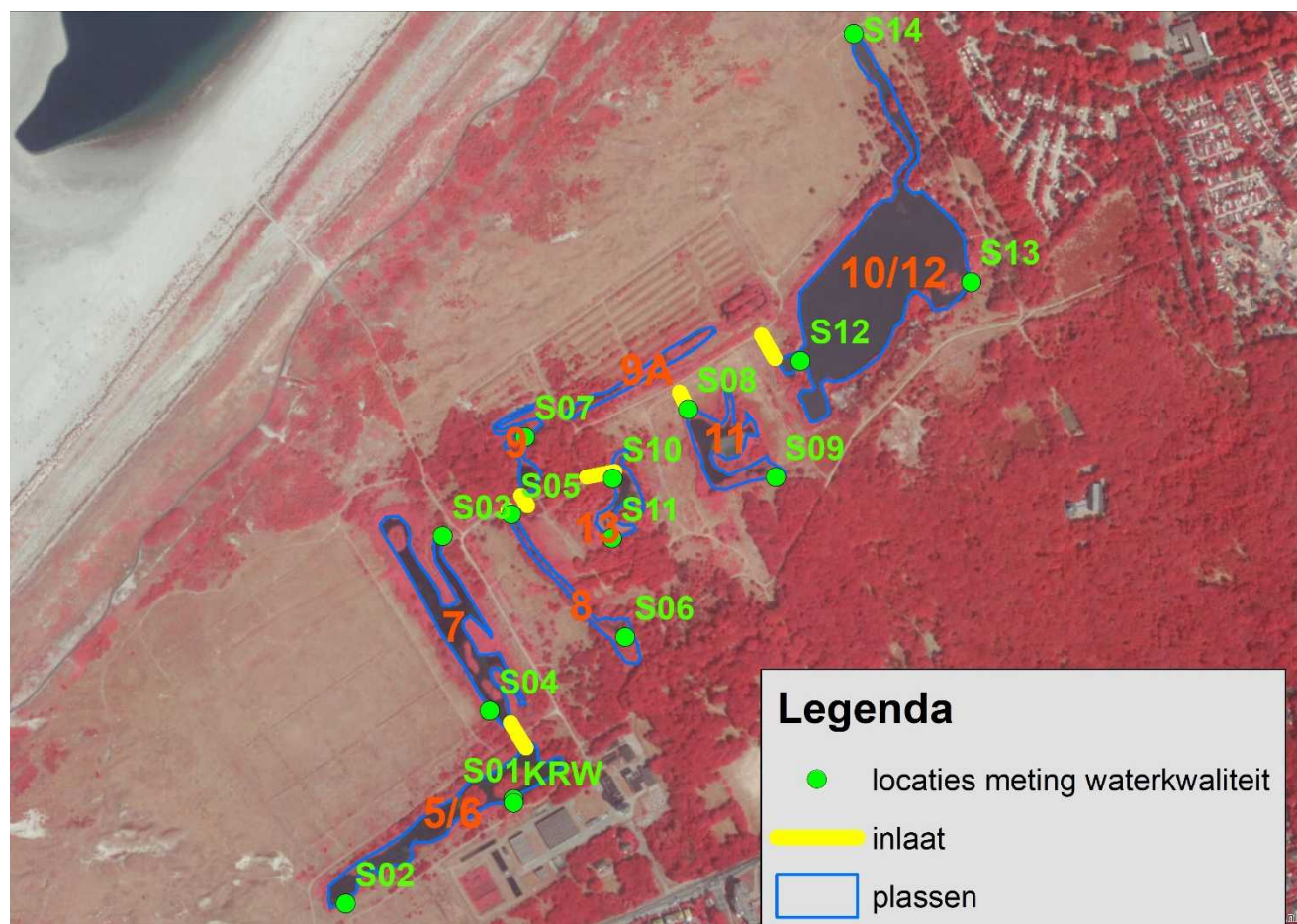
Op basis van de bevindingen uit de voorgaande onderdelen worden optie voor maatregelen gegeven indien verwacht wordt dat de KRW-doelen op termijn niet kunnen worden behaald. Bij elke mogelijke maatregel is de kans op succes op een betere watervegetatie ingeschat. Hiermee kan Dunea ook extern communiceren dat maatregelen zijn overwogen en gemaakte keuzes onderbouwen.

2 Beschrijving waterhuishouding en waterchemie infiltratiegebied

2.1 Hydrografie van de infiltratieplassen

Het infiltratiegebied bestaat uit een achttal plassen die elk hun eigen inlaatpunten hebben voor aanvoer van oppervlaktewater (Figuur 2-1). De meeste plassen zijn aangelegd ten behoeve van de infiltratie. Plas 12 is een oude zandwinput die ook als infiltratieplas in gebruik is genomen. Met de herinrichting in de periode 2000 tot en met 2006 zijn diverse aanpassingen uitgevoerd (info ontleend aan Sierdsma et al. 2008 en mondelinge mededeling H. van der Hagen). De plassen 5 en 6 en ook 10 en 12 zijn met elkaar verbonden. Tevens zijn twee nieuwe plassen zijn aangelegd (11 en 13) waarbij een optimale morfologie voor de natuur is nagestreefd. De morfologie van plassen 9 en 9a is niet gewijzigd vanwege cultuurhistorische waarden. Ook zijn de plassen 5/6, 7 en 8 verdiept tot 2 à 3 meter, ze zijn verbreed en grote delen van de oevers zijn geoptimaliseerd voor de natuur. Van plas 8 kon alleen de oostelijke lob worden verbreed i.v.m. de ligging van ontrekkingsputten. Met de werkzaamheden is in 2006 het slib dat in de bestaande plassen 5 t/m 10 was geaccumuleerd verwijderd. In plas 12 is geen slib verwijderd, omdat deze plas voor een groot deel diep is (2 tot 8 m). In deze plas zijn de rand in de noordoostelijke hoek ondieper gemaakt (tot 0.5 m diep).

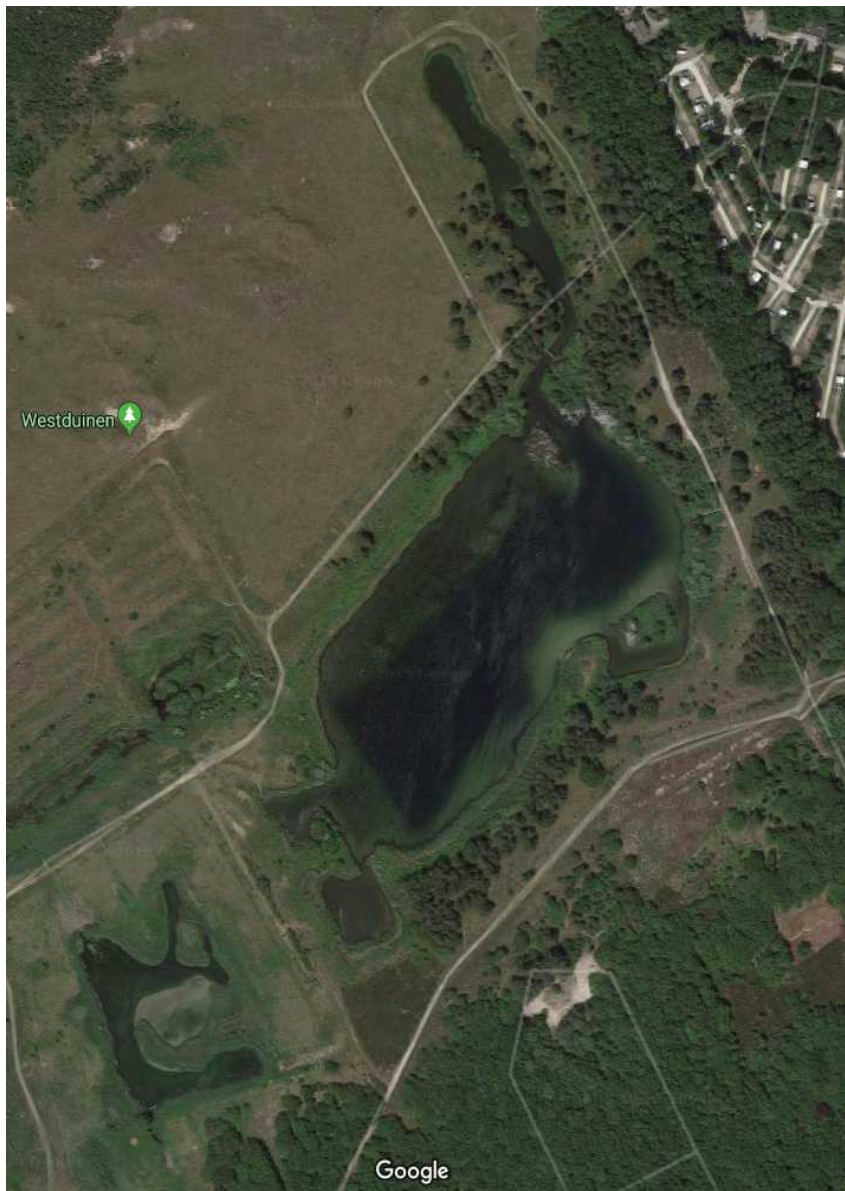
De oppervlakte, omtrek, vorm, diepte en volume van de plassen varieert sterk (Tabel 2-1). De oppervlakte van de meeste plassen is gering (0,3 tot 1 ha). Plas 12 is een stuk groter (4,3 ha) en neemt daarmee 50% van het oppervlakte met open water in. De omtrek varieert van ca. 400 tot 1500 m. Diverse plassen zijn langwerpig en hebben het inlaatpunt aan een uiteinde liggen; andere hebben een bochtige vorm met uitstulpingen. De meeste plassen zijn ondiep: 1 tot 2,5 m. De oevers lopen vaak steil af. Een groot deel van plas 12 is ca. 8 m diep, waarbij de randen en uitstulpingen juist ondiep zijn (Figuur 2-2). Voor deze plas is daarom een gemiddelde diepte van 4 m aangenomen. Volumes variëren sterk waarbij plas 9 en 13 het kleinste volume hebben en plas 12 het grootste volume. Deze laatste plas bevat dan ook 66 % van het hele volume aan oppervlaktewater van het infiltratiegebied. Rond de plassen liggen tientallen drains die het infiltratiewater terugwinnen.



Figuur 2-1: Ligging van de plassen (nummer in rood), de meetpunten voor oppervlaktewater die in 2019 tweemaal zijn bemonsterd (code Sx) en het KRW-meetpunt in plas 7 (KRW). De inlaatpunten met infiltratiewater zijn eveneens aangegeven met gele strepen.

Tabel 2-1: Hydrografische kenmerken van de infiltratieplassen.

variabele	totaal	Plas 5/6	Plas 7	Plas 8	Plas 9	Plas 9a	Plas 11	Plas 12	Plas 13
oppervlakte (m ²)	85506	12137	11528	3735	2889	3193	6863	41831	3330
fractie opp plas/totaal		0.14	0.13	0.04	0.03	0.04	0.08	0.49	0.04
omtrek (m)	6225	871	1179	591	502	490	677	1520	394
fractie omtrek plas/ totaal		0.14	0.19	0.09	0.08	0.08	0.11	0.24	0.06
gemiddelde diepte (m)		2.50	1.75	2.00	1.75	1.00	2.00	4.00	1.50
totaal volume (m ³)	252281	30343	20174	7469	5056	3193	13725	167326	4995
fractie volume plas/totaal		0.12	0.08	0.03	0.02	0.01	0.05	0.66	0.02



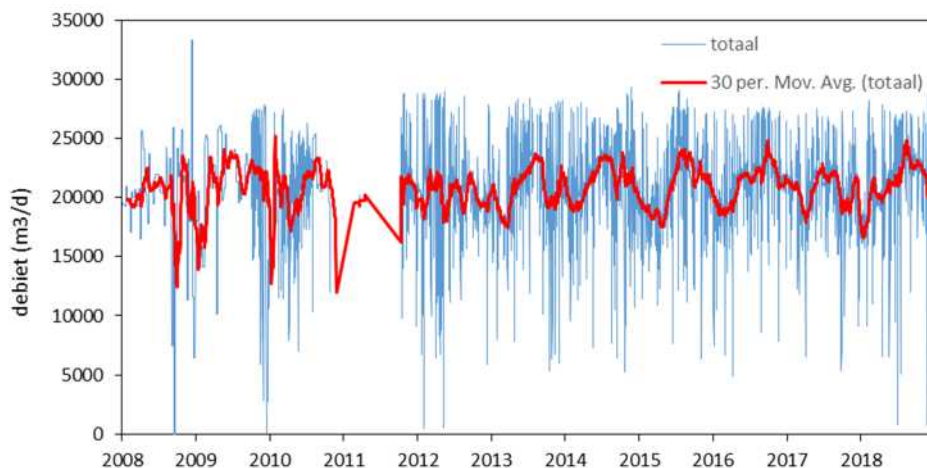
Figuur 2-2: Luchtfoto met plas 12 in het centrum. Ondiepe delen hebben een lichtere kleur, terwijl de diepste delen donker zijn.

2.2 Aanvoer infiltratiewater

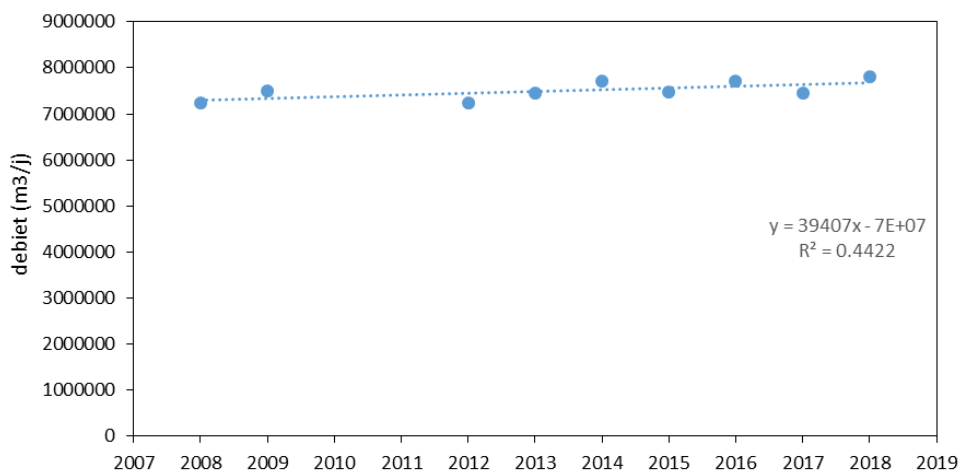
Infiltratie van oppervlaktewater in het duin is in Solleveld begonnen in 1970. Eerst werd rivierwater uit de Lek gebruikt. Wegens verslechtering van de kwaliteit van het Lekwater werd vanaf 1976 begonnen met het infiltreren van voorgezuiverd rivierwater uit de Andelse Maas. Het huidige innamepunt ligt bij Brakel waar water uit de Andelse Maas wordt ingenomen en 1976 voorgezuiverd. Daarna wordt het ingenomen water in Bergambacht nog een keer gezuiverd over zandfilters. De meeste plassen hebben een eigen aanvoerpunt. Plas 9 en 9A bestaan uit twee geschakelde delen.

Vanaf 2008 zijn dagelijkse debietmetingen beschikbaar van de totale aanvoer van rivierwater. In 2010 en 2011 is gedurende langere periodes minder vaak gemeten. In Figuur 2-3 wordt het verloop van de dagmetingen en het voortschrijdende gemiddelde voor 30 dagen weergegeven. Gemiddeld bedroeg het debiet $20.574 \text{ m}^3/\text{d}$ ($=7,5$ miljoen m^3/j). Op een korte termijn van enkele dagen kunnen zeer grote

fluctuaties optreden. Het voortschrijdende gemiddelde over 30 dagen fluctueerde vanzelfsprekend veel minder. In 2008, 2009 en 2012 trad op basis van het 30d-voortschrijdende gemiddelde geen duidelijk seizoensmatig verloop op. In de periode 2008-2011 waren de fluctuaties van het 30d-voortschrijdende gemiddelde ook relatief groot. In 2010 en vanaf 2013 trad wel een seizoensmatige fluctuatie op met de hoogste aanvoerpiek in de zomer. Enkele jaren (2013, 2014 en 2017) hadden ook nog een kortere en lagere piek aan het einde van het jaar. Er is een zwakke toename opgetreden van het jaarlijkse infiltratiedebiet met ca. 40.000 m³ per jaar (Figuur 2-4). Dat is gering ten opzichte van de onttrekking van 7,8 miljoen m³/j in 2018.



Figuur 2-3: Verloop van het debiet van aangevoerd rivierwater naar de infiltratieplassen. Het betreft dagelijkse metingen (blauwe lijn). De rode lijn is het 30-dagen voortschrijdend gemiddelde.



Figuur 2-4: Trend van het jaarlijkse debiet van aangevoerd rivierwater.

2.3 Verblijftijden en hydraulische belasting infiltratieplassen

De verblijftijd van het oppervlaktewater en de hydraulische belasting zijn een belangrijke ecologische factoren in oppervlaktewateren, omdat deze zowel de stroomsnelheid en de mede de nutriëntenbelasting bepalen. Dat geldt ook voor de infiltratieplassen in Solleveld, waar grote hoeveelheden rivierwater worden aangevoerd om via de plassen in het freatische zandpakket te infiltreren. Naast de concentratie van stoffen in het aangevoerde rivierwater bepaalt de hoeveelheid water de hoeveelheid aangevoerde nutriënten (aanvoerflux = concentratie * wateraanvoer). Daarom is

voor elke plas de verblijftijd uitgerekend. Dit is gedaan voor twee perioden: de periode van april t/m september, wanneer voor de voorzuivering van het rivierwater in de Andelse Maas gecoaguleerd wordt, en de periode oktober t/m maart wanneer niet gecoaguleerd wordt (er vindt dan wel nog filtratie over zandfilters op Bergambacht plaats).

Het aanvoerdebiet wordt alleen voor het hele infiltratiesysteem van Solleveld gemeten (zie vorige paragraaf). Om de aanvoer van rivierwater te verdelen over de plassen moest hierover een aanname worden gedaan. Omdat de onttrekkingspunten min of meer rondom alle plassen liggen is de verhouding tussen de omtrekken van een plas ten opzichte van de totale omtrekken gebruikt om het aanvoerdebiet van een plas te schatten:

$$Q_{\text{plas}} = Q_{\text{tot}} * O_{\text{plas}} / \sum O_x \quad (\text{m}^3)$$

waarbij Q_{plas} aanvoerdebiet van een plas is (in m^3) in een zomer- of winterhalfjaar (182.5 d), Q_{tot} het totale aanvoerdebiet naar alle plassen (in $\text{m}^3/182.5$ d), O_{plas} de omtrek van de plas is (in m), en $\sum O_x$ de som van de omtrekken van alle plassen (in m). Bij deze berekening is aangenomen dat de intreeweerstand van alle plassen gelijk is.

De verblijftijd is berekend met:

$$T_{\text{plas}} = 182,5 * V_{\text{plas}} / Q_{\text{plas}} \quad (\text{d})$$

waarbij V_{plas} het watervolume van de plas is (in m^3), en T_{plas} de verblijftijd (in d). De factor 182,5 is voor omrekening van de tijdseenheid van halve jaren naar dagen.

Tevens is de hydraulische belasting berekend, wat de hoeveelheid water is die wordt aangevoerd uitgedrukt in de hoeveelheid waterkolom per tijdseenheid (mm/d). Het aanvoerdebiet wordt dan gerelateerd aan de oppervlakte van de plas:

$$H_{\text{plas}} = 1000 * (1/182.5) * Q_{\text{plas}} / (\text{Opp}_{\text{plas}}) \quad (\text{mm/d})$$

Waarbij Opp_{plas} de oppervlakte van de plas is (m^2) en het getal 182,5 weer het debiet van een halfjaar omrekent naar een dagdebiet.

Omdat de verblijftijd is gerelateerd aan het plasvolume en de hydraulische belasting aan de oppervlakte van de plas betreft het dus twee verschillende berekeningen. Verschillen in waterdiepte werken alleen door op de verblijftijd.

De berekende verblijftijden worden gegeven in Tabel 2-2 voor het zomer- en winterhalfjaar. Alle plassen hebben zeer korte verblijftijden (1,9-35 d) in vergelijking tot ondiepe meren in het laagland. Meren in Nederland hebben meestal een verblijftijd van meer dan 100 dagen, in een range van 22 tot 431 dagen (Janse, 2005). Dat betekent dat het watervolume in een infiltratieplas 10-200 keer vaker per jaar wordt vervangen dan in betreffende meren. De verblijftijden variëren sterk tussen de plassen. Plas 12 heeft wegens het grote volume de grootste verblijftijd (ruim een maand), daarna volgen 5/6, 7 en 11. De laagste verblijftijden hebben 8, 9, 9A en 13. De verblijftijd correleert sterk met de helderheid van het water: de plassen 8, 9 en 9A zijn het helderst. Het verschil in verblijftijd tussen zomer- en winterhalfjaar is gering, met iets langere verblijftijden in de winter.

De hydraulische belasting, omgekeerd met de korte verblijftijden, is zeer hoog en bedraagt gemiddeld voor alle plassen 249 en 229 mm/d voor respectievelijk het zomer- en winterhalfjaar (Tabel 2-2). Wanneer deze gemiddelde waarden worden vergeleken met andere kunstmatige duininfiltraties dan zijn

die vergelijkbaar met de hydraulische belasting van Geul 31 in de AWD en veel hoger dan de gemiddelde waarden van de Oostduinen (Tabel 4-2). De gemiddelde belasting is ook veel hoger dan die van Nederlandse meren en plassen die varieert van 10 tot 80 mm/d (Janse, 2005). De hydraulische belasting van afzonderlijke plassen heeft een range van 114 tot 596 mm/d. De laagste belasting treedt op in plas 12, intermediaire waarde hebben plas 5/6, 7, 13, en de hoogste waarden in plas 8, 9, 9A. In het zomerhalfjaar is de hydraulische belasting iets (factor 1,09) hoger dan het winterhalfjaar.

Tussen de jaren zijn de verschillen in verblijftijd en hydraulische belasting gering. Gedurende 2008-2018 neemt de verblijftijd iets af, terwijl de hydraulische belasting iets toeneemt in samenhang met de zwakke toename van het aanvoerdebiet van rivierwater. Dat betekent dat de infiltratie van voorgezuiverd water iets is toegenomen. Deze toename vindt plaats bij een mogelijke toename van de weerstand voor water van de onderwaterbodem door slibvorming na het opschonen in 2006 van een deel van de plassen. Blijkbaar wordt het infiltratiedebiet (= hydraulische belasting) bepaald door regulatie van het infiltratiesysteem.

Tabel 2-2: Verblijftijden (d) met onderscheid voor jaar en seizoen (zomer = april t/m september en winter = oktober t/m maart). Er worden ook gemiddelde waarden gegeven per zomer- en winterhalfjaar voor de periode 2008-2018.

seizoen	jaar	totaal	5/6	7	8	9	9A	11	12	13
zomer	2008	8.7	11.0	5.4	4.0	3.2	2.1	6.4	34.7	4.0
zomer	2009	7.7	9.7	4.8	3.5	2.8	1.8	5.6	30.7	3.5
zomer	2010	8.4	10.6	5.2	3.8	3.1	2.0	6.2	33.5	3.9
zomer	2011	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
zomer	2012	8.5	10.6	5.2	3.9	3.1	2.0	6.2	33.6	3.9
zomer	2013	7.9	9.9	4.9	3.6	2.9	1.9	5.8	31.4	3.6
zomer	2014	7.7	9.7	4.8	3.5	2.8	1.8	5.6	30.7	3.5
zomer	2015	8.2	10.3	5.0	3.7	3.0	1.9	6.0	32.5	3.7
zomer	2016	7.8	9.9	4.9	3.6	2.9	1.8	5.7	31.2	3.6
zomer	2017	8.2	10.3	5.1	3.7	3.0	1.9	6.0	32.7	3.8
zomer	2018	7.8	9.8	4.8	3.6	2.8	1.8	5.7	31.0	3.6
winter	2008	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
winter	2009	8.7	11.0	5.4	4.0	3.2	2.0	6.4	34.6	4.0
winter	2010	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
winter	2011	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
winter	2012	9.2	11.6	5.7	4.2	3.3	2.2	6.7	36.5	4.2
winter	2013	9.2	11.6	5.7	4.2	3.4	2.2	6.8	36.7	4.2
winter	2014	8.8	11.0	5.4	4.0	3.2	2.1	6.4	34.8	4.0
winter	2015	8.8	11.1	5.4	4.0	3.2	2.1	6.4	35.0	4.0
winter	2016	8.6	10.9	5.3	3.9	3.1	2.0	6.3	34.4	4.0
winter	2017	8.3	10.4	5.1	3.8	3.0	1.9	6.0	32.8	3.8
winter	2018	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
zomer	gemiddelde (2008-2018)	8.1	10.2	5.0	3.7	2.9	1.9	5.9	32.2	3.7
winter	gemiddelde (2008-2018)	8.8	11.1	5.4	4.0	3.2	2.1	6.4	35.0	4.0

Tabel 2-3: Hydraulische belasting (mm/d) met onderscheid voor jaar en seizoen (zomer = april t/m september en winter = oktober t/m maart). Er worden ook gemiddelde waarden gegeven per zomer- en winterhalfjaar voor de periode 2008-2018.

seizoen	jaar	totaal	5/6	7	8	9	9A	11	12	13
zomer	2008	231	228	325	503	552	488	313	115	375
zomer	2009	261	258	367	568	624	551	354	130	424
zomer	2010	239	236	336	521	572	505	325	120	389
zomer	2011	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
zomer	2012	238	235	335	518	569	503	323	119	387
zomer	2013	255	252	359	556	610	539	346	127	415
zomer	2014	261	258	367	569	624	552	354	130	425
zomer	2015	247	243	347	537	589	521	334	123	401
zomer	2016	257	253	361	558	613	542	348	128	417
zomer	2017	245	242	345	534	586	518	333	123	399
zomer	2018	259	255	363	562	617	545	350	129	420
winter	2008	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
winter	2009	231	228	325	503	553	488	314	116	376
winter	2010	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
winter	2011	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
winter	2012	220	216	308	477	524	463	298	110	357
winter	2013	218	215	307	475	521	461	296	109	355
winter	2014	230	227	323	501	550	486	312	115	374
winter	2015	229	226	322	498	547	483	310	114	372
winter	2016	233	230	328	507	557	492	316	116	379
winter	2017	244	241	343	531	583	515	331	122	396
winter	2018	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
zomer	gemiddelde (2008-2018)	249	246	350	543	596	526	338	124	405
winter	gemiddelde (2008-2018)	229	226	322	499	548	484	311	114	373

2.4 Chemische samenstelling aangevoerde rivierwater en oppervlaktewater in plassen

De kwaliteit (chemie, algen, microbiologie) van het aangevoerde, voorgezuiverde rivierwater wordt regulier gemonitord door Dunea met een hoge monsterfrequentie. Vanaf 1988 zijn digitale data beschikbaar. Daarnaast worden ten behoeve van de KRW worden ook chemie en algen gemonitord in het oppervlaktewater van plas 7 vanaf april 2008 (maandelijkse bemonstering). De meetfrequentie verschilt per variabele. Voor dit onderzoek hebben we een selectie gemaakt van variabelen die het meest relevant zijn voor watervegetatie en fytoplankton. Voor deze variabelen is het verloop in de tijd (trends over jaren en seizoensdynamiek) geanalyseerd. Tevens is het verloop van deze variabelen vergeleken in het voorgezuiverde rivierwater en in het oppervlaktewater van plas 7. In plas 7 ligt een KRW-monsterpunt op vrijwel dezelfde locatie als monsterlocatie S01 (Figuur 2-1). Deze plas heeft voor Solleveld een middelmatige verblijftijd (resp. 5,0 en 5,4 d voor het zomer- en winterhalfjaar terwijl de range van alle plassen ca. 2-11 mm/d bedraagt) en hydraulische belasting (resp. 350 en 322 mm/d voor het zomer- en winterhalfjaar). Absoluut is de hydraulische belasting zeer hoog, wat betekent dat de plas sterk wordt doorgespoeld met voorgezuiverd rivierwater.

Verder zijn aanvullende metingen uit 2019 van 14 meetpunten verspreid over de plassen geanalyseerd. Monsternamen zijn plaatsgevonden op 25 maart en 8 juli 2019 door KWR. Chemische analyses zijn uitgevoerd door Aquon.

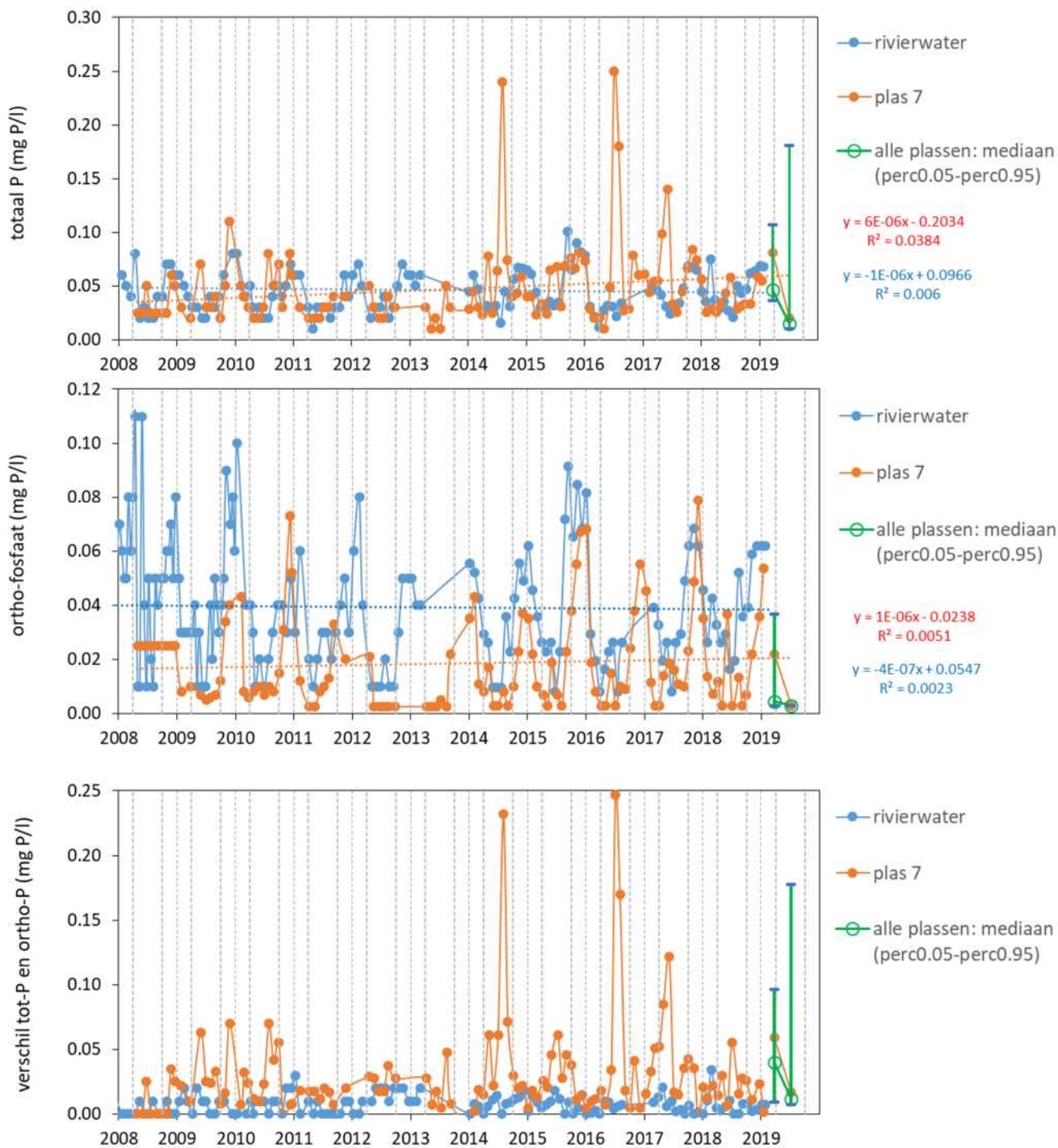
Totaal-fosfor en orthofosfaat

De P-totaal concentratie van het voorgezuiverde rivierwater vertoont een sterke seizoensdynamiek met relatief lage waarden rond 0,02-0,08 mg P/l in het zomerhalfjaar en hogere waarden in de range van 0,05-0,10 mg P/l in het winterhalfjaar. De hogere waarden in het winterhalfjaar hebben te maken met de P-totaal concentratie van rivierwater en het feit dat in dit seizoen in de voorzuivering geen coagulatie wordt toegepast. Er is geen duidelijke verband van het verloop van de P-totaal concentratie met inname momenten van Lekwater (Figuur 2-6). In twee perioden dat er metingen er ook metingen van de P-totaal concentratie treden geen pieken op. De P-totaal concentratie in plas 7 is doorgaans vergelijkbaar met dan die van het voorgezuiverde rivierwater. De dynamiek daarvan is afwijkend en minder regelmatig dan die van het rivierwater. In het winterhalfjaar kunnen pieken met iets hogere waarden voorkomen, en in het zomerhalfjaar komen enkele malen zeer hoge pieken (0,15-0,25 mg P/l) voor. In het winterhalfjaar volgt de concentratie in plas 7 vaak die van het voorgezuiverde rivierwater. In het zomerhalfjaar treden pieken van de P-totaal concentratie van het oppervlaktewater tegelijk op met lage waarden in het voorgezuiverde rivierwater. De drie hoge pieken van het oppervlaktewater in de zomer van 2014, 2016 en 2017 gaan samen met hoge pieken van N-totaal. In 2014 gaan deze pieken ook samen met een hoog chlorofyl-a gehalte. Deze pieken worden daarom vermoedelijk veroorzaakt door retentie van P en N in fytoplankton. De pieken zijn ook terug te zien in het patroon van het verschil tussen P-totaal en orthofosfaat (\approx deeltjesgebonden fosfor).

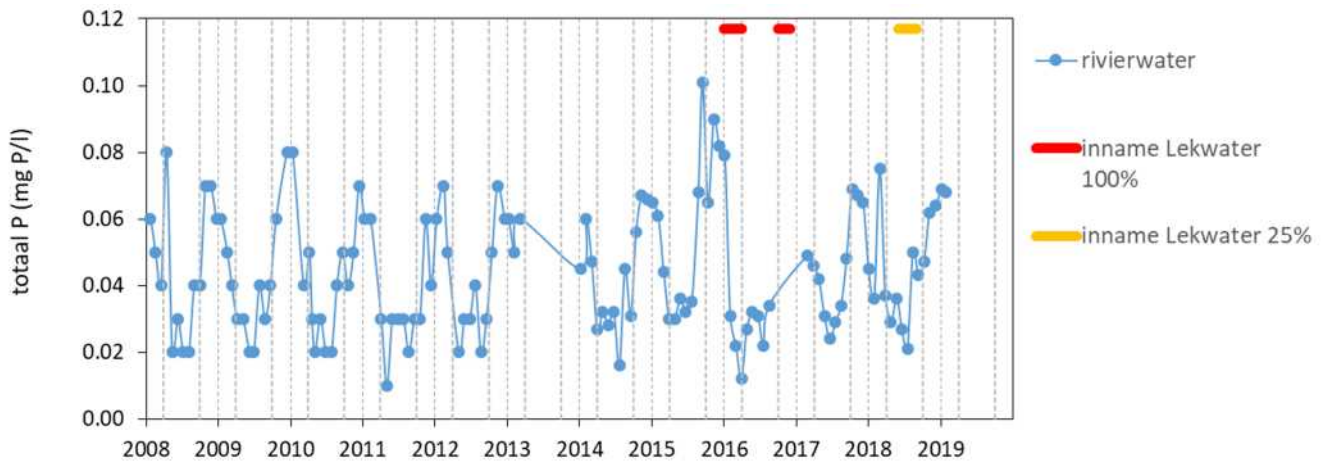
De orthofosfaatconcentratie van het voorgezuiverde rivierwater vertoont net als het P-totaal gehalte een duidelijk seizoensmatig verloop: in het winterhalfjaar hoge waarden en in het zomerhalfjaar lage waarden. Soms kan de piek in het vroege voorjaar (2018) of in de nazomer vallen (2015). De orthofosfaat concentratie volgt daarbij die van P-totaal.

De onderste grafiek van Figuur 2-5 laat de trends zien van het verschil tussen P-totaal en orthofosfaat (te interpreteren als deeltjesgebonden fosfaat en fosfor in organische verbindingen). In het voorgezuiverde rivierwater treden geen duidelijke pieken op. In het oppervlaktewater zijn zulke pieken ook terug te zien. De hoogste pieken treden hoge pieken op het zomerhalfjaar en gaan samen met hoge pieken van P-totaal (zie boven).

In de periode 2008-2018 zijn er geen duidelijke lineaire trends van P-totaal en orthofosfaat.



Figuur 2-5: Tijdreeksen van de P-totaal, orthofosfaat en het verschil P-totaal - orthofosfaat concentraties in het voorgezuiverde rivierwater (blauw) en oppervlaktewater van plas 7 (rood). Tevens worden de mediane, 5-percentiel en 95-percentiel van de metingen in alle plassen (groen) op twee meetmomenten in 2019 weergegeven. Verticale stippellijnen geven het zomerhalfjaar (april t/m september) en winterhalfjaar (oktober t/m maart) weer. Voor het rivierwater en oppervlaktewater van plas 7 worden tevens lineaire trends weergegeven.



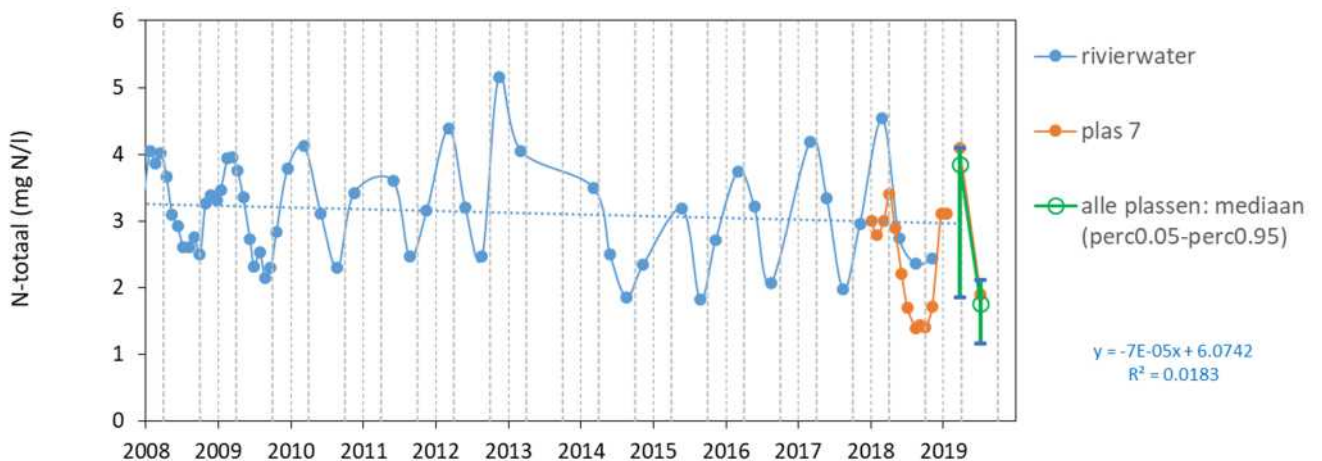
Figuur 2-6: Tijdreeksen van de P-totaal, concentraties in het voorgezuiverde rivierwater en inname momenten van Lekwater.

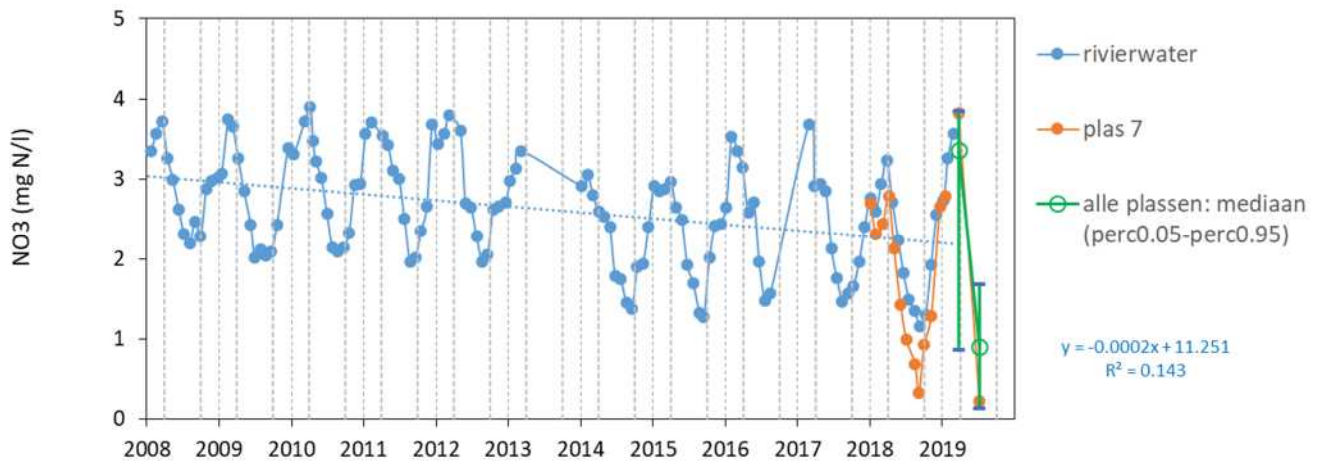
De mediaan van de P-totaal en orthofosfaat concentraties die in de plassen zijn gemeten op 25 maart en 8 juli 2019, passen in het seizoensmatige verloop van de concentraties in plas 7. In maart treden de hoogste P-totaal en orthofosfaat concentraties op in plas 8 en 9, terwijl in juli de P-totaal concentratie het hoogst is in plas 12 en 13 (Tabel 2-4)). Deels gaat dat ook samen met hoge chlorofyl-a concentraties (in maart in plas 9 en in juli in plas 12). Plas 12 heeft in juli op twee monsterlocaties die verder verwijderd liggen van het inlaatpunt van voorgezuiverd rivierwater, zeer hoge concentraties van 100 en 200 $\mu\text{g/l}$. Hogere orthofosfaat concentraties treden alleen in maart op in plas 8 en 7.

Stikstof

De N-totaalconcentratie van het voorgezuiverde rivierwater fluctueert seizoensmatig met pieken in het begin van elk jaar en lage waarden in de zomer (Figuur 2-7). De N-totaalconcentratie van het water in plas 7 lijkt op basis van de korte meetreeks vergelijkbare fluctuaties te hebben, maar dan met lagere waarden. Het patroon van de nitraatconcentraties is sterk vergelijkbaar, maar dan met iets lagere concentraties dan N-totaal. Een groot deel van de stikstof bestaat dus uit nitraat.

De medianen van de N-totaal- en nitraatconcentraties die in de plassen zijn gemeten op 25 maart en 8 juli 2019 passen in het seizoensmatige verloop van de concentraties in plas 7. Beide verschillen niet veel tussen de plassen.



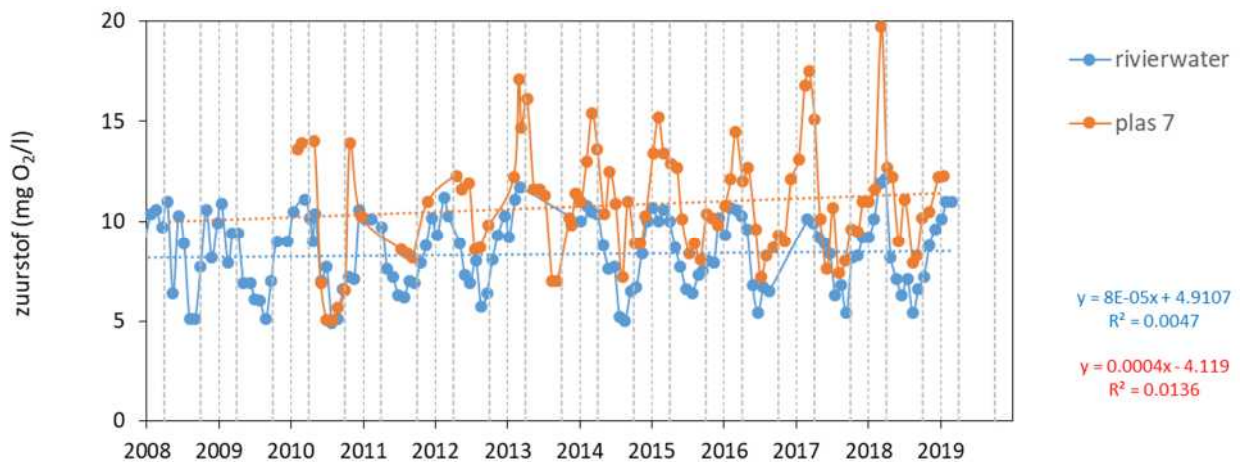


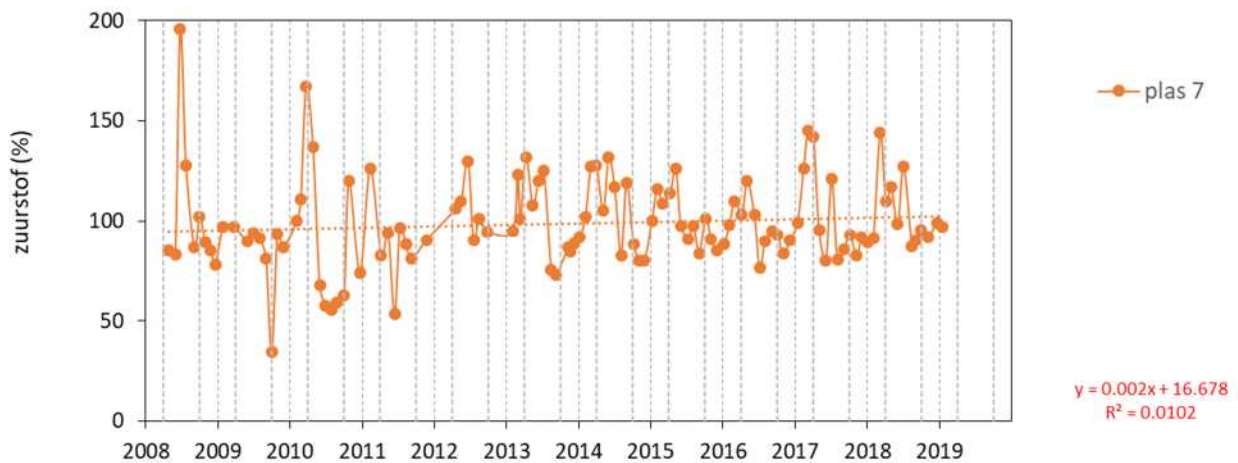
Figuur 2-7: Tijdreeksen van de N-totaal en nitraat (NO_3^-) concentraties in het voorgezuiverde rivierwater (blauw) en oppervlaktewater van plas 7 (rood). Tevens worden de mediane, 5-percentiel en 95-percentiel waarden weergegeven van de metingen in alle plassen (groen) op twee meetmomenten in 2019. Verticale stippellijnen geven het zomerhalfjaar (april t/m september) en winterhalfjaar (oktober t/m maart) weer. Voor het rivierwater en oppervlaktewater van plas 7 worden tevens lineaire trends weergegeven.

Zuurstof

De zuurstofconcentratie in het voorgezuiverde rivierwater en het oppervlaktewater heeft een sterk seizoensmatig verloop. In de zomer is deze het laagst als gevolg van een hoog zuurstofverbruik (hogere afbraaksnelheid organisch materiaal door hogere temperatuur) en een lagere oplosbaarheid van zuurstof bij hogere temperatuur. Gedurende de nazomer en het winterhalfjaar stijgt het zuurstofgehalte totdat deze piekt in februari-maart. De pieken in het zuurstofgehalte in het oppervlaktewater van plas 7 zijn veel hoger dan die van het voorgezuiverde rivierwater. In de plas treedt dan een oververzadiging van zuurstof op als gevolg van productie van zuurstof door algen en waterplanten. Al snel treedt in het vroege voorjaar een sterke daling op van het zuurstofgehalte. De zuurstofconcentratie in plas 7 is in de zomer meestal iets hoger dan in het voorgezuiverde rivierwater, waarschijnlijk ook als gevolg van fotosynthese, waardoor de zuurstofverzadiging in de zomer ook vaak hoog is.

De zuurstofconcentratie in het aangevoerde rivierwater vertoont geen duidelijke trend, terwijl de concentratie en verzadiging van plas 7 zwak stijgt.



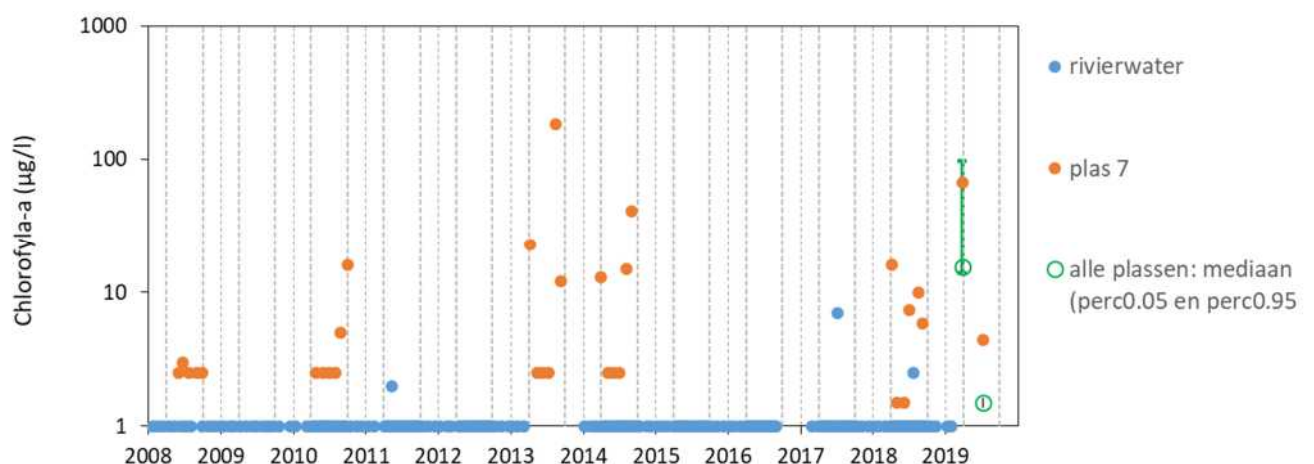


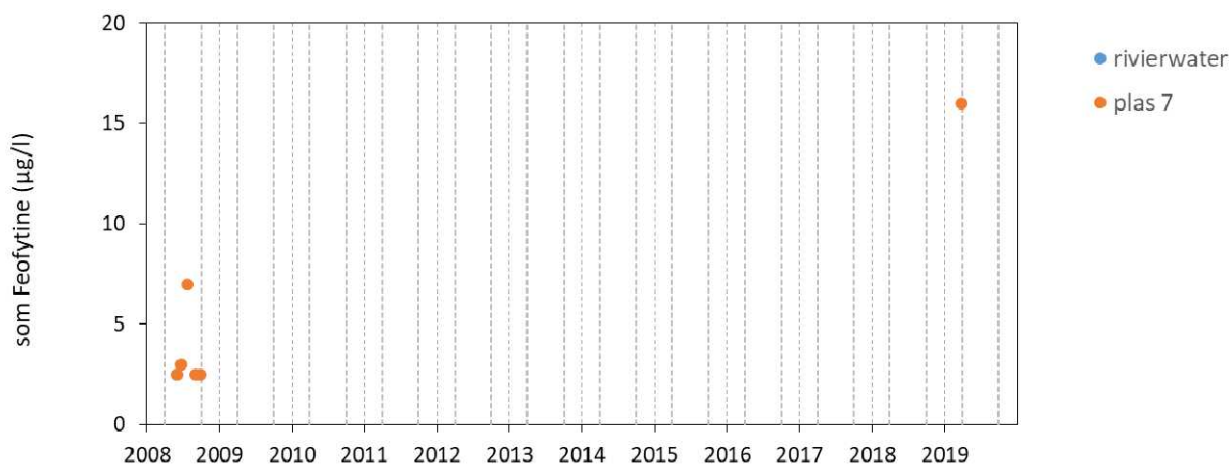
Figuur 2-8: Tijdreeksen van de zuurstofconcentraties en verzadiging in het voorgezuiverde rivierwater (blauw) en oppervlaktewater van plas 7 (rood). Tevens worden de mediane, 55-percentiel en 95-percentiel van de metingen in alle plassen (groen) op twee meetmomenten in 2019 weergegeven. Verticale stippellijnen geven het zomerhalfjaar (april t/m september) en winterhalfjaar (oktober t/m maart) weer. Voor het rivierwater en oppervlaktewater van plas 7 worden tevens lineaire trends weergegeven.

Chlorofyl-a en feofytine

De chlorofyl-a concentratie in het voorgezuiverde rivierwater is vrijwel altijd zeer laag. In plas 7 is deze variabele alleen in het zomerhalfjaar van enkele jaren gemeten. De concentratie is hoger dan in het voorgezuiverde rivierwater, maar vaak nog relatief laag, wat overeen komt met de waarneming dat plas 7 vaak helder is. Hoge waarden zijn incidenteel gemeten in augustus 2013, september 2014 en maart 2019. Deze pieken treden op bij zowel een hoog aanvoerdebiet van rivierwater (2013) als bij laag debiet (2014; laag debiet op de dag voor de monsternamen). Omdat de chlorofyl-a concentratie van plas 7 niet jaarrond wordt gemeten is moeilijk te bepalen wat het seizoensmatige verloop is. Hoge concentraties kunnen zowel in het voorjaar als in de nazomer optreden.

De feofytineconcentraties zijn incidenteel gemeten. In het zomerhalfjaar van 2008 is deze relatief laag. In maart 2019 is deze relatief hoog, wat samengaat met een hoge chlorofyl-a concentratie. Dit valt te verwachten, aangezien feofytine een afbraakproduct is van chlorofyl-a.





Figuur 2-9: Tijdreeksen van het chlorofyl-a en feofytine gehalte in het voorgezuiverde rivierwater (blauw) en oppervlaktewater van plas 7 (rood). Tevens worden de mediane, 5-percentiel en 95-percentielwaarde van de metingen in alle plassen (groen) op twee meetmomenten in 2019 weergegeven. Verticale stippellijnen geven het zomerhalfjaar (april t/m september) en winterhalfjaar (oktober t/m maart) weer. Voor het rivierwater en oppervlaktewater van plas 7 worden tevens lineaire trends weergegeven.

Verschillen in concentraties van P-totaal, orthofosfaat en nitraat binnen plassen

In diverse plassen zijn op twee of drie locatie nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater gemeten (Figuur 2-1). Gekeken is of concentraties van P-totaal, orthofosfaat en nitraat te relateren zijn aan de positie ten opzichte van het inlaatpunt. Dit is gedaan voor de metingen op 25-3-2019 en 8-7-2019 (Tabel 2-4).

In de plassen 5/6, 8, 11, 13 en 12 is de concentratie van orthofosfaat en/of nitraat dichtbij het inlaatpunt relatief hoog, en verder verwijderd van het inlaatpunt relatief laag. In maart is dit patroon in al deze plassen aanwezig voor orthofosfaat en voor enkele plassen voor nitraat. In juli is dit patroon verdwenen voor orthofosfaat omdat de concentratie hiervan dan overal zeer laag is geworden (onder de detectiegrens van 0,006 mg P/l). Voor nitraat blijft dan de aflopende gradiënt vanaf het inlaatpunt overal duidelijk aanwezig. Deze aflopende gradiënt wordt veroorzaakt door opname van fosfaat en nitraat door algen, cyanobacteriën en waterplanten. Voor P-totaal is het patroon in de plassen 8 en 12 juist andersom: lagere waarden dichtbij en hogere waarden verder verwijderd van het inlaatpunt. Deze gradiënt heeft te maken met accumulatie van fosfaat in fytoplankton van algen en cyanobacteriën. In andere plassen (5/6, 7, 11, 13) is dit verloop in P-totaal echter niet of nauwelijks zichtbaar.

Uit de extreem lage orthofosfaatconcentraties dicht bij de inlaatpunten blijkt ook dat fosfaat snel wordt opgenomen en in de waterlaag 'opraakt'. Nitraat is dichtbij en ook verder weg van de inlaatpunten nog steeds aanwezig in juli. Dit is een aanwijzing dat fosfaat in de waterlaag beperkend kan zijn voor groei van fytoplankton.

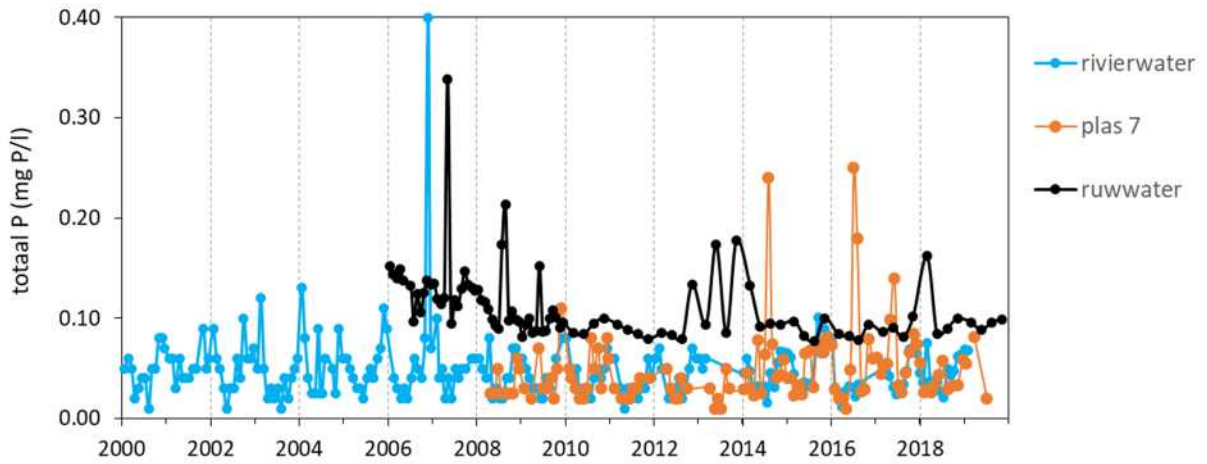
Tabel 2-4: Relatie van de concentraties van P-totaal, orthofosfaat (ortho-PO₄) en nitraat (NO₃) met de positie van het monsterpunt binnen een plas op twee momenten in 2019. Voor de relatieve positie t.o.v. het inlaat punt binnen een plas wordt onderscheid gemaakt tussen dichtbij (D), halverwege (M) en ver verwijderd (V). De kleuren geven aan of de concentratie relatief laag (groen) of relatief hoog (rood) is. Concentraties binnen een plas worden als verschillend aangemerkt als het verschil tussen meer dan 20% bedraagt van de hoogste waarde. Zie Figuur 2-1 voor ligging van de plassen en meetpunten.

Plas	Monster locatie	Positie t.o.v. inlaatpun	25-3-2019			8-7-2019		
			P-totaal	ortho-PO4	NO3	P-totaal	ortho-PO4	NO3
			mg P/l	mg P/l	mg N/l	mg P/l	mg P/l	mg N/l
5/6	S01	D	0.05	0.01	3.37	0.01	0.00	1.18
5/6	S02	V	0.04	0.00	3.12	0.01	0.00	0.63
7	S04	D	0.05	0.00	3.47	0.01	0.00	0.97
7	S03	V	0.05	0.03	3.53	0.01	0.00	1.60
8	S05	D	0.05	0.04	3.88	0.02	0.00	1.82
8	S06	V	0.12	0.02	0.18	0.04	0.00	0.28
11	S08	D	0.05	0.00	3.56	0.01	0.00	1.27
11	S09	V	0.03	0.00	2.96	0.10	0.00	0.59
13	S10	D	0.05	0.01	3.34	0.01	0.00	1.40
13	S11	V	0.05	0.00	3.21	0.01	0.00	0.84
12	S12	D	0.04	0.02	3.65	0.03	0.00	1.32
12	S13	M	0.04	0.00	2.52	0.08	0.00	0.20
12	S14	V	0.10	0.00	1.23	0.33	0.00	0.02
9	S07	D	0.08	0.02	3.82	0.02	0.00	0.23

Fosfaataccumulatie of -uitloging?

Door opname van fosfaat door algen en planten kan fosfaat accumuleren in de onderwaterbodem van de plassen. Accumulatie van fosfaat kan ook optreden bij neerslag van kalk omdat het oppervlaktewater oververzadigd is met calciëet (CaCO₃). Orthofosfaat kan dan gebonden worden in calciumfosfaten en aan de kalk die op de bodem neerslaat. Om na te gaan of fosfaat in de plassen al dan niet accumuleert wordt de concentratie van P-totaal van het aangevoerde rivierwater vergeleken met die van het teruggewonnen water. De concentratie in het teruggewonnen water is veel hoger dan in het aangevoerde rivierwater en dat van plas 7. Dit betekent dat in de stroombanen van plas naar winputten netto fosfaat wordt uitgelogd. Er is dus geen aanwijzing dat een groot deel van de aangevoerde fosfaat accumuleert. Verder valt op dat tussen 2006 en 2010 de P-totaal concentratie in het ruwwater daalde van 0,15 naar 0,08 mg P/l. Deze daling kan veroorzaakt zijn door verminderende uitloging van de onderwaterbodems door het verwijderen van slib uit de meeste plassen in 2006. Daarnaast kan ook uitloging optreden van het freatische pakket dat in de periode met infiltratie van niet voorgezuiverd rivierwater sterk was verzadigd met fosfaat. Vanaf 2010 is de P-totaal concentratie in het ruwwater min of meer stabiel en ca. een factor 3 hoger dan het aangevoerde voorgezuiverde rivierwater. Netto accumuleert het infiltratiesysteem dus niet maar verliest juist fosfaat. Deze uitloging kan een gevolg zijn de vroegere hogere P-belasting. Zo is in de periode van 1970 tot 1976 fosfaatrijker water van de Lek geïnfiltrerd. Door een hoge aanvoer van fosfaat en adsorptie is het freatisch pakket fosfaatrijker geworden. Nadat de fosfaatconcentratie in het aangevoerde rivierwater lager is geworden treedt in het freatische pakket het omgekeerde op: namelijk desorptie van fosfaat. Het netto verlies van fosfaat hoeft overigens niet de betekenen dat na het opschonen van de plasbodems geen accumulatie van fosfaat in

de nieuwe sliblaag optreedt. Er kan namelijk veel meer fosfaat uitlogen uit het freatisch pakket dan er in de onderwaterbodems van de plassen accumuleert.



Figuur 2-10: Tijdreeksen van de P-totaal in het voorgezuiverde rivierwater, plas 7 en het teruggewonnen grondwater (ruwwater).

3 Kwaliteit van de watervegetatie en score tot het KRW-doel

3.1 Aanpak

De toestand van de watervegetatie is beschreven op basis van een kartering van waterplanten die in 2018 door Dunea is uitgevoerd. Tevens is deze in verband gebracht met de abiotische factoren. Daarnaast is de kwaliteit van de watervegetatie beoordeeld op basis van maatlatten van de Kaderrichtlijn (KRW) voor watertype ondiepe kalkrijke (grotere) plassen (M23). Dit is gedaan op basis van een bestaande analyse voor de periode 2000-2007 (Sierdsma et al. 2008) en voor gegevens van de watervegetatie in 2018. De gegevens van 2018 zijn geëvalueerd met het programma QBWat (Roelf Pot, versie 6.05)

3.2 Resultaat

3.2.1 Huidige watervegetatie

De watervegetatie is op 16 en 17 augustus 2018 gekarteerd door middel van observatie onder water (Van der Hagen 2018). De inventarisatie geeft zicht op welke waterplantsoorten voorkomen en een semi-kwantitatieve schatting van de abundantie. Tevens is een indicatie gegeven van de helderheid (op het oog, geen bepaling met Secchi-schijf) en of er veel algen op de waterplanten (perifyton) voorkomen.

In Tabel 3-1 zijn de hydrografische kenmerken en de watervegetatie per infiltratieplas samengevat. In (Bijlage I) staan details. Er is een beperkt aantal ondergedoken waterplanten in de infiltratieplassen aangetroffen. De belangrijkste bevindingen zijn:

- In het algemeen zijn de plassen arm aan waterplantsoorten;
- Er komen soorten voor met een indicatie van voedselarme, voedselrijke en zeer voedselrijke condities;
- Groot Nimfkruid (*Najas marina*), een zeldzame soort in de duinregio, neemt in diverse plassen een aanzienlijk aandeel van de bedekking in (waaronder plassen 5/6 en 7);
- Er komen enkele soorten kranswieren voor, vooral in plassen 11 en 13. Het betrof Brokkelig Kransblad en Ruw Kransblad (*Chara contraria* en *C. aspera*). Beide zijn soorten die algemeen worden aangetroffen in infiltratieplassen in de duinen;
- Op één locatie is Sterkranswier (*Nitellopsis obtusa*) gevonden, een schorsloos kranswier. Deze soort van zwakgebufferde wateren zou je niet verwachten omdat het infiltratiewater een hoge hardheid heeft;
- Enkele soorten fonteinkruiden: Klein, Schede- en Gekroesd Fonteinkruid (*Potamogeton berchtoldii*, *P. pectinatus*, *P. crispus*) kwamen verspreid in bijna alle plassen voor. In plas 9A was Klein fonteinkruid een dominante soort;
- Twee soorten boterbloemen: Stijve en Zilte Waterranonkel (*Ranunculus circinatus*, *R. baudotii*) kwamen hier en daar voor; de eerste in de meeste plassen; de tweede in twee plassen;
- Grof Hoornblad (*Ceratophyllum demersum*) en Aarvederkruid (*Myriophyllum spicatum*) werden in enkele plassen waargenomen;
- Daarnaast werden ook lokaal draadalgen aangetroffen van de geslachten *Vaucheria* en *Enteromorpha*;

- Voor twee plassen (11 en 13) wordt gemeld dat de planten zijn bedekt met periphyton (een laagje een- of meercellige algen op de bladeren) en was het water ook ietwat troebel;
- Plassen 10/12 zijn een grote uitzondering. Hier kwamen helemaal geen ondergedoken waterplanten voor en had het water een beperkte zichtdiepte (15-20 cm). In de schoonmaakactie van 2006 is plas 12 niet meegenomen, wat tevens geldt voor de aangesloten plas 10. Mogelijk zijn nutriëntenrijk bodemslib, fosfaatmobilisatie als gevolg van bodemwoeling door karper en/of uitwerpselen van aalscholvers de oorzaak van deze mindere waterkwaliteit. Daarnaast is tijdens het snorkelen ook allerlei rommel waargenomen (stukken buis, stenen).

Verder is gekeken hoe het patroon van de watervegetatie samenhangt met abiotische en biotische factoren. Dit betreft een kwalitatieve interpretatie omdat het aantal plassen gering is. Op basis van Tabel 3-1 is een indicatie van de mogelijke samenhang tussen factoren en het voorkomen van waterplanten af te lezen. De volgende patronen zijn waargenomen:

- een hoge bedekking van Klein Fonteinkruid en kranswieren vertoont een samenhang met een geringe waterdiepte, welke alleen voorkomt in kleine plassen; opvallend is dat deze voedselarme waterplantsoorten geen samenhang vertonen met een lage P-totaal concentratie van het oppervlaktewater en een lage P-belasting. Het water is relatief helder maar niet altijd zeer helder;
- bij een hoge bedekking van deze soorten komt (deels) veel periphyton voor;
- voor het voorkomen van overige soorten waterplanten is geen samenhang gevonden met factoren; behalve dat in plas 12, waar geen enkele waterplantsoort voorkomt - ook niet in de ondiepe delen waar lichtbeperking een minder grote rol speelt -, is het water troebel is (met een hoge P-totaal en chlorofyl-a concentratie in de zomer). Dit wordt veroorzaakt door algenbloei. De sterke algenbloei gaat samen met een lage hydraulische belasting en P-belasting. Deze plas had bij een meting van fytoplanktensamenstelling in 2000 zeer hoge aantallen cyanobacteriën aangetroffen van het genus *Aphanizomenon* (Sierdsma et al. 2008). Ook de aantallen van de groenalg *Scenedesmus* waren opvallend hoog.

Tabel 3-1: Samenhang tussen abiotische en biotische factoren en het voorkomen van waterplantsoorten. Betekenis codering bij factoren: NA = geen meting, J = ja. Codering voorkomen waterplanten: r = zeldzaam, o = af en toe, f = regelmatig, a = hoge bedekking, d = dominant, l. = lokaal, getallen geven bedekking in percentage. Betekenis kleuren geeft waardering van variabele voor goed ontwikkelde watervegetatie: groen = positief, rood = negatief. Voor abiotische variabelen betreft dat respectievelijk relatief gunstige en ongunstige waarden. Voor waterplantsoorten wordt in de 2^e kolom een classificatie voor voedselrijkdom en in de 3^e kolom referentiewaarden voor orthofosfaat in de waterlaag gegeven (op basis van Roelofs & Bloemendaal (1988)).

Variabele	Periode/ voedselrijkdom indicatie	ortho-PO4 (mg P/l) waterlaag; mediaan/ max	Plas 5/6	Plas 7	Plas 8	Plas 9	Plas 9A	Plas 11	Plas 12	Plas 13
Factoren										
oppervlakte (m2)			12137	11528	3735	2889	3193	6863	41831	3330
diepte (m)			2.5	1.75	2	1.75	1	0.4-2	1-8	0.4-2
recent aangelegd (2000-2006; na start betere kwaliteit aanvoerwater)								J		J
helderheid			helder	helder	helder	heel helder	heel helder	niet helder	erg troebel	niet helder
percentage kale bodem			NA	NA	NA	10 %	10-20%	10%	NA	10%
slib bodem (cm)			0-10	0-10	NA	NA	10-15	NA	NA	NA
perifyton op waterplanten								J		J
graskarpers en aalscholvers									J	
P-totaal (mg P/l)	maart 2019		0.04	0.05	0.08	0.08		0.04	0.06	0.05
	juli 2019		0.01	0.01	0.03	0.02		0.06	0.15	0.01
chlorofyl-a (ug/l)	maart 2019		15	19	8	67		16	49	18
	juli 2019		2	2	4	4		2	107	2
N-totaal (mg N/l)	zomer		3.90	4.00	2.37	4.10		3.70	3.23	3.70
	winter		1.60	1.70	1.50	1.90		1.45	2.07	1.55
NO3 (mg N/l)	zomer		3.25	3.50	2.03	3.82		3.26	2.47	3.28
	winter		0.90	1.28	1.05	0.23		0.93	0.51	1.12
NH4 (mg N/l)	zomer		0.07	0.08	0.16	0.06		0.08	0.09	0.08
	winter		0.07	0.05	0.06	0.04		0.08	0.05	0.06
hydraulische belasting (mm/d)	zomer		246	350	542	595	526	338	124	405
	winter		226	322	499	548	484	311	115	373
P-belasting (mg P/m2/d)	zomer		26	37	58	63	56	36	13	43
	winter		36	52	80	88	78	50	18	60
Waterplanten										
Klein fonteinkruid	voedselarm	0.00/ 0.60	f	f	o	f	80-90%	10%		o
Kranswieren	voedselarm		la	o		o	o	80%		80%
Sterkranswier	voedselarm					r				
Gekroesd fonteinkruid	voedselrijk	0.06/ 0.50	r	r						
Stijve waterranonkel	voedselrijk	0.07/ 0.42	o	f			o			
Aarvederkruid	zeer voedselrijk	0.16/ 0.81	o							
Draadwieren	zeer voedselrijk		o	la	o	o	o	o		o
Darmwier	zeer voedselrijk					o	o			
Grof hoornblad	zeer voedselrijk	0.17/ 0.81	r							
Groot nimfkruid	zeer voedselrijk		d	d	o		o	r		o
Schedefonteinkruid	zeer voedselrijk	0.13/ 1.07	o	r		r	r	o		
Zilte waterranonkel	zeer voedselrijk	0.27/ 1.08				ld	o			

3.2.2 Evaluatie doelrealisatie kaderrichtlijnwater

Aan de plassen in Solleveld hebben als KRW-doel watertype M23, *ondiepe kalkrijke (grotere) plassen*. Vooraf aan de toekenning van dit doeltypen zijn door Sierdsma et al (2008) op basis van gegevens uit de periode 2000-2007 diverse variabelen getoetst aan KRW-maatlatten voor de Goede Ecologisch Toestand (GET). Betreffende periode overlapt grotendeels met die van de herinrichting. De toetsing was, afhankelijk van de gegevens, deels voor alle plassen gezamenlijk gedaan en deels voor een enkele plas. Tabel 3-2 geeft een samenvatting van de scores. Van de fysisch-chemische variabelen scoorden temperatuur, zuurgraad en P-totaal van het aangevoerde water voldoende. Voor de N-totaal concentratie was dat niet het geval (te hoog) wanneer wordt getoetst aan de grenswaarde voor het GET

4 Fosfaatconcentratie en -belasting in relatie tot goed ontwikkelde watervegetatie

4.1 Aanpak

We vergelijken eerst de concentraties van orthofosfaat en P-totaal met grenswaarden voor goed ontwikkelde watervegetatie en aquatische systemen met helder water. Voor goed ontwikkelde watervegetatie gebruiken we de bovengrens voor de mediane orthofosfaat concentratie waarbij waterplantsoorten voorkomen. Op basis van opgaven van Bloemendaal & Roelofs (1988) gebruiken we bovengrenzen voor voedselarme, matig voedselrijke en voedselrijke watervegetatie. Het betreft grenswaarden van respectievelijk 0,01, 0,03 en 0,08 mg P/l.

Door Magic-Knezev & Van der Salm (2009) is op basis van onderzoek aan cyanobacteriegroei in infiltratieplassen van Meijendel een waarde van 0,06 mg P/l voorgesteld als bovengrens voor de totaal-P-concentratie van het oppervlaktewater. Onder deze waarde verwacht men lage algenconcentraties. Ook Hootsmans (2015) heeft voor de infiltratieplassen in Meijendel met behulp van het model PClake de kritische fosfaatbelasting berekend en deze met behulp van de gemiddelde hydraulische belasting vertaald naar een grenswaarde voor de P-totaalconcentratie. Op basis hiervan is geconcludeerd dat de bovengrens van de P-totaal concentratie van 0,06 mg P/l aannemelijk is voor het tegengaan van overmatige algengroei.

4.2 Resultaat

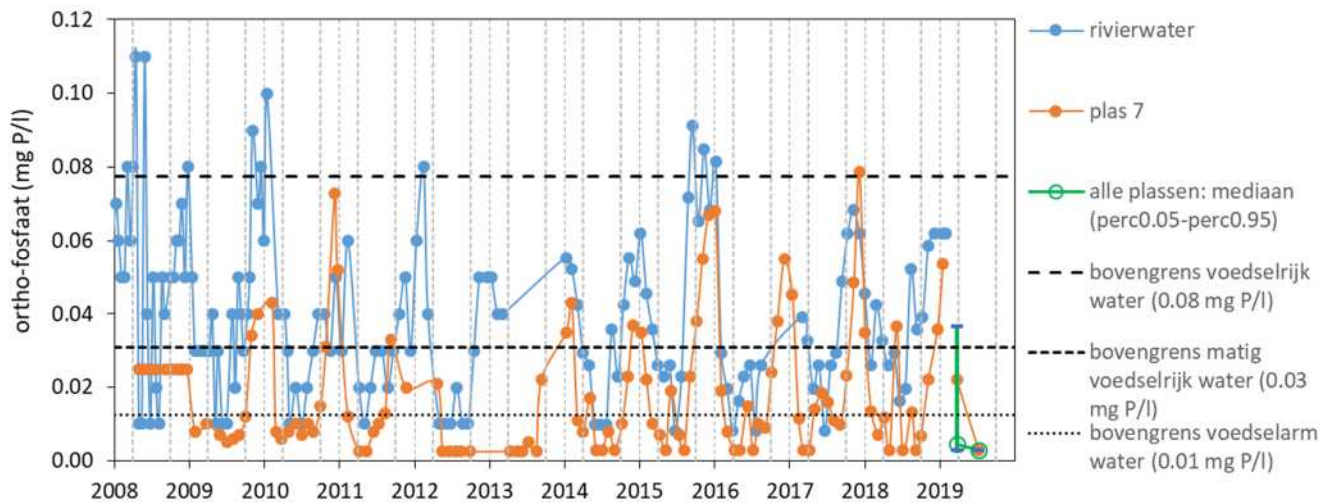
Orthofosfaatconcentratie oppervlaktewater

Wanneer de orthofosfaatconcentratie wordt vergeleken met de bovengrens waarbij soorten van voedselarme, matig voedselrijke en voedselrijke wateren voorkomen valt op dat de concentratie in plas 7 in het zomerhalfjaar vaak onder de bovengrens van voedselarme wateren ligt (0,01 mg orthofosfaat per liter) (Figuur 4-1). Deze concentratie is al vroeg in het jaar (februari-maart) laag. Ook de mediane concentratie ligt in 2019 in alle plassen onder deze bovengrens. In het winterhalfjaar overschrijdt de orthofosfaatconcentratie vaak de bovengrens van soorten van voedselarme wateren en ook die van soorten van matig voedselrijke wateren. Op basis van de orthofosfaatconcentratie lijkt er in het vroege voorjaar en zomerhalfjaar voedselarme watervegetatie voor te kunnen komen.

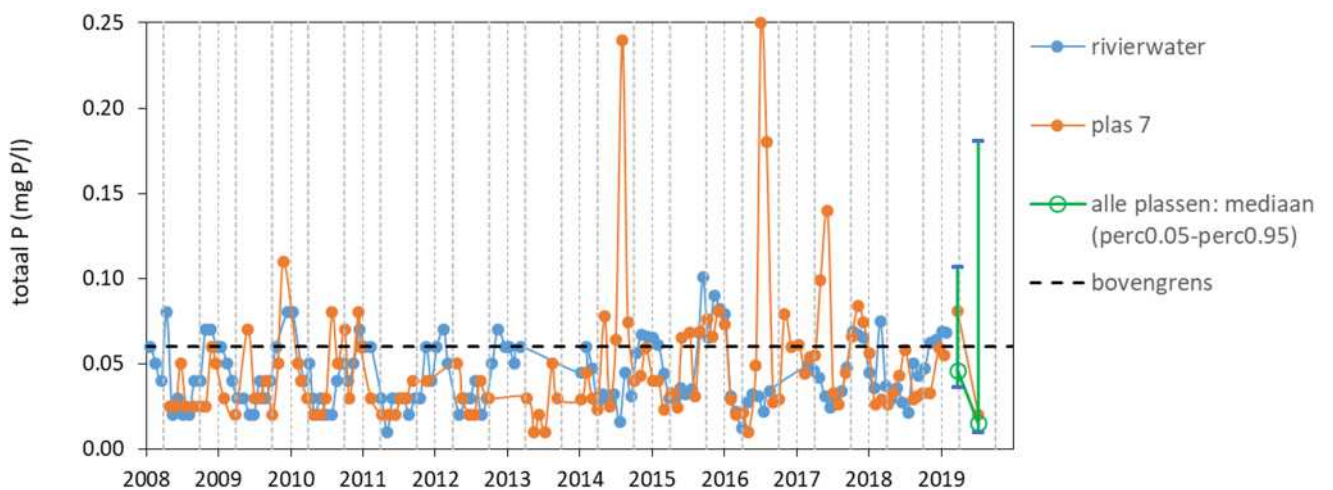
Als echter wordt gekeken naar de orthofosfaatconcentratie in het aangevoerde rivierwater verandert dit beeld. In het zomerhalfjaar komt deze concentratie vaker boven de bovengrens van vegetatie van voedselarme wateren, en ook boven de grens voor vegetatie van matig voedselrijke wateren. Ook in het winterhalfjaar is de orthofosfaatconcentratie vaak hoger dan de bovengrens voor vegetatie van matig voedselrijke wateren en vaak ook boven die van vegetatie van voedselrijke wateren. Wat betreft de orthofosfaatconcentratie is het voorgezuiverde rivierwater ongunstig voor de ontwikkeling van soortenrijke watervegetatie.

De P-totaal concentratie in plas 7 in Solleveld zit in de zomer vaak onder en in de winter regelmatig boven de grenswaarde van 0,06 mg P/l die door Magic-Knezev & Van der Salm (2009) is afgeleid voor overmatige algengroei. In maart en juli 2019 treedt ook een overschrijding op in plas 11 (monsterlocatie S09) en plas 12 (monsterlocaties S13 en S14). Sinds 2014 zijn er zomers met langdurig concentraties

boven 0,06 mg P/l. De concentratie van het voorgezuiverde rivierwater zitten ook in de winter vaak boven en in de zomer vaak onder de grenswaarde.



Figuur 4-1: Tijdreeksen van de orthofosfaatconcentraties in oppervlaktewater van plas 7 (rood) en het voorgezuiverde rivierwater. Tevens worden de mediane, 5-percentiel- en 95-percentielwaarden van de metingen in alle plassen (groen) op twee meetmomenten in 2019 weergegeven. Verticale stippellijnen geven het zomerhalfjaar (april t/m september) en winterhalfjaar (oktober t/m maart) weer. Horizontale stippellijnen geven de bovengrens voor de mediane concentratie van waterplantsoorten voor voedselarme, matig voedselrijke en voedselrijke wateren op basis van Roelofs & Bloemendaal (1988).



Figuur 4-2: Tijdreeksen van de P-totaal concentraties in oppervlaktewater van plas 7 (rood) en het voorgezuiverde rivierwater. Tevens worden de mediane, 5-percentiel- en 95-percentielwaarden van de metingen in alle plassen (groen) op twee meetmomenten in 2019 weergegeven. Verticale stippellijnen geven het zomerhalfjaar (april t/m september) en winterhalfjaar (oktober t/m maart) weer. Horizontale stippelijnen geven de bovengrens aan voor helder water zonder bloei van cyanobacteriën (Magic-Knezev & Van der Salm 2009).

P-belasting

In de infiltratieplassen is de P-belasting zeer hoog als gevolg van de combinatie van een hoge P-totaalconcentratie in het aangevoerde water en de hoge hydraulische belasting (Tabel 4-1). De gemiddelde P-belasting bedraagt 9 en 12 mg P/m²/d in het zomer- en winterhalfjaar (= 290 en 390 μmol/m²/d). In het winterhalfjaar is de belasting duidelijk hoger dan in het zomerhalfjaar als gevolg van een hogere P-concentratie van het aanvoerwater in het winterhalfjaar (Figuur 4-3). Ten opzichte van andere duininfiltratiesystemen is de P-belasting in Solleveld de hoogste (Tabel 4-2). In Solleveld is de gemiddelde waarde van het hele systeem een factor 6 hoger dan geul 19 in de Amsterdamse Waterleidingduinen en de Oostduinen op Goeree. Ten opzichte van de infiltratieplassen in Meijndel is de P-belasting in Solleveld ca. 2 maal zo groot. De veel hogere P-belasting in Solleveld komt doordat én de P-totaal concentratie in het aangevoerde water relatief hoog is én de hydraulische belasting absoluut gezien hoog is.

Tussen de plassen treden grote verschillen op in P-belasting, met een factor 4,7 verschil tussen de laagste en hoogste belasting (Tabel 4-1). De laagste belasting treedt op in plas 12 (4,7 mg P/m²/d) in samenhang met een lage berekende hydraulische belasting (4.4 en 6.1 mm/d voor respectievelijk het winter- en zomerhalfjaar). Daarna volgt plas 6. De hoogste belasting (14-19 mg P/m²/d) treedt op in kleine plassen (8, 9, 9A, 13) omdat de verhouding omtrek/oppervlakte hier het laagst is. Dat geeft een hoge hydraulische belasting (ca. 14-29 mm/d).

De P-belasting in Solleveld zit ver boven het bereik waarbij in meren bij verlaging van het fosfaatgehalte omslag optreedt van door algen gedomineerd, troebel water naar helder water. Deze bedraagt volgens Lamers (2006) 0,5-1,5 mg P/m²/d (=16-48 μmol·m²/d). Voor Nederlandse meren die t.o.v. de infiltratiekanalen lange verblijftijden hebben, zijn omslagpunten bepaald op basis van empirisch onderzoek. Omslagpunten van helder naar troebel bevinden zich hier bij een fosfaatbelasting van ca. 0,9-9,3 mg P/m²/d (=30 tot 300 μmol/m²/d; (Janse, 2005; Jaarsma et al., 2008). De meeste plassen in Solleveld zitten boven deze range. De uitkomsten van de infiltratieplassen mogen vanwege hun korte verblijftijd echter niet zomaar worden vergeleken met die van meren met lange verblijftijden. Een sterke doorstroming van de plassen voorkomt namelijk dat het gehalte aan fytoplankton hoog oploopt ('uitspoeffect'). Een aanwijzing hiervoor is dat de sterkste fytoplanktongroei optreedt in plas 12, welke van alle plassen in Solleveld de laagste hydraulische belasting, d.w.z. de langste verblijftijd heeft. Het uitspoelen van algen uit de waterlaag is hierdoor geringer dan in de andere plassen.

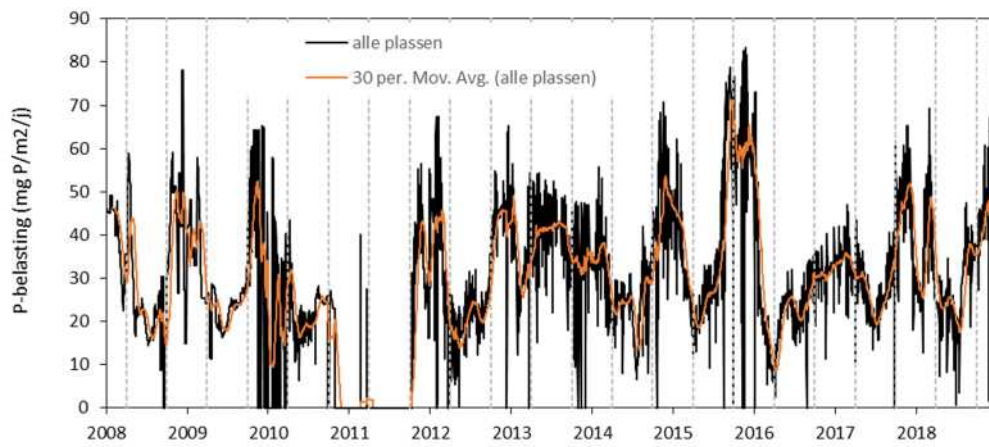
Voor sloten, die net als de infiltratiekanalen vaak zeer korte verblijftijden hebben, zijn omslagpunten van helder water met waterplanten naar een toestand met kroosdekken te berekenen met het programma PCditch (Janse, 2005). Op basis van de gemiddelde hydraulische belasting van 239 mm en gemiddelde waterdiepte van 2,9 m ligt zo'n omslagpunt bij 3,81 mg P/ m²/d (= 123 μmol/m²/d). Rekening houdend met de verschillen in verblijftijden en waterdiepte geeft PCditch voor een dergelijk omslagpunt een fosfaatbelasting van 1,7 tot 16,0 mg P/m²/d (= 55-517 μmol/m²/d) op als bereik voor de infiltratieplassen. De P-belasting van de plassen in Solleveld ligt deels in deze range (de grote plassen) en deels daar boven (kleine plassen). Een deel van de plassen ligt echter buiten het modeldomein van PCditch (waterdiepte mag maximaal 3 m zijn en hydraulische belasting maximaal 400 mm/d). Ondanks dat de P-belasting in de plassen van Solleveld hoger is dan de berekende omslagpunten naar kroosdekken treedt hier nauwelijks sterke kroosgroei op. Vermoedelijk komt dat doordat de meeste plassen in Solleveld weinig beschutting tegen de wind hebben. Tijdens het veldwerk in 2019 is Klein kroos alleen af en toe in lage bedekkingen in oevervegetatie aangetroffen, maar niet in het open water.

Tabel 4-1: De berekende P-totaal belasting (mg P/m²/j) voor alle plassen gezamenlijk en de afzonderlijke plassen, ingedeeld naar jaar en seizoen (zomer = april t/m september en winter = oktober t/m maart). Daarnaast worden gemiddelde waarden gegeven per zomer- en winterhalfjaar voor de periode 2008-2018.

seizoen	jaar	totaal	plas 6	plas 7	plas 8	plas 9	plas 9a	plas 11	plas 12	plas 13
zomer	2008	8	8	11	17	19	17	11	4	13
zomer	2009	8	8	11	17	19	16	11	4	13
zomer	2010	7	7	10	16	17	15	10	4	12
zomer	2011	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
zomer	2012	7	7	10	15	17	15	9	3	11
zomer	2013	14	14	19	30	33	29	19	7	22
zomer	2014	8	8	11	17	19	17	11	4	13
zomer	2015	12	11	16	25	28	24	16	6	19
zomer	2016	8	7	11	16	18	16	10	4	12
zomer	2017	9	9	12	19	21	18	12	4	14
zomer	2018	9	9	13	20	22	19	12	5	15
winter	2008	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
winter	2009	13	13	18	28	31	27	17	6	21
winter	2010	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
winter	2011	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
winter	2012	11	11	16	25	27	24	15	6	18
winter	2013	13	13	18	28	30	27	17	6	21
winter	2014	11	11	15	24	26	23	15	5	18
winter	2015	13	13	18	29	31	28	18	7	21
winter	2016	14	13	19	30	32	29	18	7	22
winter	2017	11	11	15	23	26	23	15	5	17
winter	2018	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
zomer	gemiddelde (2008-2018)	9	9	12	19	21	19	12	4	14
winter	gemiddelde (2008-2018)	12	12	17	27	29	26	17	6	20

Tabel 4-2: Vergelijking van nutriëntenconcentraties en -belastingen in duininfiltratiesystemen. Data Solleveld: deze studie; data Meijendel: Hootsmans (2015)); data overige gebieden: Aggenbach et al. (2012).

Locatie	P-totaal	hydraulische belasting	P-totaal-belasting
	mg P/L	mm/d	mg P/m ² /d
Amsterdamse Waterleidingduinen: infiltratiekanaal Geul 31 (2010)	0.007	250	1.8
Meijendel gemiddelde alle infiltratiekanalen (2008-2018)	0.045	115	5.1
Solleveld: gemiddelde alle plassen (2008-2018)	0.045	239	10.7
Oostduinen: gemiddelde alle infiltratiekanalen (1997-2010)	0.030	60	1.8



Figuur 4-3: Verloop van de gemiddelde P-belasting voor alle plassen. De zwarte lijn geeft waarden op basis van berekeningen per dag, de rode lijn is het voortschrijdend gemiddelde over 30 dagen. In 2010 en 2011 zijn grote meethiaten in het aanvoerdebiet van voorgezuiverd rivierwater opgetreden.

5 Discussie en conclusies

5.1 Kwaliteit watervegetatie in relatie tot KRW-doel

Eén van de vragen was of de meer gedetailleerde inventarisatie van watervegetatie van 2018 in afzonderlijke plassen een andere beoordeling oplevert met betrekking tot realisatie van het doel (watertype ondiepe kalkrijke (grotere) plassen (M23)) voor de Kaderrichtlijn (KRW) vergeleken met de beoordeling op basis van de officiële KRW-methode. Het antwoord hierop is deels bevestigend. De beoordeling van de vegetatie op basis van inventarisatie uit 2000 valt laag uit doordat de individuele plassen zelf laag scoren. In 2018 scoren veel plassen voor bedekking en soortensamenstelling van waterplanten in een aanzienlijk deel van de plassen (9, 9A, 11, 13) beter. Dit suggereert verbetering van de watervegetatie, maar het is de vraag of dat werkelijk zo is. Echter, omdat de inventarisatie van plantensoorten verschilde tussen 2000 (water en oeverplanten) en 2018 (alleen waterplanten) is lastig te beoordelen of de kwaliteit van submerse vegetatie is verbeterd door de herinrichting in de periode 2000-2006.

De toestand van het doel watertype M23 wordt beoordeeld op plas 7 en in 2019 ook op basis van plas 13. De watervegetatie op basis van macrofytensamenstelling van waterplanten zou in zou dan zeer goed voor plas 7 en goed voor plas 13 worden beoordeeld. De macrofytenbedekking scoort dan echter voor plas 7 matig. Onduidelijk is wat de score zal zijn op basis van de totale soortensamenstelling van macrofyten (water- en oeverplanten).

5.2 Fosfaatbelasting

Eén van de onderzoeksvragen is of de fosfaatbelasting van de plassen hoog is, en of die te hoog is voor ontwikkeling van soortenrijke waterplantenvegetatie.

De fosfaatbelasting is inderdaad zeer hoog (voor zomer- en winterhalfjaar resp. gemiddeld 9 en 12 mg P/m²/d) in vergelijking tot meren in het laagland. Dit is gevolg van een combinatie van een relatief hoge P-totaal concentratie en een hoge hydraulische belasting. In vergelijking met andere kunstmatige duininfiltraties, waaronder het intensieve systeem in de Oostduinen (Evides), is de P-belasting dan ook veel hoger. In de Oostduinen is een relatie gevonden tussen de kwaliteit van watervegetatie en de P-belasting. Kranswier-rijke vegetatie kwam naar verloop van tijd alleen nog maar voor in delen van infiltratiekanalen met een hoge verblijftijd en dus een relatief lage P-belasting (<1,0 mg P/m²/d) (Aggenbach et al. 2013). De P-belastingen van de plassen in Solleveld zijn duidelijk hoger dan deze belasting.

Naast een hoge P-belasting is de orthofosfaatconcentratie in het oppervlaktewater ook vaak hoger dan grenswaarden waarbij soortenrijke watervegetatie kan voorkomen. Tevens komen in de zomer regelmatig hoge P-totaal concentraties (>0,06 mg P/l) voor waarbij algenbloei zou kunnen optreden. Algenbloei is echter weinig waargenomen in de plassen van Solleveld. Alleen in plas 12 was het water in de zomer troebel als gevolg van algenbloei en werden in maart en juli 2018 hoge chlorofyl-a concentraties gemeten. Dat juist in deze plas sterke algenbloei optreedt, heeft te maken met de relatief lage hydraulische belasting (dus relatief lange verblijftijd). Fytoplankton krijgt hierdoor meer tijd om te kunnen groeien. Een contra-intuïtief bijeffect daarvan is dat in Solleveld de gemeten sterke fytoplanktongroei juist optreedt bij een relatief lage P-belasting. Absoluut gezien is de P-belasting van

plas 12 nog zeer hoog (voor zomer- en winterhalfjaar resp. 8 en 13 mg P/m²/d) en vaak boven de P-belasting waarbij in Nederlandse meren omslag van helder naar troebel water optreedt.

In meren met een hoge verblijftijd leidt een hoge P-belasting tot algenbloei (Lathrop et al. 1998). In wateren met een korte verblijftijd treedt dat niet of weinig op omdat het water vaak 'ververst' wordt, waardoor de uitspoeling van algen sneller verloopt dan de aanwas door groei. De monitoring van plas 7 laat zien dat algenbloei slechts sporadisch optreedt. In plaats van een hoge concentratie van fytoplankton zorgt een hoge P-belasting wel voor een sterke groei van algen op de bodem en planten. Sterke groei van algen op planten (perifyton) belemmert dan de ontwikkeling van een goed ontwikkelde watervegetatie. In de overwegend heldere plassen valt het op dat de bedekking met watervegetatie doorgaans beperkt is: dit kan veroorzaakt worden door de zeer hoge P-belasting. Sterke perifytongroei kan dan de ontwikkeling van waterplanten beperken, en veel perifyton is ook waargenomen in plas 11 en 13.

Bovenstaande bevindingen stemmen niet overeen met de score 'goed' voor de P-totaal concentratie in het aanvoerwater op basis van de KRW-maatlat. Dit komt omdat bij toetsing van nutriëntencondities in het oppervlaktewater voor de KRW alleen naar concentraties in het groeiseizoen wordt gekeken en niet naar belasting. Opvallend is dat ondanks de zeer hoge fosfaatbelasting de orthofosfaatconcentratie in de zomer sterk afneemt naar een zeer lage waarde (<0,006 mg P/l). Deze afname is juist een gevolg van opname van orthofosfaat door algen en cyanobacteriën die het aangevoerde fosfaat volledig gebruiken. De afnemende gradiënt van de orthofosfaat concentratie in het voorjaar binnen plassen van inlaatpunt naar daar ver verwijderd van duidt er op dat al vroeg in het jaar retentie van fosfaat plaatsvindt. Ook blijkt uit chlorofyl-a metingen dat algenbloei ook al vroeg in het jaar (maart) kan plaatsvinden zoals bij plas 12 het geval is. Zomerconcentraties van orthofosfaat in het oppervlaktewater van plassen zijn daarom een slechte maat voor de fosfaatbeschikbaarheid. Bovendien: concentraties in het winterhalfjaar doen er toe omdat die algenbloei vroeg in het jaar mogelijk maken. Daarnaast is de belasting met nutriënten een belangrijke factor.

Opvallend is dat ondanks de zeer hoge P-belasting in Solleveld in de zomer (juli 2018) in de waterlaag uitputting optreedt van orthofosfaat. Omdat dit ook gebeurt in plassen met geen of weinig macrofyten lijken vooral algen en cyanobacteriën te zorgen voor de opname van orthofosfaat. Omdat nitraatconcentraties niet naar dergelijke lage waarden dalen, is de primaire productie in het systeem blijkbaar vooral fosforbeperkt. Een ander proces dat zou kunnen zorgen voor verlaging van de orthofosfaat concentratie is in calciumfosfaten en kalk die neerslaat in de sliblaag. De bijdrage hiervan is onbekend. Uit vergelijking van de P-totaal concentratie in het voorgezuiverde rivierwater en het teruggewonnen water blijkt dat het infiltratiesysteem (plassen+freatisch pakket) sinds 2006 fosfaat verliest. Netto accumuleert het infiltratiesysteem dus niet en lijkt het niet aannemelijk dat een groot deel van de aangevoerde fosfaat in de plassen accumuleert. Wel kan er in de sliblaag van de plassen fosfaat accumuleren door dode algen en neerslag van kalk, terwijl tegelijkertijd uitloging van aan ijzerhydroxiden geadsorbeerd fosfaat in het freatisch pakket tussen de plassen en winputten optreedt. Of accumulatie van fosfaat in de sliblaag die in de opgeschoonde plassen weer ontstaan is bijdraagt aan een betere fosfaatbeschikbaarheid voor wortelende waterplanten en algen op de bodem is onduidelijk.

Ondanks dat de hoge P-belasting negatief door kan werken op het voorkomen van waterplanten, heeft een deel van de plassen (5/6, 9, 9A, 11, 13) wel een hoge bedekking van waterplanten. De plassen 9A, 11, 13 zijn tevens ondiep. Deels hebben kranswieren daar een hoge bedekking en komen soorten van voedselarme wateren voor. We weten niet goed waarom de watervegetatie hier wel goed ontwikkeld is. Mogelijke verklaringen zijn:

- De berekening van de hydraulische belasting en daarmee de P-belasting kan sterk afwijken van de werkelijke belastingen. Mogelijk hebben betreffende plassen een veel lagere belasting. In dit onderzoek gaan we, wegens het ontbreken van metingen van aanvoerdebieten per plas er vanuit dat de hoeveelheid water die in een plas infiltreert afhankelijk is van de ratio van de omtrek van

de plas en de gezamenlijke omtrek van alle plassen. Deze aanname is een grove benadering en afhankelijk van de geometrie van het puttenveld kan de verdeling van aanvoerwater over de plassen ook anders plaatsvinden. De hydraulische belasting kan bovendien ook door andere factoren worden bepaald, zoals de weerstand van de plasbodem en hoe goed of slecht het water van het inlaatpunt de hele plas kan bereiken. Helofytenbegroeiing in de plassen 9+9A kan bijvoorbeeld toestroming van water beperken naar delen die verder van het inlaatpunt liggen. In met riet dichtgegroeide infiltratiekanalen van de Oostduinen kon een verval van het waterpeil optreden.

- Blijkbaar hoeft een zeer hoge P-belasting niet altijd een belemmering te zijn voor ontwikkeling van een bedekkende watervegetatie. Omdat het juist de meest ondiepe plassen betreft kan dit erop duiden dat de vrij grote diepte van de meeste plassen (1,75 m en dieper) ongunstig is voor ontwikkeling van een rijke watervegetatie bij deze P-concentraties. Mogelijk is voor bepaalde submerse waterplanten de combinatie van perifyton en waterdiepte doorslaggevend voor de lichtcondities. In ondiep water zouden deze nog relatief veel perifyton kunnen verdragen omdat hier meer licht doordringt. In dieper water is de indringing van licht minder en kan dat samen met veel perifyton door een hoge fosfaatbelasting zorgen voor lichtbeperking.

5.3 Andere factoren voor watervegetatie

Andere factoren dan nutriëntenrijkdom kunnen de ontwikkeling van watervegetatie kunnen beïnvloeden. Deze worden hier besproken.

Plas 12 is duidelijk afwijkend van de overige plassen met sterke algenbloei en het ontbreken van watervegetatie. Hier dragen de volgende oorzaken aan bij:

- de verblijftijd is veel langer dan in andere plassen (meer dan een maand), zodat het fytoplankton de tijd heeft om zich te ontwikkelen;
- deze voormalige zandwinplas is met de herinrichting niet opgeschoond en kan daardoor een veel fosfaatrijkere bodem hebben dan de meeste andere plassen die wel zijn opgeschoond;
- in de plas ligt ook afval, mogelijk is er ook nutriënten rijk afval gedumpt; als het alleen grof afval en puin betreft is echter de vraag of dit veel bijdraagt aan de nutriëntenrijkdom;
- in de plas komen veel karpers voor die de bodem omwoelen en daardoor veel fosfaat mobiliseren; tevens vreten de karpers alle waterplanten weg; bij een visstandopname van het Hoogheemraadschap van Delfland in 2007 werd 365 kg/ha Karper aangetroffen; 93% van de visbiomassa werd gedomineerd door deze soort (Sierdsma et al. 2008);
- de aanwezige aalscholverkolonie zorgt voor extra aanvoer van nutriënten (N en P).

De plassen 5/6, 7, 9, 9A, 11 en 13 hebben een hoge bedekking van waterplantvegetatie die voornamelijk bestaat uit Klein fonteinkruid, kranswieren, Zilte waterranonkel en/of Grot nimfkruid. Op basis van de aannames die gedaan zijn bij de berekening van de hydraulische belasting en P-belasting zijn dit plassen met een hoge P-belasting. De enige factor die de hoge bedekking van Klein fonteinkruid en kranswieren verklaart, is dat betreffende plassen (9A, 11 en 13) vaak ondiep zijn en klein. Hierdoor bestaat in deze plassen een groot deel van het oppervlak uit ondiep, rustig en helder water. Omdat de andere plassen dieper zijn, is het mogelijk dat deze minder geschikt zijn voor een hoge bedekking met watervegetatie. Een vraag is dan of het water onvoldoende helder is, zodat in diepere delen (> 1 m) lichtbeperking een grote rol speelt. Dit zou kunnen worden onderzocht met periodieke doorzichtmetingen met een Secchi-schijf en het kwantificeren van de hoeveelheid perifyton op de waterplanten. Mogelijk is voor diverse submerse waterplanten de combinatie van hoeveelheid perifyton en waterdiepte doorslaggevend voor de lichtcondities. In ondiep water zouden deze mogelijk nog relatief

veel perifyton kunnen verdragen, omdat hier meer licht doordringt. In dieper water is de indringing van licht minder, wat samen met perifytonbedekking kan zorgen voor een te sterke lichtbeperking. Op dit moment is hier geen kwantitatieve informatie.

Na het opschonen van de meeste plassen in 2006 is weer een nieuwe slibodem ontstaan. Hierin kan fosfaat accumuleren en zorgen voor een hoge fosfaatbeschikbaarheid voor wortelende planten en algen op de bodem. In hoeverre fosfaat in de bodem accumuleert en biologisch beschikbaar is, is onbekend.

6 Mogelijke maatregelen voor verbetering kwaliteit van de watervegetatie en adviezen voor monitoring

6.1 Mogelijke maatregelen

De finale vraag voor dit onderzoek met welke mogelijke maatregelen de kwaliteit van de watervegetatie kan worden verbeterd.

In de grotere plassen van Solleveld is de kwaliteit van de watervegetatie gering wegens een lage bedekking of zelfs het geheel ontbreken van submerse waterplanten. Alleen in kleinere en veelal ondiepe plassen komt nog een bedekkende vegetatie voor van waterplanten. Over het algemeen zijn de plassen arm aan waterplantsoorten, maar komen er wel enkele bijzondere soorten voor. De volgende maatregelen kunnen bijdragen aan een betere kwaliteit van de watervegetatie:

Verlaging van de P-belasting is een zinvolle optie omdat het aquatisch systeem in Solleveld P-gelimiteerd is. Dit is mogelijk door een combinatie van het verminderen van de hydraulische belasting (minder water infiltreren en dus minder waterwinnen) en/of verlagen van de P-totaal concentratie van het aangevoerde rivierwater. Aangezien het infiltratiegebied een waterwinfunctie heeft is verminderen van de infiltratie en daarmee hydraulische belasting een weinig realistische optie. Het verlagen van de hydraulische belasting kan bovendien bloei van fytoplankton bevorderen en daarmee watervegetatie sterk beperken. Dat is een risico zolang de fosfaatconcentratie in het voorgezuiverde rivierwater (in winter+zomer!) nog zo hoog is als nu het geval is. Dit blijkt ook uit de algenbloei in plas 12, die van de plassen in Solleveld de langste verblijftijd heeft.

Het verbeteren van de fosfaatverwijdering in de voorzuivering van rivierwater is technisch gezien een optie. Ten eerste zou de P-belasting flink verlaagd kunnen worden door ook in het winterhalfjaar te coaguleren. Daarnaast zou onderzocht dienen te worden of de coagulatie vooraf aan de infiltratie kan worden verbeterd. Om voor de plassen in Solleveld bij de huidige infiltratiehoeveelheid tot een gemiddelde lage P-belasting ($<2.5 \text{ mg P/m}^2/\text{d}$) te komen, is een P-totaal concentratie van minder dan 0.01 mg P/l nodig. Dat is 4.5 maal zo laag als de huidige gemiddelde concentratie. Een streefwaarde van de P-totaal concentratie in het voorgezuiverde water kan het beste worden afgewogen op basis van ecologische doelen in alle duininfiltratiegebieden van Dunea.

Een aanzienlijke oppervlakte van de plassen is diep ($> 1\text{m}$); dit kan in combinatie met snelle perifytongroei snel leiden tot te veel lichtbeperking van submerse macrofyten. Een optie is dan om de plassen ondieper te maken met nutriëntenarm zand. De hydraulische belasting en infiltratiesnelheid blijven dan hetzelfde, maar het lichtklimaat verbetert dan. Het is wel de vraag hoe onderhoudsgevoelig dit is, aangezien sneller dichtgroeien met helofyten en verlanding kan optreden. Sterke rietgroei treedt op bij een waterdiepte van minder dan ca. 0.75 m (mededeling H. van der Hagen). Dit kan dan periodiek maaibeheer en opschonen nodig maken. Een optie is dan om niet alle ondiepe delen in hetzelfde jaar te maaien en op te schonen, maar om dit gefaseerd te doen.

Ondanks dat plas 12 wat betreft watervegetatie momenteel het minst ontwikkeld is, is er juist voor deze plas veel perspectief voor herstel. Ten eerste vergt dat een verlaging van de fosfaatconcentratie in het

voorgezuiverde aanvoerwater om algenboei tegen te gaan. Deze plas heeft momenteel last van algenbloei door de combinatie van hoge fosfaatconcentraties in het aanvoerwater en een relatief lage hydraulische belasting. Als de fosfaatconcentratie wordt verlaagd, kan voor deze plas een lage P-belasting kunnen worden gerealiseerd (tevens de laagste van alle plassen). Additioneel kunnen bijdragen aan ontwikkeling van watervegetatie: 1) baggeren van de ondiepe delen, 2) wegvangen van karpers, 3) bomen kappen zodat de aalscholverbreedkolonie verdwijnt. Voor watervegetatie leiden deze maatregelen voornamelijk tot winst in de ondiepe delen. Het verdwijnen van de aalscholverbreedkolonie vermindert ook bacteriële risico's waaronder besmettingen van het teruggewonnen water met coli- en enterobacteriën zoals *Salmonella* en *Campylobacter*.

Deze analyse van de infiltratieplassen in Solleveld laat zien dat dit infiltratiesysteem een zeer hoge P-belasting heeft, veel hoger dan andere onderzochte duininfiltraties in Nederland. Een belangrijke factor hierin is de hoge P-totaal concentratie van het voorgezuiverde infiltratiewater. Hetzelfde water wordt ook geïnfiltreerd in Berkheide en Meijndel, waar de infiltratiegebieden ook sterk belast worden met fosfaat. Verbetering van de fosfaatverwijdering in de voorzuivering kan dan ook bijdragen aan de duurzaamheid van deze infiltratiesystemen en de daaraan verbonden natuurwaarden (duinplassen en duinvalleien). Een betere fosfaatverwijdering is te bereiken door jaarrond te gaan coaguleren en de effectiviteit van coagulatie te verbeteren.

6.2 Adviezen voor monitoring

We hebben de volgende adviezen voor monitoring:

Omdat dat de P-belasting is gebaseerd over grove aannames over de verdeling van het voorgezuiverde water over de plassen heeft de berekening daarvan een grote onzekerheid. Dat geldt ook voor berekende verblijftijden. Voor een scherper inzicht in het functioneren van het aquatisch systeem is het zinvol om de aanvoer debieten per aanvoerpunt te gaan meten. Dan kan voor de meeste plassen een afzonderlijke waterbalans worden opgesteld.

Een vraag is of het water onvoldoende helder is voor een hoge bekdekking van waterplanten, in diepere delen (> 1 m) van de plassen. Dit zou kunnen worden onderzocht met periodieke doorzichtmetingen met een Secchi-schijf

Mogelijk is voor diverse submerse waterplanten de combinatie van hoeveelheid perifyton en waterdiepte doorslaggevend voor de lichtcondities. In ondiep water zouden deze mogelijk nog relatief veel perifyton kunnen verdragen, omdat hier meer licht doordringt. In dieper water is de indringing van licht minder, wat samen met perifytonbedekking kan zorgen voor een te sterke lichtbeperking. Op dit moment is er weinig kwantitatieve informatie over 1) de waterdiepte waarop waterplantsoorten voorkomen, 2) het doorzicht van het water en 3) de hoeveelheid perifyton op waterplanten. Met metingen op puntlocaties van de waterdiepte, aanwezige soorten, het doorzicht met een Secchi-schijf en de hoeveelheid perifyton op waterplanten kan hier nader zicht op geven.

7 Literatuur

- Aggenbach C.J.S., P. J. Stuyfzand & E. Dorland (2012). Effecten van ontzouting van infiltratiewater op grondwater en vegetatie in het infiltratiesysteem van de Oostduinen (Goeree). KWR 2011.100, KWR Watercycle Research Institute/ Evides, Nieuwegein.
- Aggenbach, C.J.S. & M. Annema (2014). Invloed van water- en bodemchemie op de watervegetatie van infiltratiekanalen in de Oostduinen. KWR2014.025, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Aggenbach, C., M. Annema, A. Jansen & H. Ketelaars (2016). Ontwikkeling van watervegetaties in de heringerichte infiltratiekanalen in de Oostduinen. *De Levende Natuur* 117 (3): 94-101.
- Hootsmans, M. (2015). Gevolgen inname Lekwater als back-up voor drinkwaterkwaliteit en ecologie duin. Rapport BTO 2015.005, KWR Watercycle Research Institute/ Evides, Nieuwegein.
- Jaarsma N., M. Klinge & L. Lamers, 2008. Een ecologische systeemanalyse en diagnose van ondiepe meren en plassen voor de kaderrichtlijn water. Van helder naar troebel... en weer terug. Rapport 2008-04, STOWA, Utrecht.
- Janse, J.H., 2005. Model studies on the eutrophication of shallow lakes and ditches. Dissertatie Wageningen Universiteit.
- Lamers, L. (ed.), 2006. Onderzoek ten behoeve van het herstel en beheer van Nederlandse laagveenwateren. Eindrapportage 2003-2006 (Fase 1). OBN-rapport, Ministerie van LNV.
- Lathrop, R.C., S.R. Carpenter, C.A. Stow, P.A. Soranno & J.C. Panuska (1998). Phosphorus loading reductions needed to control blue-green algal blooms in Lake Mendota. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55: 1169–1178
- Van der Hagen, H. (2018). Snorkelen in infiltratieplassen in Solleveld: een onderzoek naar kwaliteit. Memo Dunea Duin & Water.
- Sierdsma, F., M. van der Welle & T. van den Broek (2008). KRW uitwerking duingebied Rijn-West Waterlichaam Solleveld. Rapport 9S6510A0/R/902541/Rott1, Royal Haskoning, Rotterdam.

I Bijlage: Hydrografische kenmerken, helderheid van het water en soortensamenstelling van de watervegetatie in de infiltratieplassen

Plas 5/6	<i>diepte</i>	ca. 2 meter
	<i>percentage kale bodem</i>	onbekend
	<i>helderheid</i>	helder
	<i>slib bodem</i>	geen tot een 10 cm heel losse sliblaag
	<i>Waargenomen soorten (afnemende dominantie):</i>	
	Groot nimfkruid	grote delen van de bodem bedekkend
	Kranswieren	locaal bedekkend voorkomend
	Klein fonteinkruid	regelmatig optredend
	Stijve waterranonkel	hier en daar en verspreid over de plas voorkomend
	Schedefonteinkruid	hier en daar en verspreid over de plas voorkomend
	Aarvederkruid	hier en daar en verspreid over de plas voorkomend
	Gekroesd fonteinkruid	op een enkele plaats voorkomend
	Draadwieren	incidenteel optredend
	Grof hoornblad	op een locatie in zuidelijke punt
Plas 7	<i>diepte</i>	2-2,5 meter
	<i>percentage kale bodem</i>	onbekend
	<i>helderheid</i>	helder
	<i>slib bodem</i>	geen tot een 10 cm heel losse sliblaag
	<i>opm 1</i>	brede strook riet langs de oever waardoor nog een beperkt deel van de plas open water is
	<i>opm 2</i>	op een plek mogelijk blauwwieren
	<i>Waargenomen soorten (afnemende dominantie):</i>	
	Groot nimfkruid	grote delen van de bodem bedekkend
	Draadwieren	een aanzienlijk deel van de bodem bedekkend
	Klein fonteinkruid	regelmatig in kleine en grote vlekken optredend
	Kranswieren	op diverse plekken verspreid over de plas aangetroffen
	Stijve waterranonkel	verspreid over de plas voorkomend
	Schedefonteinkruid	op een enkele plek voorkomend
	Gekroesd fonteinkruid	op een enkele plek voorkomend
Plas 8	<i>diepte</i>	<i>onbekend</i>
	<i>percentage kale bodem</i>	onbekend
	<i>helderheid</i>	doorzicht goed
	<i>slib bodem</i>	onbekend
	<i>opm 1</i>	over het overgrote deel van de plas de is begroeiing van beide zijde van de plas ineen gegroeid en is er nagenoeg geen open water meer
	<i>Waargenomen soorten:</i>	
	Groot nimfkruid	paar plukjes
	draadwieren	paar plukjes
Klein fonteinkruid	paar plukjes	
Plas 9	<i>diepte</i>	onbekend
	<i>percentage kale bodem</i>	10%
	<i>helderheid</i>	heel helder
	<i>slib bodem</i>	onbekend
	<i>opm 1</i>	het grootste deel is dichtgegroeid met overhangende boomtakken; alleen het oostelijk deel is open
	<i>Waargenomen soorten:</i>	
	Klein fonteinkruid	regelmatig optredend
	Kranswieren	op diverse plekken verspreid over het plasje aangetroffen
	Zilte waterranonkel	een grote plek voorkomend
	Sterkranswier	zacht-water soort; op een locatie
	Draadwieren	hier en daar grote plukken; daarnaast dreef op het water en was in de waterkolom darmwier aanwezig
	Schedefonteinkruid	op een enkele plek voorkomend

Plas 9A	<i>diepte</i>	ondiep
	<i>percentage kale bodem</i>	10-20%
	<i>helderheid</i>	heel helder
	<i>slib bodem</i>	heel losse sliblaag van 10-15 cm
	<i>opm 1</i>	infiltratieplassen zijn smal en ondiep; ongeveer de helft van de lengte van de plassen is dichtgegroeid met riet en/of bomen en struiken
	<i>Waargenomen soorten (zuidelijk deel):</i>	
	Klein fonteinkruid	bedekking van 80-90%
	Kranswieren	hier en daar verspreid over het plasje
	Stijve waterranonkel	hier en daar verspreid over het plasje
	Zilte waterranonkel	hier en daar verspreid over het plasje
	Groot nimfkruid	hier en daar verspreid over het plasje
	Draadwieren	hier en daar grote plukken; daarnaast lag op de bodem hier en daar darmwier
	Schedefonteinkruid	op een enkele plek voorkomend
	<i>Waargenomen soorten (middendeel):</i>	
	mengvorm van kranswieren	bedekking van 90%
	<i>Waargenomen soorten (noordelijk deel):</i>	
	Klein fonteinkruid	bedekking van 80%
Kranswieren	hier en daar verspreid over het plasje	
Zilte waterranonkel	hier en daar verspreid over het plasje	
Schedefonteinkruid	op een enkele plek voorkomend	
Plas 11	<i>diepte</i>	variabel, van 40 cm tot 2 meter
	<i>percentage kale bodem</i>	10%
	<i>helderheid</i>	niet helder
	<i>slib bodem</i>	onbekend
	<i>opm 1</i>	een deel van de plas is met riet en lisdodde dicht gegroeid
	<i>opm 2</i>	op de planten, zowel op de kranswieren als de fonteinkruiden is een laagje perifyton aanwezig
	<i>Waargenomen soorten:</i>	
	Kranswieren	bedekking van ongeveer 80%
	Klein fonteinkruid	bedekking van ongeveer 10% (op een locatie en verspreid tussen de kranswieren; ook in de rand tussen de rietstengels)
	Schedefonteinkruid	vooral bij de inlaat en hier en daar in de plas
	Draadwieren	hier en daar wat plekken
Groot nimfkruid	een enkele plek	
Plas 13	<i>diepte</i>	variabel, van 40 cm tot 2 meter
	<i>percentage kale bodem</i>	10%
	<i>helderheid</i>	niet helder
	<i>slib bodem</i>	
	<i>opm 1</i>	een klein deel van de plas is met riet en lisdodde dicht gegroeid
	<i>opm 2</i>	op de planten, zowel op de kranswieren als de fonteinkruiden is een laagje perifyton aanwezig
	<i>Waargenomen soorten:</i>	
	Kranswieren	bedekking van ongeveer 80%
	Klein fonteinkruid	komt verspreid tussen de kranswieren voor
	Draadwieren	hier en daar wat vlekken verspreid over de plas
	Groot nimfkruid	hier en daar verspreid over de plas
Plas 10/12	<i>diepte</i>	variabel, 1-2 meter in westelijk aanhangsel plas 12, 2-3 meter in plas 10 en tot 8 meter in plas 12 (zandwinningsplas)
	<i>percentage kale bodem</i>	
	<i>helderheid</i>	Erg troebel. Het zicht in de plas was vaak niet meer dan 15-20 cm.
	<i>slib bodem</i>	
	<i>opm 1</i>	In de hele plas (van de voormalige plas 12 is alleen de buiten rand gekeken) is helemaal niets aangetroffen aan ondergedoken waterplanten
	<i>Waargenomen soorten:</i>	
	geen	