

ONDERWERP
Werking Fatman De Put Delfland

PROJECTNUMMER
C03091.000538

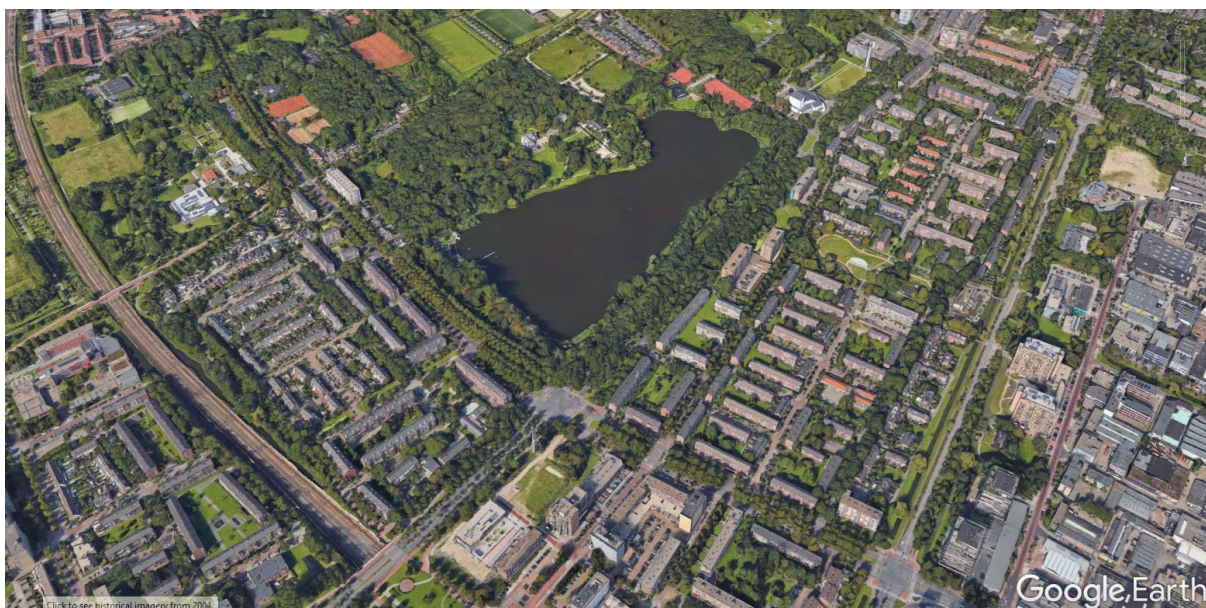
DATUM
28 februari 2022

VAN
Arjon Buijert

AAN
Joep de Koning (Delfland) en Jan-Willem Rijke (provincie Zuid-Holland)

Aanleiding en doel

De Put te Werve is een unieke recreatieplas in het midden van de gemeente Rijswijk. Deze voormalige zandwinput is onderdeel van landgoed Te Werve. Dit gebied heeft een belangrijke maatschappelijke functie en wordt gebruikt voor verschillende recreatieve en sportieve activiteiten. Het water van de plas zelf wordt actief gebruikt door de zwem- en hengelsportvereniging. Onder de leden zijn veel inwoners uit Rijswijk en omstreken die graag hun hobby beoefenen in en aan het water. Daarnaast is de plas een belangrijke waterberging voor Rijswijk en wordt er genoten van dit unieke stukje natuur midden in het hart van Rijswijk.



Figuur 1: Ligging van de Put te Werve en de directe omgeving.

De plas heeft de laatste jaren te maken met een verslechterde waterkwaliteit. Door het onnatuurlijk ontstaan van de plas is deze niet in staat zichzelf te onderhouden. Verschillende omgevingsfactoren hebben een negatieve werking op de waterkwaliteit. Het doorzicht neemt gedurende het voorjaar snel af door een sterke toename van algen. Hierdoor is de plas niet meer aantrekkelijk om in te zwemmen. Later in het voorjaar komt er ook blauwalg voor, waardoor het niet altijd meer veilig is voor recreanten om in contact te komen met het water. Dit resulteert in een negatief zwemadvies, is het niet altijd veilig te zwemmen in de plas en moet de zwemvereniging zijn deuren gesloten houden. Hierdoor is het niet meer aantrekkelijk om in en om de plas te recreëren. Door de grote hoeveelheid organisch materiaal in de plas (o.a. algen) sterft in het najaar ook regelmatig een deel van de vispopulatie waardoor er overlast ontstaat en de vispopulatie bedreigd wordt. Door de vissterfte verliest de

hengelsportvereniging jaarlijks veel leden en kost het de vereniging veel geld de vispopulatie op orde te houden door het kopen van o.a. nieuwe vissen en het in werking houden van een beluchting systeem.

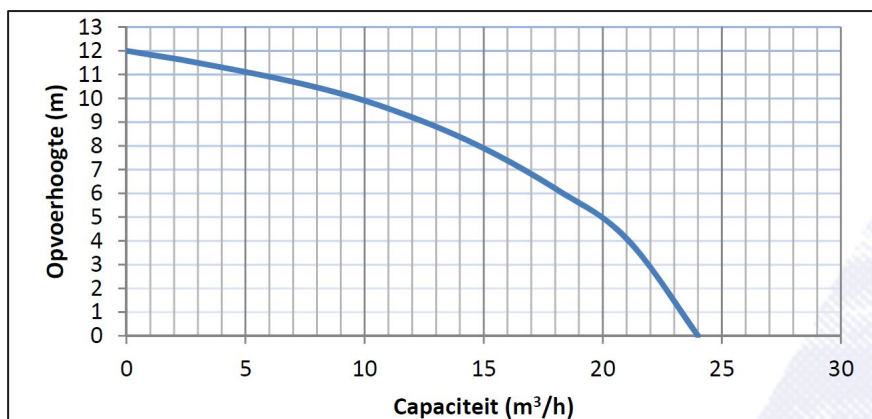
Om meer inzicht te krijgen in de oorzaak van deze overlast heeft het waterschap in 2016 onderzoek gedaan naar de waterkwaliteit. Uit dit onderzoek blijkt dat de explosieve groei van (blauw)algen voornamelijk wordt veroorzaakt door hoge nutriëntenconcentraties in het water. Deze nutriënten zijn voor een groot deel afkomstig uit de voedselrijke waterbodem. Door de grote waterdiepte en stedelijke omgeving is het bijna niet mogelijk om de waterbodem te verwijderen of af te dekken, waardoor de verwachting is dat de waterkwaliteit niet zal verbeteren, zeker wanneer er meer warme zomers zullen komen.

Uitgangspunten ontwerp

Om de waterkwaliteit te verbeteren en nutriënten uit het water te verwijderen is er door Arcadis, Delfland en de provincie Zuid-Holland een pilot gestart. Deze pilot is gebaseerd op de fosfaat verwijderende werking van ijzerzand. Dit ijzerzand is toegepast in twee drijvende zuiveringseenheden, die Fatmans worden genoemd. De Fatmans onttrekken water diep uit de plas en laten het water door het ijzerzand stromen. Het gezuiverde water wordt vervolgens aan het oppervlak weer in de plas teruggebracht. Dit heeft meerdere effecten:

- Door het water in contact te brengen met het ijzerzand wordt fosfor verwijderd
- Door het water te verpompen ontstaat er stroming in de plas
- Door het water diep uit de plas te onttrekken wordt er koud water naar het oppervlak gebracht

Binnen in de Fatmans wordt het water in beweging gebracht doormiddel van een elektrische pomp. Hierbij is gekozen voor een dompelpomp type RVS 304, KS 112. Deze pomp heeft een maximale capaciteit van 24 m³/uur (0,4 m³/min) en een maximale opvoerhoogte van 12 m. Om verstopping te voorkomen kan de pomp vuil doorlaten tot een diameter van 5 mm.



Figuur 2: Capaciteit van de toegepaste pomp bij verschillende opvoerhoogtes.

In de praktijk ligt het debiet aanzienlijk lager dan de maximale pompcapaciteit. Dit heeft verschillende oorzaken:

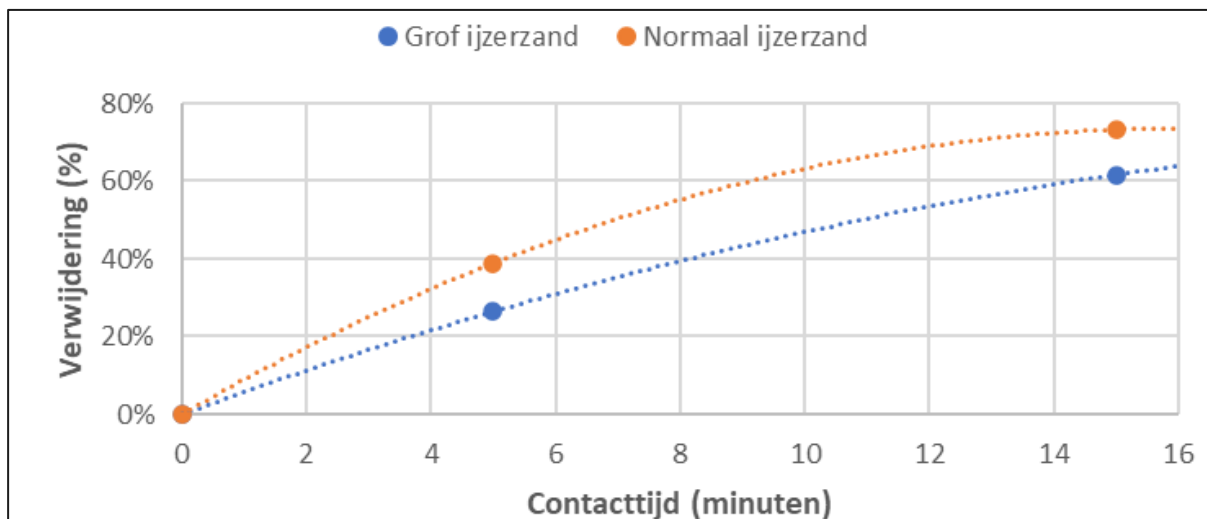
- Het water wordt een kleine meter boven het waterpeil uitgedompt voordat het terugstroomt in de plas
- Er is ongeveer 10 meter leiding toegepast. Deze leiding veroorzaakt weerstand
- Om verstopping te voorkomen is er een pompkorf en filterdoek om de pomp geplaatst
- Het ijzerzand belemmert de stroming van het water

Vanwege deze beperkende factoren is een debiet van 0,1 m³/min een realistische verwachting.

Per Fatman wordt ongeveer 1 m³ (gezeefd) ijzerzand toegepast. Dit zand heeft een geschatte porositeit van ongeveer 41% (Olsthoorn, 1977 tabel II, 0,39-0,55 mm). Wanneer het debiet evenredig door deze poriën stroomt resulteert dit in een contacttijd van 4,1 minuten. In de praktijk zullen er delen van het zand beter doorstroomd raken. Tegelijkertijd zullen deze locaties sneller verstopt raken, waardoor preferente stroming voorkomen zal worden.

Uit een eerder experiment van Arcadis is gebleken dat binnen enkele minuten de helft van het fosfaat uit oppervlaktewater verwijderd kan worden (Memo Resultaten experimenten ijzerzand, 2013). Dit water bevatte echter maar maximaal 0,24 mg/l ortho P. Om de effectiviteit in de put te onderzoeken is er ook een kleinschalig,

niet wetenschappelijk experiment gedaan met behulp van het water uit de Put en het ijzerzand dat in de Put is toegepast. Dit experiment laat zien dat er met een contacttijd van 5 minuten ongeveer 25% van het fosfaat verwijderd wordt wanneer het grove (gezeefde) ijzerzand toegepast wordt. Met een contacttijd van 4 minuten kan hierbij een verwijdering van 20% verwacht worden. De verwijdering neemt verder toe wanneer het filter dichtslibt en het debiet afneemt.



Figuur 3: Resultaten van het kleinschalige experiment naar de snelheid van fosfaatverwijdering in De Put.

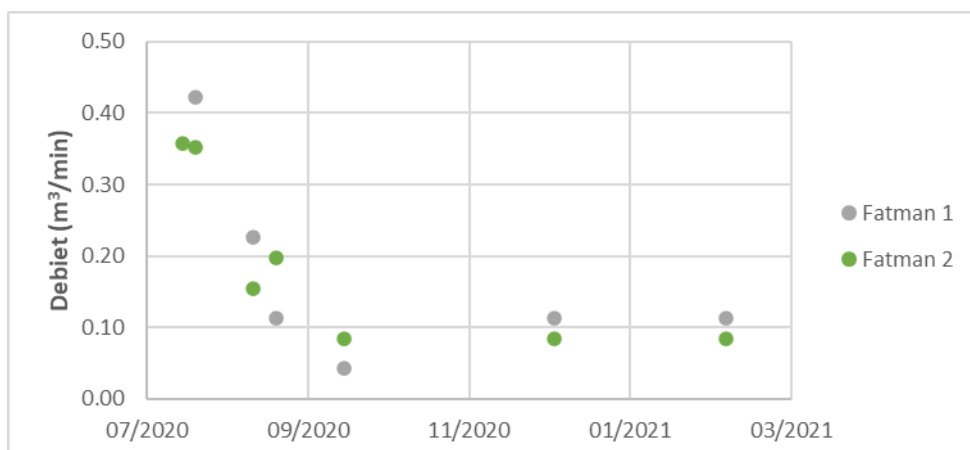
Verwacht wordt dat de twee Fatmans onvoldoende capaciteit hebben om het volledige watersysteem te zuiveren en (blauw)alg te voorkomen. Het doel van deze pilot is dan ook om de werking van de Fatman te testen en te monitoren of er een significante verbetering ontstaat in de gemeten waterkwaliteit en/of de ecologie in de Put.

De eerste Fatman is in mei 2020 getest in de haven van Niftrik. Tijdens deze test is geconstateerd dat de pomp verstopt kon raken door de pompkorf en het filterdoek bij de pomp kan komen. Om dit tijdens de pilot te voorkomen is het ijzerzand gezeefd met een zeef van 3mm. Verwacht wordt dat hierdoor het ijzerzand ook minder snel zal dichtslibben. Uiteindelijk zijn op 1 juli 2020 twee Fatmans in De Put geplaatst en in werking gesteld.

Werking hydrologie

Omdat de Fatmans midden in de plas drijven, is het niet mogelijk om het debiet regelmatig te meten. Om toch een beeld te krijgen van het debiet en te monitoren of de pompen nog wel werken, is er verschillende keren door de vissers van de visvereniging een filmpje van de Fatmans gemaakt. Op basis van de geschatte lengte van de waterstraal is de stroomsnelheid en het debiet ingeschat.

Kort na het plaatsen van de Fatmans ligt het geschatte debiet rond de 0,4 m³/min. Dit komt goed overeen met de kenmerken van de geleverde pomp. In de maanden daarna neemt het debiet geleidelijk af tot een minimaal debiet van 0,04 m³/min bij Fatman 1. Dit geschatte debiet is vooral zo laag doordat er geen constant debiet meer werd gerealiseerd maar met "pulsen" naar buiten kwam. Mogelijk was er hierbij sprake van een verstopping of verstoring van de pomp. Dit is eind 2020 vanzelf overgegaan, waardoor er nu een constant debiet van ongeveer 0,1 m³/min wordt verpompt.



Figuur 4: Geschatte debiet van de Fatmans op basis van de afstand die de waterstraal aflegt

Met dit debiet wordt iedere dag per Fatman ongeveer 144 m³ verpompt. Met dit debiet en de huidige twee Fatmans duurt het ongeveer 5.5 jaar om al het water in de plas te zuiveren. Dit is beperkt langer dan de uitgangspunten die zijn gehanteerd tijdens het ontwerpen van de Fatman.

Werking chemisch

Om de chemische werking (fosfaatverwijdering) van de Fatmans te onderzoeken is door het waterschap een monitoringsprogramma uitgevoerd. Omdat de Fatmans midden op de plas drijven, kan er niet eenvoudig een watermonster genomen worden. De lokale visvereniging heeft daarom de watermonsters genomen, die vervolgens door Aquon zijn geanalyseerd.

Bij het overdragen van de watermonsters aan Aquon was er bij de eerste metingen onduidelijkheid over het labelen van de flesjes. Dit kon ontstaan door het relatief grote aantal locaties en parameters. Hierdoor is onduidelijk of de metingen van juli en augustus wel goed zijn uitgevoerd. Zo valt bijvoorbeeld op dat het gemeten influent van Fatman 2 veel lager is dan het influent van Fatman 1 en de meting in de plas zelf. Voor de andere metingen zijn de gemeten concentraties niet direct een aanleiding om de metingen te wantrouwen.

Het valt op dat het verwijderingspercentage veel lager is dan verwacht. Als gevolg van het hoge debiet gedurende de eerste maanden was er in deze maanden een verwijdering van 5-10% verwacht. In september was het debiet afgenomen tot minder dan 0,1 m³/min (contacttijd > 4 min), waardoor het verwachte rendement zou moeten toenemen tot meer dan 20%. Het rendement blijft in deze maand echter beperkt tot 5% en 7%.

Tabel 1: Gemeten concentraties fosfaat (mg/l) en berekende verwijderingsrendement.

	Jul (Vissers)	Aug (Vissers)	Sept (Vissers)	Dec (Aquon)
Plas	1.32	1.39	1.27	1.03
Influent 1	1.33	1.37	1.25	1.02
Effluent 1	1.26	1.35	1.16	1.03
Influent 2	1.25*	1.39	1.29	1.03
Effluent 2	1.26	1.37	1.23	1.03
Verwijdering 1	5%	1%	7%	-1%
Verwijdering 2	-1%*	1%	5%	0%

**Mogelijk foute meting*

Om meer inzicht te krijgen in het beperkte rendement is er in december 2020 een volledige meting door Aquon uitgevoerd. Bij deze meting zijn er ook meer parameters meegenomen om inzicht te krijgen in de chemische

samenstelling van het water. Uit deze meting blijkt dat er geen fosfor meer wordt verwijderd. Op basis van de metingen is hiervoor geen directe oorzaak aan te wijzen. Er is voldoende zuurstof in het water aanwezig en de pH is niet afwijkend.

Uit de metingen van AQUON zijn wel duidelijke verschillen zichtbaar tussen het influent en effluent van de Fatmans. Zo blijkt er uit de metingen dat er organisch stikstof wordt gevormd in de Fatmans (toename van 0,64 mg/l naar 0,95 mg/l). Dit suggereert dat er veel biologische activiteit is in de Fatmans en dat het water goed door de Fatmans stroomt. Verder blijkt uit de metingen dat er een aanzienlijke hoeveelheid sulfaat in het water aanwezig is (27 mg/l). Sulfaat kan de werking van ijzerzand verstoren en vastgelegd worden in plaats van fosfaat. Volgens deze metingen komt er 2,5 mg/l sulfaat vrij bij Fatman 1, terwijl er 2,1 mg/l wordt opgenomen bij Fatman 2. Dit verschil kan momenteel niet verklaard worden en hiermee kan niet vastgesteld worden dat Sulfaat de oorzaak is van het beperkte rendement. De zuurstofverzadiging is met gemiddeld 77% voldoende hoog. Ook hierbij is de exacte interpretatie lastig. Volgens de metingen wordt er zuurstof opgenomen in Fatman 1, terwijl er zuurstof vrijkomt in Fatman 2. Gezien de biologische activiteit in de Fatmans is dit onwaarschijnlijk.

Verder spoelt er volgens de metingen een beperkte hoeveelheid ijzer uit (0,17 mg/l). Dit is vergelijkbaar aan de ijzeruitspoeling die is waargenomen binnen andere pilots.

Effect watersysteem

De Pilot met de Fatmans is opgezet om de werking van de Fatmans te testen en te onderzoeken of dit leidt tot een verbetering van de chemische en ecologische waterkwaliteit in De Put. Om dit te onderzoeken is de waterkwaliteit in De Put gemeten en geanalyseerd.

Aan het begin van de pilot verwachten we dat er mogelijk een effect zichtbaar zou kunnen zijn in de gemeten fosfor concentraties. Dit effect zou echter maar erg klein zijn doordat de 2 Fatmans maar een beperkt deel van het water kunnen zuiveren.

Uit de metingen blijkt dat de fosforconcentratie in De Put erg hoog is. Na het plaatsen van de Fatmans (1-6-2020) zijn er vier metingen uitgevoerd. De eerste twee metingen van het fosfaat waren uitzonderlijk hoog. Daarna is de fosfaatconcentratie geleidelijk afgenomen. De uiteindelijke concentraties liggen nog wel aanzienlijk hoger dan de gemeten concentraties in 2019. Het is onwaarschijnlijk dat het ijzerzand uit de Fatmans verantwoordelijk is voor deze variaties in de waterkwaliteit. Hiervoor is de gemeten effectiviteit van de Fatmans te laag. Mogelijk heeft het circuleren van water door de Fatmans wel invloed op de gemeten fosforconcentratie in het watersysteem. Door de toegenomen circulatie van water komt er meer water in contact met de nutriëntrijke baggerlaag, waardoor nutriënten omhoog getransporteerd worden in De Put. Ook wordt er door de circulatie meer zuurstof naar de diepe delen van de plas getransporteerd, waardoor de baggerlaag kan afbreken en nutriënten vrijkomen.

Tabel 2: Gemeten fosfor concentraties in De Put (OW412-041)

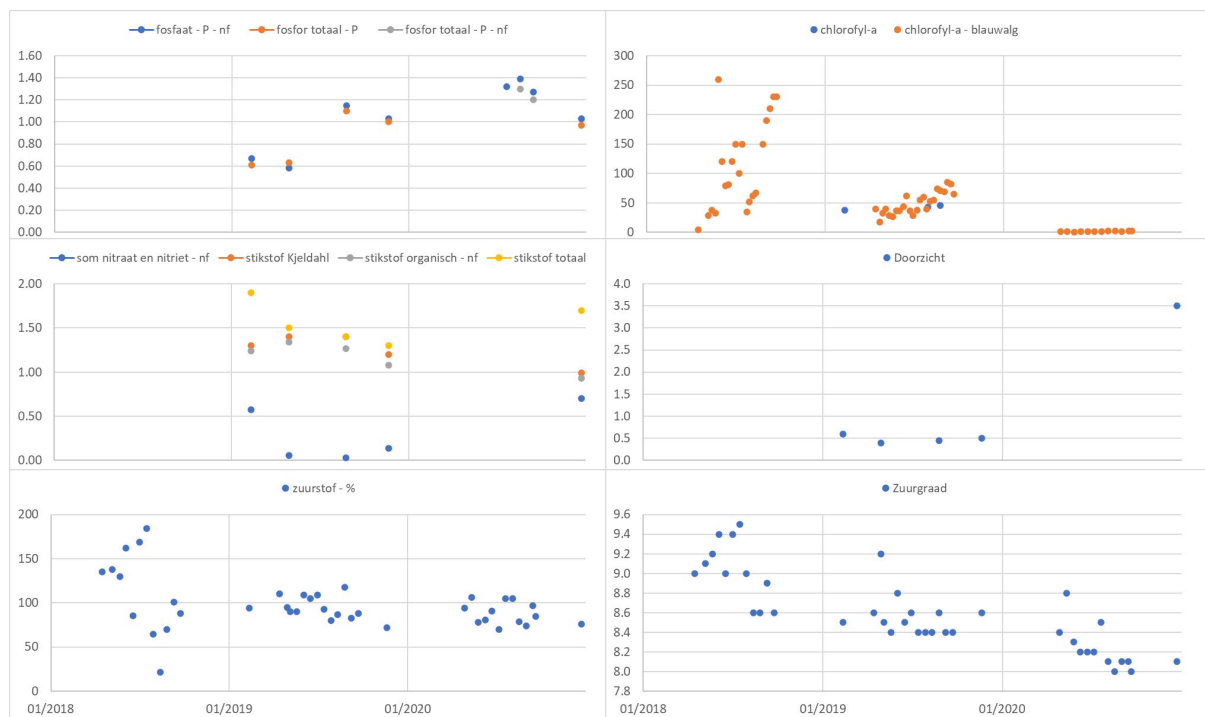
	11-02-2019	30-04-2019	26-08-2019	21-11-2019	21-07-2020	18-08-2020	15-09-2020	23-12-2020
Fosfaat (nf)	0.67	0.58	1.15	1.03	1.32	1.39	1.27	1.03
Fosfor	0.61	0.63	1.10	1.00	-	-	-	0.97
Fosfor (nf)	-	-	-	-	-	1.30	1.20	-

Verder is er ook kort gekeken naar andere chemische parameters zoals stikstof, zuurstof en de pH (zie figuur 5). In 2020 zijn maar 1x de verschillende stikstof fracties gemeten. Hierdoor is het niet mogelijk om harde conclusies te trekken. De gemeten totaalconcentratie in 2020 is beperkt hoger dan de concentraties in 2019. Dit is vergelijkbaar aan het patroon bij fosfor, waar meer metingen beschikbaar zijn. Wel valt op dat in 2020 een veel groter deel van het stikstof aanwezig was als nitraat/nitriet en veel minder als organisch stikstof. Dit duidt er op dat er veel minder algen en/of ander organisch materiaal in het water aanwezig zijn.

Dit laatste wordt ook bevestigd door de gemeten chlorofyl concentraties (algen). In 2018 liep dit op tot meer dan 250 ug/l. Dit duidt op extreme algenbloei. In 2019 kwamen deze extreme waarden niet meer voor maar waren er het hele jaar toch nog aanzienlijke algenconcentraties in het water aanwezig die aan het eind van het seizoen

opliepen tot 85 µg/l. In 2020 is dit in zijn geheel niet meer voorgekomen en bleef de chlofeylconcentratie onder de 5 µg/l. Dit is ook zichtbaar in het doorzicht dat is toegenomen van 0,5 m in 2019 naar 3,5 m in 2020. Door de lagere biologische activiteit is mogelijk ook de pH afgenomen van +/- 9,0 in 2018 naar 8,0 aan het eind van 2021.. Door de gebruikers van de plas is waargenomen dat zich op verschillende plekken in de plas waterplanten beginnen te ontwikkelen. De afgelopen tien jaar is dit niet waargenomen.

Dit is een enorme verbetering van de ecologische waterkwaliteit. Het is onwaarschijnlijk dat de Fatmans de (enige) oorzaak zijn van deze verbetering. Wel is het mogelijk dat de Fatmans hebben bijgedragen aan de verbeterde ecologische waterkwaliteit en helpen bij het instant houden hiervan.



Figuur 5: Belangrijkste chemische en ecologische parameters in De Put (OW412-042 en OW412-041)

Mogelijke oorzaken en vervolgonderzoek

Op basis van de huidige resultaten zijn er twee belangrijke onderzoeksvragen:

- Wat is de oorzaak van het beperkte zuiveringsrendement?
- Welk mechanisme zorgt voor de sterke verbetering van de ecologische waterkwaliteit?

Beide vragen kunnen op basis van de huidige meetgegevens niet volledig beantwoord worden. Er zijn wel enkele mogelijke verklaringen. Op basis van deze hypothesen kan er beoordeeld worden of vervolgonderzoek nodig is.

Beperkte zuiveringsrendement

De zuiverende werking van ijzerzand is aangetoond in lab experimenten en succesvol toegepast over verschillende locaties in Nederland. Het uiteindelijke rendement is echter afhankelijk van verschillende factoren. Op basis van onze kennis van het watersysteem en de huidige meetgegevens zien wij de onderstaande oorzaken. Waar mogelijk geven we hierbij een numerieke onderbouwing bij de waarschijnlijkheid van deze onderbouwing en aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

Algemene kenmerken:

- Fatman
 - Volume van +/-1 m³ (inhoud van de bigbag, niet gecorrigeerd voor volume van de pomp+filter)
 - Gemiddeld debiet van 0,15 m³/min (jun t/m dec 2020)
 - 6 maanden operationeel
- IJzerzand
 - IJzerfractie van 0,135 kg/kg
 - Dichtheid van 1,6 kg/l
 - Theoretische bindingscapaciteit van 1 mol P per 4 mol Fe*

**Gebaseerd op de bindingscapaciteit van fosfor aan ijzer uit kwel.*

- **Het ijzerzand is verzadigd**

De fosfor concentratie in het oppervlaktewater is erg hoog. Hierdoor is een mogelijk verklaring dat het ijzerzand in enkele maanden al verzadigd is geraakt. Er is geen exact getal voor de hoeveelheid fosfor die ijzerzand kan opnemen. Dit is afhankelijk van de chemische kenmerken van het oppervlaktewater, de samenstelling van het ijzerzand en de gewenste zuiveringssnelheid. Het ijzerzand is namelijk niet direct verzadigd, maar de opnamesnelheid neemt steeds verder af. Ook kan het zo zijn dat de buitenkant van het ijzerzand verzadigd is, maar de binnenkant van de korrels nog niet.

Uitgaande van de bovenstaande theoretische bindingscapaciteit resulteert dit in een totale bindingscapaciteit van 30 kg P per Fatman.

De Fatmans zijn tot december ongeveer 6 maanden operationeel geweest. In deze periode is het gemiddelde zuiveringsrendement geschat op 2%. Dit betekent dat er gemiddelde oP concentratie van 1,0 mg/l resulteert in een totale verwijdering van 0,8 kg. Dit is aanzienlijk lager dan de theoretische bindingscapaciteit.

De actuele bindingscapaciteit kan in de praktijk wel lager zijn. We hebben in een eerdere studie onderzoek gedaan naar de bindingscapaciteit van grof ijzerzand (Arcadis 2015). Hieruit bleek dat na 1 maand er al 1,5 kg fosfor opgenomen kon worden, zonder dat de opnamesnelheid afnam.

Aanvullend is onderzoek gedaan naar de theorie dat de contacttijd niet voldoende is om het fosfaat vanuit de buitenkant van ijzerzandkorrels naar de binnenkant van de korrels te laten trekken en naar de verzadiging van het ijzerzand.

Aanvullend onderzoek naar contacttijd

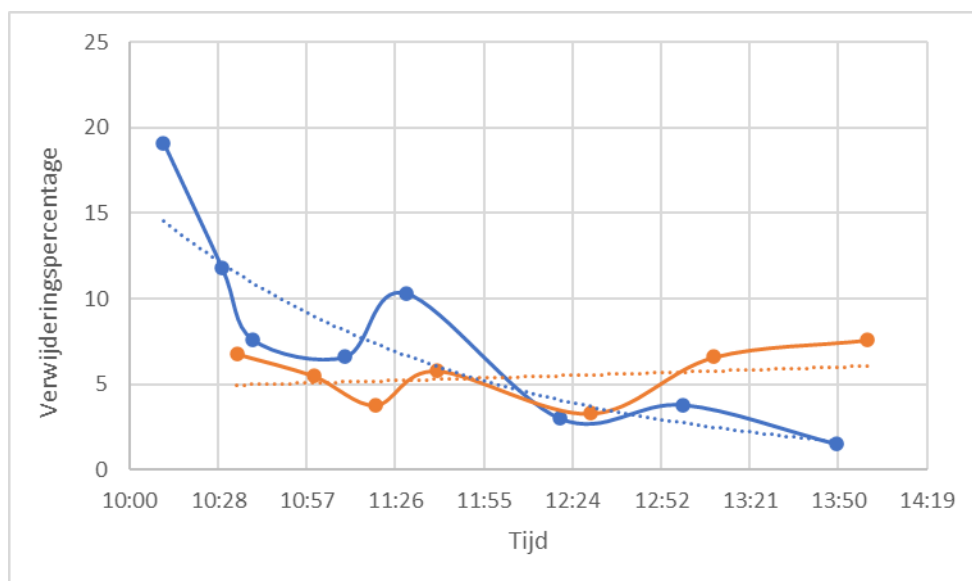
- Uit de voorlopige resultaten van het P-TRAP onderzoek blijkt dat het ijzerzand “regeneert” wanneer er een tijdje geen water (met fosfor) door het ijzerzand wordt gepompt. Voor het aanvullend onderzoek zijn daarom op 14 juli de Fatmans in De Put uitgerust met een timer waarbij de pompen per etmaal 4 uur achterelkaar draaien en daarna 20 uur stilstaan.

Op 30 juli zijn bij beide Fatmans in de 4 uur dat ze aanstonden periodiek watermonsters genomen. Het water in de plas en het water dat door de Fatman's is gegaan is onderzocht op fosfaat. Uit deze gegevens is het verwijderingspercentage bepaald.

De resultaten zijn in Tabel 3 en Figuur 6 weergegeven.

Tabel 3: Resultaten aanvullend onderzoek naar contacttijd

	Tijd	Verwijderings-percentage (%)	Debiet (l/s)
Fatman 1	10:10		1.5
	10:11	19.1	
	10:30	11.8	
	10:40	7.6	
	11:10	6.6	
	11:30	10.3	
	12:20	3	
	13:00	3.8	
	13:50	1.5	
Fatman 2	10:10		0.9
	10:35	6.8	
	11:00	5.5	
	11:20	3.8	
	11:40	5.8	
	12:30	3.3	
	13:10	6.6	
	14:00	7.6	



Figuur 6: verloop verwijderingspercentage bij 2 Fatmans in 4 uur tijd. Blauw = Fatman 1. Oranje = Fatman 2. Fatman 2 werkte minder goed, het debiet is niet constant.

Uit de resultaten blijkt:

- Door de pompen van de Fatmans in pulsen van enkele uren per dag te laten werken, neemt het adsorberend vermogen van het ijzerzand weer toe.
- Het continu laten draaien van de pompen werkt niet goed, de contacttijd is niet voldoende om fosfaat naar de binnenkant van de ijzerzandkorrels te laten trekken.
- Het principe werkt, maar er is een langere contacttijd nodig dan vooraf gedacht. Binnen twee uur wordt het verwijderingspercentage laag.

Aanvullend onderzoek naar verzadigingsgraad

Op 30 juli zijn monsters van het ijzerzand van een Fatman genomen. Voor het bepalen van de verzadigingsgraad van het ijzerzand zijn de ijzerzand monsters samen met ijzerzand waar geen water mee is gefilterd onderzocht op het verzadigingsgehalte. De verzadiging van het ijzerzand wordt uitgedrukt in de phosphorus saturation degree (PSD). Deze hangt af van het fosfor, aluminiumoxide en ijzergehalte. Het onderzoek naar de verzadigingsgraad is in duplo uitgevoerd. In Tabel 4 zijn de resultaten weergegeven.

Tabel 4: resultaten onderzoek verzadiging ijzerzand

	Al (mg/g)	Fe(mg/g)	Mn (mg/g)	P (mg/g)	PSD ($P_{ox}/(Al_{ox}+Fe_{ox})$)
IJzerzand monster A*	0,03	46,96	8,24	0,59	0,023
IJzerzand monster B*	0,03	46,29	8,36	0,53	0,021
IJzerzand blanco A**	0,02	48,56	6,60	0,07	0,002
IJzerzand blanco B**	0,03	48,82	5,85	0,05	0,002

* De ijzerzandmonsters zijn beide uit Fatman 1 genomen.

** De blanco monsters zijn van het zelfde ijzerzand genomen, maar komen niet uit de Fatmans

Uit de resultaten blijkt:

- De duplo's zijn met elkaar vergelijkbaar. Dit geeft vertrouwen in de meetresultaten.
- Het ijzerzand heeft nog voldoende adsorptiecapaciteit. Volledige verzadiging wordt rond de 0,25 ingeschat. Betekent dat het ijzerzand bij aanvang een verzadiging van circa 1% had en op het moment van monsternamen circa 10%.
- Uit de eerdere waarnemingen weten we dat het debiet door de Fatmans gemiddeld ongeveer 0,1 m³/min was. Ze zijn operationeel geweest van juli 2020 tot juli 2021. Uitgaande dat er dan per Fatman 50.000 m³ oppervlaktewater is gegaan en een enkele Fatman 1,5 ton weegt, betekent dit dat er ongeveer 0,75 kg P per Fatman is verwijderd. Dit is ongeveer 0,015 mg/l.

• Het ijzerzand is uitgespoeld

Door het filteren van water spoelt een deel van het ijzer uit het ijzerzand. Dit komt deels door het uitpoelen van de fijnere fractie van het ijzerzand en het kapot breken van ijzerzand in kleinere delen. Een ander risico ligt in het oplossen van het ijzer onder zuurstofloze omstandigheden. Uit de metingen van de zuurstofconcentratie blijkt dat er genoeg zuurstof in het water aanwezig is om reductie van het ijzerzand te voorkomen. Wel blijkt uit de metingen van AQUON dat de concentratie ijzer in het effluent 0,17 mg/l hoger ligt dan het influent. Dit resulteert in een uitspoeling van 6,6 kg Fe. In de Fatman was ongeveer 216 kg ijzer aanwezig. De uitspoeling is hiermee substantieel, maar verklaart het lage rendement niet.

Uit de uitgevoerde metingen blijkt dat er nauwelijks minder ijzer in het ijzerzand aanwezig is na 1,5 jaar filteren (Tabel 4).

• Het ijzerzand is te grof

Om te voorkomen dat de pomp verstopt raakt en de doorstroming van het filter te bevorderen is het ijzerzand gezeefd. Hierdoor verschilt het toegepaste ijzerzand van het ijzerzand dat in eerdere projecten is toegepast. Mogelijk neemt dit ijzerzand minder goed fosfaat op. Uit het onderzoek dat is gedaan (Arcadis 2015) blijkt dit niet. Om dit opnieuw te testen is er ook een kort experiment gedaan met het ijzerzand en water uit de put (Figuur 3). Hieruit blijkt dat de opnamesnelheid wel iets afneemt. Dit effect is echter niet genoeg om het lage rendement te verklaren.

Dit kan verder onderzocht worden door een kolomexperiment met het ijzerzand uit de Fatmans uit te voeren, of het ijzerzand in de Fatmans te vervangen door ongezeefd ijzerzand.

• Sulfaat belemmert de werking

De fosfaat verwijderende werking van de Fatmans is primair gebaseerd op het binden van fosfaat aan ijzer. Daarnaast wordt er ook fosfor verwijderd doordat er deeltjes met fosfor worden vastgelegd in het zandfilter. De binding van fosfaat aan ijzerzand kan op een aantal manieren verstoord worden. Op basis van de metingen is aangetoond dat te lage zuurstofconcentraties of een te hoge pH de werking in De Put niet verstoren. Wel blijkt er uit de metingen dat er hoge sulfaatconcentraties voorkomen. Sulfaat kan in de waterbodem en in kwelrijke gebieden bijdragen aan de nalevering van fosfaat. Het gaat hierbij om situaties met een laag zuurstofgehalte (zeer lage redoxpotentiaal). Volgens de metingen is er voldoende zuurstof aanwezig in het influent en effluent van de Fatmans. De metingen van AQUON geven aan dat er sulfaat

wordt vastgelegd in Fatman 2. Hierdoor kan het effect van Sulfaat niet uitgesloten worden.

Dit kan verder onderzocht worden door een langere meetreeks op te bouwen waarbij specifiek gekeken wordt naar de opname van sulfaat of door de aanwezigheid van zwavel te onderzoeken in de Fatmans.

- **De contacttijd is te kort**

Het adsorberen van fosfaat aan ijzerzand kost tijd. Deze tijd is onder andere nodig voor het water om in de poriën van het ijzerzand door te dringen en het fosfaat van het water naar het ijzer te laten diffunderen. In verschillende van de uitgevoerde pilots wordt het water onder vrij verval door het ijzerzand geleid. Hierdoor is de contacttijd vaak meerdere uren en kan een hoog zuiveringsrendement behaald worden. In de Fatman is er juist voor gekozen om te zoeken naar een optimale contacttijd. Aan het begin van het proces is de fosfaatconcentratie namelijk het hoogst en verloopt de adsorptie dus ook het snelst. Hierdoor kan (in theorie) de grootste verwijdering behaald worden met een relatief kleine zuivering. Uit de gemeten debieten blijkt hierbij dat de theoretische contacttijd bij de Fatmans gestabiliseerd is op ongeveer 4 minuten.

In verschillende onderzoeken is er gekeken naar de relatie tussen de contacttijd en de verwijdering. Zo is er een kolomexperiment uitgevoerd (Arcadis 2013) met een contacttijd van +/- 1 minuut en 3 minuten. Hieruit bleek dat bij deze relatief lage contacttijden 40-75% van het fosfaat verwijderd wordt. Vergelijkbare resultaten zijn gevonden bij het kleinschalige experiment dat is uitgevoerd met het water uit De Put (Figuur 3).

Aandachtspunt bij deze experimenten is dat de totale looptijd varieerde van enkele minuten tot hooguit enkele dagen. Hierdoor is het wel mogelijk dat de adsorptiesnelheid na verloop van tijd afneemt. Langer durende experimenten (o.a. Arcadis 2015) laten slechts een beperkte afname van de adoptiesnelheid in de tijd zien, maar hierbij is niet in detail gekeken naar de contacttijd. Dit laat zien dat de contacttijd in de Fatmans niet uitzonderlijk hoog is, maar dat dit ruim voldoende zou moeten zijn om een aanzienlijke hoeveelheid fosfor te verwijderen.

Een andere verklaring kan zijn dat de berekende theoretische contacttijd in de Fatmans niet klopt. Deze theoretisch contacttijd gaat er namelijk vanuit dat al het ijzerzand uniform doorstroomd wordt. In de praktijk zal hier altijd variatie in zijn, waarbij het niet bekend is hoe groot deze variatie is. Tijdens de inspectie van Fatmans op 11-9-2020 zijn er filmbeelden gemaakt van het infiltratieoppervlak van de Fatmans. Hierop is zichtbaar dat zich aanslag op het oppervlak van de Fatmans is ontstaan. Deze aanslag is uniform verspreid over het oppervlak, wat suggereert dat het water uniform de Fatmans instroomt. Doordat de pomp in het midden van de Fatmans zit is het niet mogelijk dat er water door een lekke buis wordt aangetrokken. Verder laten de metingen zien dat er voldoende contact is in de Fatman om stikstof om te zetten, wat ook suggereert dat er geen extreme preferente stroming is. De contacttijd blijft echter wel een aandachtspunt waarbij niet uitgesloten kan worden dat dit de werking van de Fatmans belemmert.

Het onderzoeken van de doorstroming en contacttijd van de Fatmans is lastig. Het is mogelijk om op specifieke plekken rondom de Fatmans (gekleurde) tracers in het water te brengen en visueel te inspecteren hoe dit water door de Fatmans aangetrokken wordt. Daarnaast kan gemeten worden hoelang het duurt voor deze tracers zichtbaar worden in het effluent van de Fatmans. Een alternatief is het meten van het drukverschil aan de buitenkant van de Fatman wanneer een stukje van de buitenkant wordt afgedekt.

- **Andere oorzaken**

Mogelijke verklaringen van de beperkte werking van de Fatmans kunnen gezocht worden in het relatief hoge stroomsnelheid in combinatie met het toepassen van het gezeefde ijzerzand. Zo is het mogelijk dat door de hoge stroomsnelheid er voornamelijk stroming is door de poriën in het ijzerzand en dat het water nauwelijks doordringt in het ijzerzand zelf.

Dit wordt momenteel onderzocht in het lab met enkele kolomproeven. Deltares publiceert hierover een artikel.

Effect ecologie

Het uiteindelijke doel van de pilot was om een maatregel te ontwikkelen waarmee er voor wordt gezorgd dat er geen/minder algen gaan groeien in De Put. In 2020 was dit al het geval, waarbij de Fatmans niet (volledig) dit effect kunnen verklaren.

Uit de metingen van het water in De Put blijkt dat er hoge concentraties stikstof en fosfor in een beschikbare vorm aanwezig zijn in de plas. De algengroei wordt dan ook niet beperkt door nutriënten. De groei van algen kan ook op andere manieren verstoord worden. Zo is er voor de groei van algen zonlicht en een gunstige temperatuur nodig. Op basis van de beschikbare meetgegevens is er geen aanleiding om aan te nemen dat dit in 2020 significant anders was dan de voorgaande jaren. Ten opzichte van eerdere jaren was de maandgemiddelde afwijking van de temperatuur en het aantal zonuren beperkt. Ten opzichte van eerdere jaren was het wel uniek dat er vanwege Corona niet gezwommen kon worden. Het is echter onwaarschijnlijk dat deze beperkte activiteit in een hoek van de plas zo'n substantieel effect kan hebben.

Ten opzichte van eerdere jaren is wel de doorstroming van de plas veranderd. Dit wordt deels veroorzaakt door de Fatmans. De pompen van de Fatmans onttrekken water diep uit de plas en laten die aan het oppervlak uitstromen. Een vergelijkbaar effect wordt veroorzaakt door de luchtpomp die door de visvereniging wordt beheerd. Sinds 2020 is de diffuser van deze luchtpomp aangepast, waardoor er mogelijk ook een betere circulatie ontstaat. Door deze pompen ontstaat er een opwaartse stroming in de plas waarmee koud water naar het oppervlak wordt gebracht. Daarnaast ontstaat er mogelijk een verticale stroming aan de randen. Door deze stroming wordt de spronglaag doorbroken, waardoor het water in de diepe delen van de plas niet meer zuurstofloos kan worden. Door de stroming is mogelijk de temperatuur van de toplaag gedaald, waardoor algen minder snel kunnen groeien. Daarnaast kunnen algen niet goed tegen stroming, waardoor mogelijk ook een deel van de algen afgevoerd wordt naar de diepere delen van de plas.

Verder is er door de vissers van de visvereniging waargenomen dat er sinds dit jaar grote hoeveelheden mosselen aanwezig zijn in het water. Dit uit zich in een aanzienlijke afzetting van mosselen op onder andere de diffuser van de luchtpomp. Daarnaast zijn er op de oever ook hoopjes met leeggegeten schepjes zichtbaar. Het gaat hierbij waarschijnlijk om de quaggamossel. Dit is volgens de vissers een nieuwe ontwikkeling en kwam in de jaren voor 2020 veel minder voor. Het is onduidelijk waarom de mosselen zich zo zijn gaan ontwikkelen. Volgens de factsheet quaggamossel (Emmerik, 2014) ligt de pH bovengrens van de mossel tussen de 9,3 en 9,6. Deze pH kwam tot 2019 regelmatig voor. Daarnaast kunnen de mosselen mogelijk ook slecht tegen de zuurstofloze omstandigheden die langdurig voorkwamen onder de spronglaag. Door het doorbreken van de spronglaag wordt mogelijk voorkomen dat de mosselen in het najaar massaal afsterven. Er zijn echter geen langjarige metingen om dit te onderbouwen.

Van de quaggamossel is bekend dat zij water effectief kan zuiveren. Per m² kunnen er duizenden mosselen aanwezig zijn. Hierbij is er wel een vaste bodem nodig waarop de mosselen zich kunnen hechten. Hierdoor is vooral de oever van De Put geschikt. Langs de oever is er veel rietvegetatie en stortsteen aanwezig. In de diepere delen is er bijna overal een dikke sliblaag aanwezig. Een enkele mossel ongeveer een liter per dag filteren. Anders dan bij de driehoeksmossel blijven quaggamosselen het hele jaar filteren. In een veldexperiment in het Wolderwijd is aangetoond dat mosselen blauwalgenbloei kunnen tegengaan. Het is onbekend of er in De Put voldoende mosselen voorkomen om (blauw)algengroei tegen te gaan. De mosselen kunnen wel een bijdrage leveren aan een sterk gereduceerde toename van de algen.



Figuur 7: Afzetting van mosselen op een diffuser na het zomerseizoen van 2020 op een diepte van ongeveer 10 meter.

Conclusie en vervolg

De Pilot in de Put is gestart om het ontwerp van de Fatman te testen en om te verkennen of het mogelijk is om met fosfaatverwijdering de ecologische waterkwaliteit te verbeteren. Uit de metingen blijkt dat de Fatmans beperkt hebben gefunctioneerd en na een half jaar geen fosfaat meer uit het water verwijderen. De ecologische waterkwaliteit in De Put is in 2020 sterk verbeterd, wat heeft geresulteerd in een doorzicht van 3,5 m en de afwezigheid van algenbloei. Op basis van de huidige gegevens kan geen harde conclusie getrokken worden over de oorzaak van het beperkte functioneren van de Fatman en de spectaculaire verbetering van de ecologische waterkwaliteit.

Uit het aanvullende onderzoek blijkt dat het principe werkt, er wordt fosfaat gebonden aan het ijzerzand. De contacttijd is echter te kort om een hoog verwijderingsvermogen te realiseren. Door de pompen per dag 1 à 2 uur aan te zetten wordt tijdens de rustperiode het verwijderingsvermogen van het ijzerzand hersteld. Conclusie is wel dat de huidige opstelling niet geschikt zal zijn om het fosfaatgehalte in het watervolume van De Put in voldoende mate te kunnen reduceren.

In deze memo worden verschillende mogelijke oorzaken besproken van de beperkte werking van de Fatman en de verbeterde ecologische waterkwaliteit. We stellen voor om deze verklaringen te bespreken met een bredere groep ecologen en waterkwaliteitsexperts om te verkennen of er nog andere verklaringen gevonden kunnen worden. Op basis hiervan kan een voorstel voor eventueel vervolgonderzoek geformuleerd worden waarmee bepaald kan worden of en hoe de Fatman verbeterd kan worden en hoe de verbeterde ecologische waterkwaliteit instant gehouden kan worden.