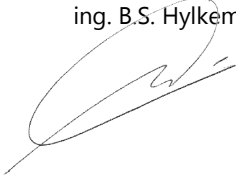


NOTITIE

Onderwerp	Chemische eigenschappen zandlaag om nalevering waterbodembodem te voorkomen
Project	Blaricummermeent
Opdrachtgever	VOBI B.V.
Projectcode	BRC18-12
Status	Definitief
Datum	20 februari 2018
Referentie	BRC18-12/18-002.628
Auteur(s)	J.J. Mandemakers MSc, R.J. Brederveld MSc

Gecontroleerd door	drs. ing. S.A. Schep
Goedgekeurd door	ing. B.S. Hylkema MScEng
Paraaf	

Bijlage(n)	I	Relaties tussen chemische samenstelling waterbodembodem en fosfaatnalevering
	II	Invoergegevens quickscan voor bepaling fosfaatnalevering
	III	Rekenwijze bindingscapaciteit zandlaag

Aan	VOBI B.V.	J. Veldman B. Blok
Kopie	-	

1 SAMENVATTING

In de nieuwe wijk Blaricummermeent wordt door VOBI B.V. een nieuw watersysteem ingericht. Deze wijk bestaat uit twee deelgebieden: deelgebied Stroom (eerste fase) en deelgebied Delta (tweede fase). Dit onderzoek heeft betrekking op deelgebied Delta. Er zijn eisen gesteld aan de inrichting. Eén van de eisen is dat de eerste 20 cm van de toekomstige waterbodembodem geen fosfaat mag naleveren. Deze eis is niet nader omschreven.

In deze notitie wordt een onderzoek beschreven waarin door Witteveen+Bos is vastgesteld of fosfaatnalevering uit de waterbodembodem in gebied Delta voorkomen kan worden door het aanbrengen van een 20 cm dikke zandlaag. Hiervoor is de samenstelling van de toekomstige toplaag van de waterbodembodem onderzocht (overal bestaande uit klei) en daarnaast de samenstelling van het ophoogzand dat op locatie beschikbaar is voor het afdekken van de waterbodembodem. Voor de samenstelling van de huidige bodembodem en het ophoogzand is gebruik gemaakt van dezelfde samples als die voor het onderzoek van B-Ware uit 2009 zijn gebruikt en verzameld [ref. 3].

Voor de kleilaag en voor het beschikbare ophoogzand is de fosfaataflevering berekend. Voor het ophoogzand is tevens het fosfaatbindend vermogen bepaald. Hiervoor is uitgegaan van de best beschikbare en in Nederland breed geaccepteerde relatie tussen de samenstelling van waterbodems en de fosfaataflevering gebaseerd op de hoeveelheid ijzer, zwavel en fosfor [ref. 4]. In deze analyse is de mate van fosfaataflevering vanuit de kleilaag en het fosfaatbindend vermogen van het zand conservatief ingeschat (zie box 1).

Box 1: conservatieve inschatting fosfaatbindend vermogen van het zand

Voor de bepaling van het fosfaatbindend vermogen is er vanuit gegaan dat er 20 cm zand opgebracht wordt en dat vastlegging optreedt door het in het zand aanwezige ijzer. Er is hierbij uitgegaan van een worst case:

- 1 voor de berekende fosfaataflevering vanuit de kleilaag naar de zandlaag is uitgegaan van het sample dat het meeste fosfaat afgeeft;
 - 2 er is geen rekening gehouden met transport van ijzer vanuit de kleilaag naar de zandlaag wat voor meer bindingscapaciteit in het zand zorgt;
 - 3 in de berekening is niet uitgegaan van de beschikbaarheid van andere fosfaatbindende stoffen in het zand zoals aluminium en calcium. Het zand bevat erg veel calcium. De binding tussen fosfor en calcium verloopt echter vrij complex (veel complexer dan de binding tussen ijzer en fosfor) en is daarom niet in de berekening meegenomen.
-

Op grond van dit onderzoek concluderen we dat een 20 cm dikke laag zand voldoende is om aflevering van fosfaat uit de zandlaag naar het oppervlaktewater te voorkomen. Hiermee wordt voldaan aan de gestelde eis. Het fosfaatbindend vermogen van het beschikbare zand is groter dan de hoeveelheid fosfaat die vrij komt uit de onderliggende kleilaag. De aflevering van fosfaat uit de bovenste 20 cm van de waterbodem zal hierdoor zeker tien jaar lang nihil zijn. De conclusies van dit onderzoek zijn voorgelegd aan de heer Fons Smolders, werkzaam bij onderzoekscentrum B-Ware en auteur van het bodemonderzoek Blaricummeent uit 2009 [ref. 3]. De heer Smolders onderschrijft de conclusies van dit onderzoek.

2 INLEIDING

In de nieuwe wijk Blaricummeent wordt een watergang gegraven. Aan de waterbodem zijn (onder andere) de volgende 2 eisen gesteld:

- R-146: De bodem van de ontgraving dient niet op te barsten;
- R-150: De eerste 0,20 meter van de waterbodem mag geen fosfaat afleveren.

De eisen zijn voor het deelgebied Stroom (eerste fase) reeds aangetoond. Voor deelgebied Delta (tweede fase) dient dit nog te gebeuren.

In [ref. 2] is op basis van een waterbodemonderzoek (uitgevoerd door B-Ware in 2009 [ref. 3]) de te verwachte P-aflevering gekwantificeerd. Uit de chemische samenstelling van de meeste bodemonsters blijkt dat aflevering van fosfaat nihil zal zijn. Enkele bodemonsters geven aanleiding om wel een geringe aflevering van fosfaat te verwachten. Omdat eis R-150 stelt dat de eerste 0,20 meter van de waterbodem geen fosfaat mag afleveren, zal een 20 cm dikke zandlaag aangebracht worden. Deze laag moet voorkomen dat er fosfaataflevering naar het oppervlaktewater optreedt. Zand bevat van nature weinig fosfaat en heeft, afhankelijk van het ijzergehalte, een bindende capaciteit voor fosfaat. Hierdoor kan een zandlaag voorkomen dat het fosfaat uit de onderliggende lagen vrijkomt in de watergang. Er is ophoogzand in het gebied beschikbaar.

Dit onderzoek richt zich op de vraag: aan welke chemische eigenschappen moet de zandlaag voldoen zodat geen aflevering van fosfaat (P) optreedt, en voldoet het beschikbare zand aan deze eis?

In hoofdstuk 3 is beschreven hoe deze vragen beantwoord zijn en welke uitgangspunten daarbij gehanteerd zijn. Hoofdstuk 3 presenteert de belangrijkste resultaten. In de bijlagen I, II, en III worden de uitgangspunten en resultaten in detail gegeven. De notitie sluit af met de beantwoording van de onderzoeksvraag (hoofdstuk 4) en tenslotte een overzicht van de gebruikte literatuur.

Oude meetgegevens, nieuwe relaties

Deze notitie bevat geen nieuwe meetgegevens: alle berekeningen zijn uitgevoerd op basis van de meetgegevens uit het waterbodemonderzoek uit 2009 [ref. 3]. Daarentegen zijn in deze notitie relaties gebruikt die in 2009 nog niet kwantitatief bekend waren [ref. 4]. Dit nieuwe inzicht is in deze notitie gebruikt om de potentiële fosfaatnalevering te berekenen.

3 UITGANGSPUNTEN

3.1 Samenstelling waterbodem gebied Delta

De stabiliteit van de waterbodem (eis R-146) is beschouwd in [ref. 1]. In het document wordt beschreven dat op een aantal locaties grondverbetering moet worden toegepast om opbarsten van de lichte, maar ondoorlatende veenlaag te voorkomen. Dit wordt uitgevoerd met gebiedseigen klei dat vrijkomt bij de ontgraving (uitgezonderd de bovenste kleilagen, omdat deze relatief veel fosfaat bevatten).

In een deel van het watersysteem (deelgebieden Noord en Oost) voldoet de stabiliteit van de waterbodem ook zonder grondverbetering [ref. 1]. Na ontgraving bestaat de toplaag van de bodem hier deels uit klei maar ook deels uit veen. De aanwezigheid van veen in de waterbodem is ongewenst [ref. 3], ook wanneer de waterbodem met zand wordt afgedekt. Een belangrijk risico is dat het veen gaat oxideren onder invloed van zuurstofrijk oppervlaktewater. Hierdoor breekt het veen af, met onder meer het vrijkomen van fosfor tot gevolg (mededeling F. Smolders, 15 februari 2018). Om deze zeer onwenselijke situatie uit te sluiten wordt in de deelgebieden Noord en Oost de veenlaag afgesloten met een minimaal 10 cm dikke kleilaag. In de praktijk zal dit gaan om ten minste 20 cm klei vanwege de verwerkbaarheid. Hiervoor wordt klei gebruikt dat vrijkomt bij ontgraving (uitgezonderd de bovenste kleilagen, omdat deze relatief veel fosfaat bevatten).

De toekomstige samenstelling van de kleilaag is gebaseerd op de bodemonsters die verzameld zijn in de kleilagen tussen een diepte van 70 en 130 cm (tabel 3.1). Deze kleilaag wordt gebruikt als afdekl laag. Klei op deze diepte bevat de minste fosfor. De ruimtelijke ligging van de gebruikte monsterpunten staat weergegeven in afbeelding 3.1.

Bovenop de kleilaag wordt overal een 20 cm dikke zandlaag aangebracht. Voor de samenstelling van het zand is uitgegaan van het ophoogzand dat op de projectlocatie aanwezig is en in het kader van het bodemonderzoek [ref. 3] bemonsterd is (tabel 3.1).

Tabel 3.1 Gebruikte monsters voor de samenstelling van de toekomstige kleilaag en het afdekzand [ref. 3]

Bodemlaag	Monstercode	Monsterdiepte
klei	16, 17, 18; D	70-90 cm
	16, 17, 18; E	110-130 cm
ophoogzand	19 tot en met 25	n.v.t.

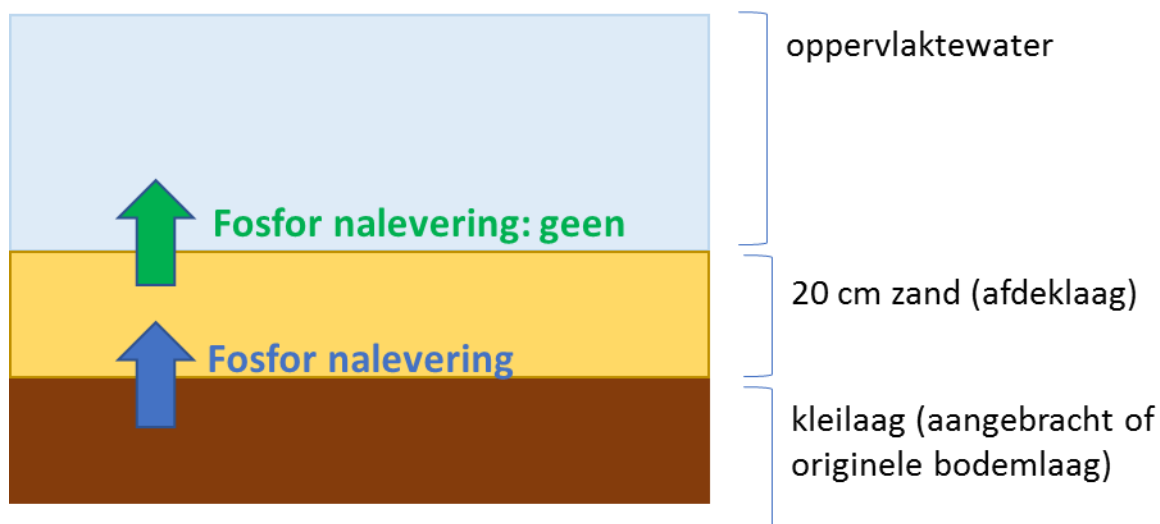
Afbeelding 3.1 Ligging van monsterpunten van de bodem in gebied Delta [ref. 3]. Geel: ondiepe monsterpunten (niet gebruikt in deze analyse. Groen: diepe monsterpunten (gebruikt in deze analyse)



3.2 Berekening fosfaataflevering

De zandlaag mag geen fosfaat afleveren naar het oppervlaktewater (groene pijl in afbeelding 3.2). Om te bepalen of dit redelijkerwijs verwacht mag worden is niet alleen de chemische samenstelling van het zand zelf van belang. De samenstelling van het zand staat namelijk onder invloed van de onderliggende kleilaag. Wanneer deze kleilaag fosfaat aflevert, zal dit in de zandlaag terecht komen (blauwe pijl in afbeelding 3.2). Hierdoor neemt het fosforgehalte in de zandlaag toe en daardoor ook de kans op aflevering. In dit onderzoek zijn daarom beide fluxen onderzocht. Eerst de fosforflux vanuit de kleilaag, daarna de flux vanuit de zandlaag.

Afbeelding 3.2 Illustratie van fosfaataflevering in de waterbodem. De bovenste 20 cm (de zandlaag) mag geen fosfaat afleveren naar het oppervlaktewater



3.2.1 Berekening nalevering uit de kleilaag

In deze stap is de nalevering berekend vanuit de kleilaag. Hierbij wordt dezelfde rekenwijze gehanteerd als in [ref. 2]. Dat wil zeggen dat de fosfaatalevering (in mg/m²/d) is berekend op basis van drie verschillende fosformetingen in de bodemonsters: P totaal DW (mg/kg), P totaal FW (mg/l) en Olsen-P (μmol/l). Zoals reeds geconstateerd in [ref. 2] geven de verschillende fosforparameters een verschillende uitkomst voor wat betreft de fosfaatalevering. In tabel 3.2 staan de meetwaarden voor alle drie de fosforparameters van alle monsters uit de kleilagen.

De rood gearceerde meetwaarden in tabel 3.2 zijn de hoogste voor de betreffende fosforparameter. De fosfaatalevering is berekend door de waarden uit tabel 3.2 in te vullen in de Quickscan BaggerNut, een instrument dat ontwikkeld is binnen het onderzoeksproject BaggerNut [ref. 4]. De gehanteerde invoergegevens staan in bijlage II. Bij de interpretatie van de resultaten is alleen de hoogst berekende fosfaatalevering gebruikt (risicobenadering).

Tabel 3.2 Meetwaarden van drie fosforparameters voor de kleilaag [ref. 3]. De hoogste waarde is steeds rood gearceerd.

Deelgebied	Monstercode	P-totaal DW (mg P/kg dw)	P-totaal FW (mg P/l bodem)	Olsen-P (μmol/l bodem)
cluster 3	16D	446	415	294
	16E	381	214	88
	17D	446	375	338
	17E	471	307	363
	18D	437	502	260
	18E	412	226	126
	gemiddelde	432	340	245

In bijlage I staat achtergrondinformatie bij de gevonden relaties tussen de samenstelling van de waterbodem en de fosfaatalevering. Deze relaties zijn afgeleid uit een groot landelijk onderzoek, BaggerNut genaamd, naar de rol van de waterbodem in de nutriëntenhuishouding van het oppervlaktewater [ref. 4]. Aan dit onderzoek hebben twaalf waterschappen en verschillende kennisinstellingen en adviesbureaus deelgenomen. Voor meer informatie verwijzen we naar de projectpagina op de website van de STOWA: http://www.stowa.nl/publicaties/publicaties/baggernut_maatregelen_baggen_en_nutrienten

3.2.2 Berekening nalevering uit de zandlaag

De zandlaag mag zelf geen fosfaat naleveren en moet daarnaast ook voldoende bindingscapaciteit hebben om de fosfaatflux vanuit de onderliggende kleilaag vast te leggen. De mate waarin de zandlaag deze naleveringsflux kan binden, is afhankelijk van het ijzer(Fe)-, zwavel(S)- en fosfor(P)gehalte in het zand. Uit het onderzoeksproject BaggerNut [ref. 4] blijkt dat de mate waarin een bodem fosfor kan vasthouden sterk afhankelijk is van de hoeveelheid Fe ten opzichte van S en P. De kans op fosfaatalevering is afhankelijk van de verhouding: (Fe - S)/P (uitgeschreven: ijzer minus zwavel gedeeld door fosfor, de eenheid van alle drie de variabelen is hetzelfde, namelijk mmol/kg ds, of mmol/l bodem). Bij een verhouding > 4 is de kans op fosfaatalevering nihil en heeft de bodem een goede bindingscapaciteit voor fosfor [ref. 4]. In bijlage I staat een nadere toelichting op deze relatie.

Deze analyse is opgebouwd uit de volgende stappen:

- 1 berekening van de verhouding (Fe - S)/P in het ophoogzand;
- 2 bepaling mate van fosfaatsnalevering vanuit het ophoogzand;
- 3 berekening effect van fosfaatsnalevering uit de kleilaag op het fosfor(P)gehalte in het zandlaag na 1 jaar en na 10 jaar. De periode van 10 jaar is hierbij gekozen als een redelijke termijn voor een onderhoudsloze periode;
- 4 bepaling gevolgen stap 3 voor de verhouding (Fe - S)/P in het ophoogzand en de kans op nalevering vanuit het ophoogzand (na 1 en 10 jaar).

Voor de analyse zijn de meetgegevens van het ophoogzand gebruikt; tabel 3.3 geeft een overzicht van de belangrijkste parameters.

Tabel 3.3 Meetwaarden van gehalte P, Fe en S (FW) in het aanwezige ophoogzand [ref. 3]

Bodem	Monstercode	Dichtheid (kg/l)	P-totaal FW (mg P/l bodem)	P-totaal FW (mmol P/l bodem)	Fe FW (mmol Fe/l bodem)	S FW (mmol S/l bodem)	(Fe-s)/P (molbasis)
Ophoogzand	19	1,15	140	4.5	61.5	10.0	11
	20	1,23	121	3.9	65.6	3.1	16
	21	1,3	112	3.6	65.3	3.4	17
	22	1,18	115	3.7	68.3	3.8	17
	23	1,27	130	4.2	76.8	4.6	17
	24	1,16	96	3.1	58.9	5.9	18
	25	1,2	158	5.1	75.4	2.8	14
	gemiddeld	1,2	124	4,0	67,4	4,8	16

4 FOSFAATNALEVERING EN EISEN AAN DE SAMENSTELLING VAN HET ZAND

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het uitgevoerde onderzoek gepresenteerd. Allereerst is gekeken naar de nalevering vanuit de kleilaag naar de zandlaag. Hierdoor kan het fosforgehalte in de zandlaag toenemen. Vervolgens is in hoofdstuk 4.2 gekeken of fosfaatsnalevering te verwachten is vanuit de zandlaag.

4.1 Fosfaatsnalevering uit de kleilaag

De potentiële fosfaatsnalevering vanuit de kleilaag bedraagt maximaal 10,8 mg P/m²/d. Deze nalevering is gebaseerd op het monster met het hoogste fosforgehalte; de gemiddelde nalevering op basis van alle monsters is met 6,8 mg P/m²/d aanzienlijk lager (bijlage II).

De maximale fosfaatsnalevering uit de kleilaag bedraagt per jaar 3,9 g fosfaat per vierkante meter. De 20 centimeter dikke afdeklaag van zand moet voldoende bindingscapaciteit hebben om deze fosfaatsnalevering vanuit de kleilaag vast te houden. Hieronder is berekend of de beschikbare zandlaag de juiste chemische eigenschappen heeft voor voldoende binding.

4.2 Fosfaatnalevering uit de zandlaag

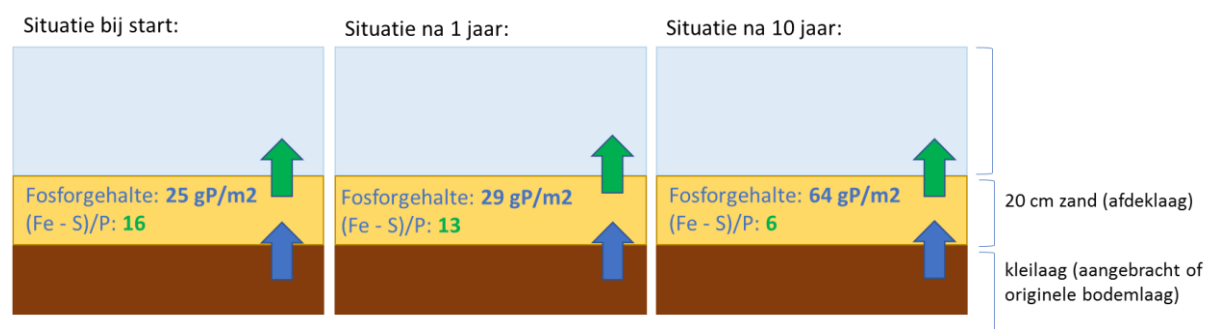
De resultaten van de gevolgde analyse zijn stap voor stap weergegeven in bijlage III. Hier geven we alleen de belangrijkste uitkomsten weer.

Op basis van het bodemonderzoek in 2009 is door B-Ware reeds geconstateerd dat het ophoogzand “zeer arm is aan fosfor” en dat “de afspoeling van fosfaat uit de zandlaag zelf uiterst gering zal zijn” [ref. 3]. Absoluut gezien bevat het ophoogzand niet veel ijzer; de klei- en veenlagen in dit gebied bevatten veel meer ijzer [ref. 3]. Er zit echter wel veel meer ijzer (Fe) dan zwavel (S) in het zand: ruim tien keer zoveel. Dit betekent dat er in overmaat ijzer beschikbaar is om fosfor te binden: de hoeveelheid ijzer min de hoeveelheid zwavel is in verhouding 16 keer zo hoog als het fosforgehalte (zie bijlage III). Bij deze verhouding is de kans op fosfaatnalevering vanuit de zandlaag naar het oppervlaktewater nihil.

Door de fosfaatnalevering vanuit de kleilaag naar de zandlaag neemt het fosforgehalte in de zandlaag toe met 3,9 g P/m²/jaar. Het bemonsterde ophoogzand zelf bevat gemiddeld 124 mg P per liter zand, omgerekend is dat 24,8 gram fosfor per vierkante meter (bij een 20 cm dikke zandlaag; linker plaatje in afbeelding 4.1). Door de fosfaatnalevering uit de onderliggende kleilaag neemt het fosforgehalte van de zandlaag na 1 jaar tijd toe tot 28,7 gP/m² (middelste plaatje) en na 10 jaar tijd tot 63,8 gP/m² (rechter plaatje in afbeelding 4.1). Hierdoor raakt het ijzer in de zandlaag langzaam verzadigd met fosfor.

De verhouding ‘ijzer minus zwavel’ : fosfor, ofwel (Fe - S)/P, neemt af tot 13 na 1 jaar en tot 6 na 10 jaar. Deze verhouding blijft dus boven de 4, wat betekent dat er na 10 jaar nog ijzer beschikbaar is voor fosforbinding en dat de kans op fosfaatnalevering vanuit de zandlaag naar het oppervlaktewater nihil is.

Afbeelding 4.1 Fosforgehalte (gP/m²), ratio (Fe-S)/P en fosfaatnalevering (groene pijl) vanuit de zandlaag direct na aanleg (links), na 1 jaar (midden) en na 10 jaar (rechts). De blauwe pijl illustreert de fosfaatnalevering uit de kleilaag. De bindingscapaciteit en de kans op fosfaatnalevering van de zandlaag is afhankelijk van de verhouding tussen ijzer (Fe), zwavel (S) en fosfor (P)¹. Het groene getal achter de ratio (Fe-S)/P en de groene pijl laten zien dat er op grond van deze ratio's binnen tien jaar geen fosfaatnalevering wordt verwacht uit de bovenste zandlaag van 20 cm naar het oppervlaktewater, omdat de ratio (Fe-S)/P groter blijft dan 4



1: Kans op fosfaatnalevering is als volgt afhankelijk van de verhouding (Fe - S)/P:

<1,4 : groot, >1,4&<4: matig, >4: nihil Bron: [ref. 4], [ref. 6], zie ook bijlage I.

Box 1: conservatieve inschatting fosfaatbindend vermogen van het zand

Voor de bepaling van het fosfaatbindend vermogen is er vanuit gegaan dat er 20 cm zand opgebracht wordt en dat vastlegging optreedt door het in het zand aanwezige ijzer. Er is hierbij uitgegaan van een worst case:

- 1 voor de berekende fosfaatnalevering vanuit de kleilaag naar de zandlaag is uitgegaan van het sample dat het meeste fosfaat afgeeft;
- 2 er is geen rekening gehouden met transport van ijzer vanuit de kleilaag naar de zandlaag wat voor meer bindingscapaciteit in het zand zorgt;
- 3 in de berekening is niet uitgegaan van de beschikbaarheid van andere fosfaatbindende stoffen in het zand zoals aluminium en calcium. Het zand bevat erg veel calcium. De binding tussen fosfor en calcium verloopt echter vrij complex (veel complexer dan de binding tussen ijzer en fosfor) en is daarom niet in de berekening meegenomen.

5 CONCLUSIE

In dit onderzoek is de volgende vraag onderzocht: aan welke chemische eigenschappen moet de zandlaag voldoen zodat geen nalevering van fosfaat (P) optreedt, en voldoet het beschikbare zand aan deze eis?

De fosfaattnalevering vanuit de kleilaag bedraagt in het meest extreme geval 4 g fosfaat (P) per vierkante meter per jaar. De zandlaag zelf bevat 25 g fosfor per vierkante meter en door de nalevering vanuit de kleilaag neemt dit gehalte per jaar maximaal toe met 4 g. Het zand heeft een grote bindingscapaciteit voor fosfor (in deze studie is daarbij alleen maar naar ijzer gekeken, de daadwerkelijke bindingscapaciteit is groter doordat het zand ook calcium en aluminium bevat). De bindingscapaciteit van het ophoogzand is ruim voldoende om fosfaattnalevering in de komende 10 jaar te voorkomen.

Gezien het zeer lage fosforgehalte en de voldoende bindingscapaciteit van de zandlaag is het niet nodig om aanvullende proeven te doen om de nalevering vanuit de zandlaag nader te kwantificeren. Dit wordt onderschreven door de heer hr. Smolders, auteur van [ref. 3] (mededeling F. Smolders, 19 februari 2018). Ook is het, gezien het voldoende fosforbindend vermogen van het aanwezige ophoogzand gedurende een periode van minimaal 10 jaar, volstrekt overbodig om extra fosforbindend materiaal aan de zandlaag toe te voegen.

Tenslotte wordt nogmaals benadrukt dat in deze analyse op meerdere aspecten is uitgegaan van een risicobenadering. De nalevering uit de kleilagen zal gemiddeld gezien lager zijn dan in deze analyse is aangenomen en het fosforbindend vermogen van de zandlaag zal hoger zijn dan in deze analyse is aangenomen. Dit heeft als gevolg dat het fosforbindend vermogen van de zandlaag in praktijk nog minder snel zal afnemen dan in deze notitie is berekend.

6 LITERATUUR

- 1 Witteveen+Bos, Stabiliteit waterbodembodem (Delta), Definitief d.d. 25 september 2017, referentie BRC18-12/17-013.536.
- 2 Witteveen+Bos, Rol van de waterbodembodem, Concept 01 d.d. 18 maart 2017, referentie BRC18-12/17-004.138.
- 3 B-WARE, Bodemonderzoek Blaricummeent, concept d.d. september 2009, Rapportnummer 2009.39
- 4 STOWA 2012. Overkoepelend rapport. BaggerNut, maatregelen baggeren én nutriënten. STOWA 2012-40.
- 5 DHV B.V. Blaricummeent - Uitwerking masterplan Stroom & Delta. Geotechnische uitgangspunten. Definitief oktober 2006. In opdracht van Gemeente Blaricum. Dossier: A0719-01-005. Registratienummer WG-SE20061092. Versie: 2.
- 6 QuickScan versie 1.02. Online beschikbaar via:
https://www.google.com/url?q=http://watermozaiek.stowa.nl/upload/publicaties/QuickScan%2520v1%252002.xls&sa=U&ved=0ahUKEwiWsNjyKdZAhVEKuwKHaMPDT4QFggQMAU&client=internal-uds-cse&cx=016906118344023536621:cjex6qoyo9o&usg=AOvVaw1C0_VCzpM-IQTMjkLVSvA1

I

BIJLAGE: RELATIES TUSSEN CHEMISCHE SAMENSTELLING WATERBODEM EN FOSFAATNALEVERING

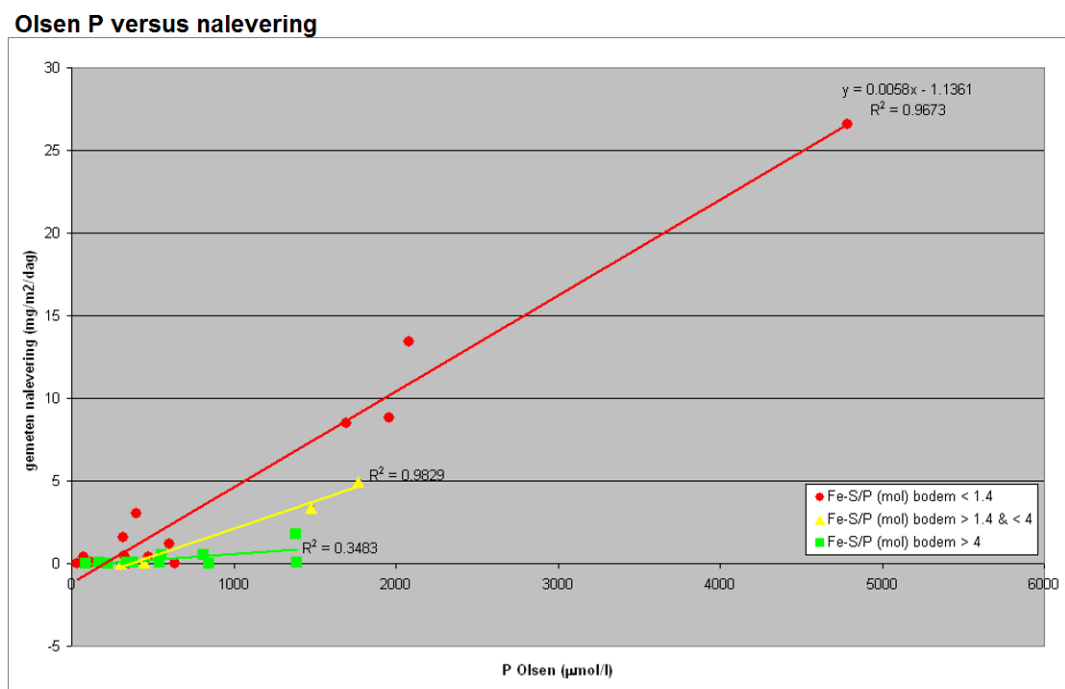
De getoonde relaties in de afbeeldingen I.1, I.2 en I.3 zijn gebaseerd op verzamelde data in het project BaggerNut [ref. 4]. Dit betreft relaties tussen de bepaalde chemische eigenschappen in de waterbodem en de gemeten chemische fosfaataflevering. Op basis van deze relaties kan op basis van meetgegevens de potentiële chemische aflevering berekend worden. Hierbij worden de volgende opmerkingen geplaatst [ref. 6]:

- 1 de actuele aflevering (wat er vrij komt op het tijdstip van bemonsteren) kan het best worden ingeschat op basis van metingen aan totaalgehalten van P, Fe en S in het porievocht van de toplaag van de waterbodem. Het beste seizoen hiervoor is de zomer, wanneer de temperatuur is opgelopen en afleveringsprocessen op gang zijn gekomen (juni-september);
- 2 de aflevering kan eveneens worden ingeschat op basis van de totaalgehalten (destructie) van P, Fe en S in de bodem. Deze getallen geven echter eerder een inschatting van de potentiële aflevering (wat er vrij kan komen). Daarbij spelen ijzer en zwavel een belangrijke rol. De beste relaties zijn gevonden met totaalgehalten van P, Fe en S in verse bodem (in mg/l natgewicht). Echter ook gegevens van P, Fe en S gehalten in droge stof zijn bruikbaar;
- 3 om een inschatting te maken van de aflevering van de onderliggende bodemlaag, bijvoorbeeld om de aflevering na baggeren te bepalen, kan het best een Olsen-P extractie worden uitgevoerd.

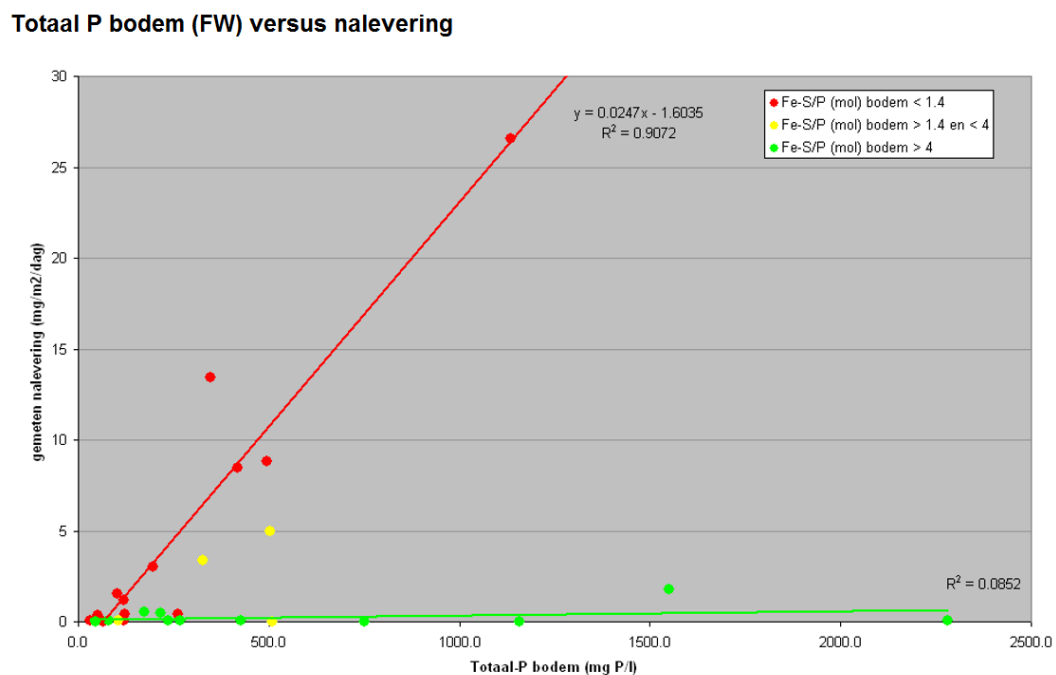
De berekening van de fosfaataflevering uit de (toekomstige) waterbodem van Delta betreft diepere bodemlagen die nu nog geen waterbodem zijn. De berekening van de fosfaataflevering op basis van porievochtconcentraties in de toplaag van de waterbodem (nr. 1) is daarom niet bruikbaar. De berekening kan wel gebeuren op basis van totaalgehalten P, Fe en S in de bodem (nr. 2 in mg/l FW en/of mg/kg DW), maar wordt bij voorkeur gebaseerd op basis van de Olsen-P gehalten (nr. 3). De berekende fosfaataflevering geeft in beide gevallen de potentiële chemische aflevering.

In deze notitie is als risicobenadering de aflevering berekend op basis van deze laatste twee rekenwijzen (nummers 2 en 3) en is de hoogst berekende potentiële chemische aflevering gebruikt in de verdere analyse. Zie bijlage II en III voor gehanteerde invoerparameters en resultaten uit de Quicksan.

Afbeelding I.1 Gemeten fosfaatnalevering (mg P/m²/d) afhankelijk van de concentratie P-Olsen (μmol/l)

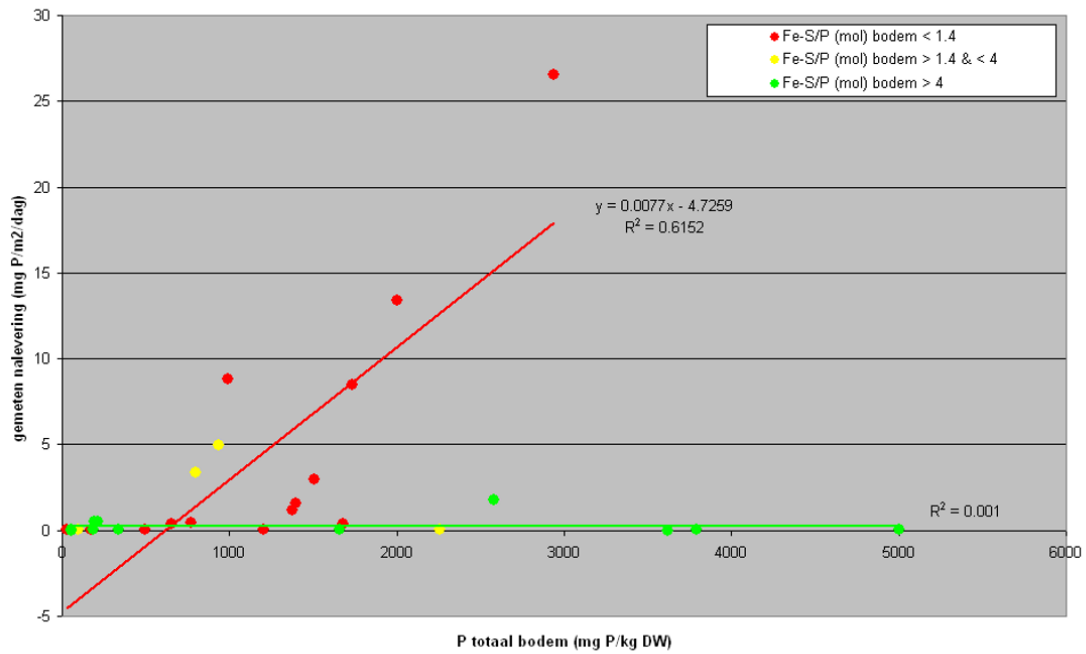


Afbeelding I.2 Gemeten fosfaatnalevering (mg P/m²/d) afhankelijk van de het gehalte totaal-P (mg P/l)



Afbeelding I.3 Gemeten fosfaataflevering (mg P/m²/d) afhankelijk van het gehalte totaal-P (mg P/kg DW)

Totaal P bodem (DW) versus nalevering



II

BIJLAGE: INVOERGEGEVENS QUICKSCAN VOOR BEPALING FOSFAATNALEVERING

Invoergegevens in de quickscan [ref. 6] voor bepaling van potentiële chemische fosfaatsnalevering uit de kleilaag (afbeelding II.1). De Quickscan geeft als resultaat de schatting van de fosfaatsnalevering in mg P/m²/d bij een watertemperatuur van 15°C wat als een jaargemiddelde situatie beschouwd kan worden.

De fosfaatsnalevering uit de waterbodem is naast het fosforgehalte sterk afhankelijk van het ijzer- en zwavelgehalte. Hoe meer ijzer de bodem bevat ten opzichte van zwavel, des te groter is de bindingscapaciteit van de bodem voor fosfaat. Echter, onder zuurstofloze omstandigheden neemt de bindingssterke van fosfaat aan ijzer af. Daardoor kan een zuurstofloze bodem toch fosfaat gaan naleveren, ook als de bodem veel ijzer bevat. Daarom is als risicobenadering uitgegaan dat de kleilaag geen ijzer bevat en daardoor een groot naleveringsrisico heeft. De mate van fosfaatsnalevering is dan puur afhankelijk van de meetwaarde van de fosforparameter. Deze risicobenadering is niet onrealistisch: de kleilaag waarvoor deze berekeningen zijn uitgevoerd wordt afgedekt met zand waardoor (periodieke) zuurstofloze omstandigheden zeker niet zijn uit te sluiten. In de invoer in de Quickscan is het ijzer- en zwavelgehalte op nul gezet (afbeelding II.1).

Afbeelding II.1 Invoergegevens kleilaag (rood: hoogst berekende fosfaatsnalevering per parameter)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	N	O
1	Berekenen	Totaal bodem op basis versgewicht				Totaal bodem op basis drooggewicht				Bodemextractie	
2	parameter	P totaal	Fe	S	resultaat	P totaal	Fe	S	resultaat	Olsen P	resultaat
3	eenheid	mg/l (FW)	mg/l (FW)	mg/l (FW)	mg/m ² /d	mg/kg (DW)	mg/kg (DW)	mg/kg (DW)	mg/m ² /d	umol/l (FW)	mg/m ² /d
4	monster										
5	16D	415.4	0	0	8.7	446.4	0	0	0.0	294	0.6
6	16E	213.9	0	0	3.7	381.3	0	0	0.0	88	0.0
7	17D	375.1	0	0	7.7	446.4	0	0	0.0	338	0.8
8	17E	306.9	0	0	6.0	471.2	0	0	0.0	363	1.0
9	18D	502.2	0	0	10.8	437.1	0	0	0.0	260	0.4
10	18E	226.3	0	0	4.0	412.3	0	0	0.0	126	0.0

Onderstaande tabel geeft een samenvatting van de uitkomsten uit de Quickscan per rekenwijze. Op basis van het fosforgehalte per liter verse bodem (FW) wordt de hoogste nalevering berekend van 10,8 mg P/m²/d. Op basis van het fosforgehalte per liter droge bodem (DW) wordt geen nalevering verwacht. Op basis van de Olsen-P concentratie wordt ten hoogste 1,0 mg P/m²/d verwacht.

Tabel I.1 Maximaal berekende fosfaatsnalevering in mg P/m²/d bij verschillende fosforparameters

Bodem	P-totaal FW (mg P/l bodem)	P-totaal op basis van DW	Olsen-P (umol/l bodem)
kleilaag	10,8	0,0	1,0

III

BIJLAGE: REKENWIJZE BINDINGSCAPACITEIT ZANDLAAG

Deze analyse is opgebouwd uit vier stappen (toelicht in hoofdstuk 3.2.2).

Stap 1: berekening van de verhouding (Fe - S)/P in het ophoogzand

De verhouding in het ophoogzand bedraagt gemiddeld 16 (tabel 3.3, achterste kolom). Dit betekent dat er zeer veel ijzer beschikbaar is om fosfor te binden. De kans op nalevering is daarom nihil.

Tabel III.1 Meetwaarden van gehalte P, Fe en S (FW) in het aanwezige ophoogzand [ref. 3]

Bodem	monstercode	dichtheid (kg/l)	P-totaal FW (mg P/l bodem)	P-totaal FW (mmol P/l bodem)	Fe FW (mmol Fe/l bodem)	S FW (mmol S/l bodem)	(Fe-s)/P (molbasis)
Ophoogzand	19	1,15	140	4.5	61.5	10.0	11
	20	1,23	121	3.9	65.6	3.1	16
	21	1,3	112	3.6	65.3	3.4	17
	22	1,18	115	3.7	68.3	3.8	17
	23	1,27	130	4.2	76.8	4.6	17
	24	1,16	96	3.1	58.9	5.9	18
	25	1,2	158	5.1	75.4	2.8	14
	gemiddeld	1,2	124	4,0	67,4	4,8	16

Stap 2: bepaling mate van fosfaatsnalevering vanuit het ophoogzand

De fosfaatsnalevering is berekend door de meetwaarden voor fosfor, ijzer en zwavel in te vullen in de quickscan (afbeelding III.1). Hieruit blijkt dat de nalevering nihil is.

Afbeelding III.1 Invoer ophoogzand

	Berekenen	Totaal bodem op basis versgewicht					Totaal bodem op basis drooggewicht					Bodemextractie		
	parameter	P totaal	Fe	S	resultaat	P totaal	Fe	S	resultaat	Olsen P	resultaat			
	eenheid	mg/l (FW)	mg/l (FW)	mg/l (FW)	mg/m2/d	mg/kg (DW)	mg/kg (DW)	mg/kg (DW)	mg/m2/d	umol/l (FW)	mg/m2/d			
	monster													
	19	139.5	3436	321	0 – 1	120.9	2988	279.27	0 – 1		88	0.0		
	20	120.9	3661	99	0 – 1	99.2	2977	80.25	0 – 1		62	0.0		
	21	111.6	3645	108	0 – 1	86.8	2804	83.46	0 – 1		15	0.0		
	22	114.7	3816	121	0 – 1	99.2	3234	102.72	0 – 1		13	0.0		
0	23	130.2	4291	147	0 – 1	102.3	3379	115.56	0 – 1		112	0.0		
1	24	96.1	3291	190	0 – 1	80.6	2837	163.71	0 – 1		57	0.0		
2	25	158.1	4209	89	0 – 1	130.2	3507	73.83	0 – 1		52	0.0		

Stap 3: berekening effect van fosfaatsnalevering uit de kleilaag op fosfor(P)gehalte in het zandlaag na 1 jaar en na 10 jaar

Bij een zandlaag van 20 cm dikte ligt er per vierkante meter 200 liter zand. Deze hoeveelheid zand moet voldoende bindingscapaciteit hebben om de nalevering uit de onderliggende bodem op te vangen. Die hoeveelheid is gekwantificeerd op ten hoogste 10,8 mg P/m²/d oftewel 3,9 g P/m²/jaar. Verdeeld over 200 liter zand is dat een toename van 19,7 mg P per jaar.

Stap 4: bepaling gevolgen voor de verhouding (Fe - S)/P en kans op nalevering (na 1 en 10 jaar)

Ondanks de toename van het fosforgehalte in de zandlaag door fosfaatsnalevering vanuit de kleilaag, blijft de kans op nalevering vanuit de zandlaag nihil. De verhouding (Fe - S)/P blijft boven de 4, zelf na een periode van 10 jaar. Zolang het oppervlaktewater van goede kwaliteit is en dus geen langdurige zuurstofloosheid nabij de waterbodem ontstaat, zal het aanwezige ijzer in staat zijn het fosfaat vast te houden.

Tabel 6.2 Deze tabel geeft de belangrijkste resultaten van dit onderzoek weer, waarbij het risico op fosfaatsnalevering op basis van relaties uit een groot landelijk onderzoek [ref .4] voor verschillende scenario's is bepaald

eenheid	Gemiddeld P-gehalte in ophoogzand in beginsituatie	Toename P-gehalte in ophoogzand door nalevering uit onderliggende kleilaag	Risico P-nalevering ophoogzand in beginsituatie	Risico P-nalevering ophoogzand na 1 jaar nalevering	Risico P-nalevering ophoogzand na 10 jaar nalevering
	mg P/l zand	mg P/l zand/jaar	(Fe - S)/P: <1,4 : groot >1,4&<4: matig ≥4 : nihil	(Fe - S)/P: <1,4 : groot >1,4&<4: matig ≥4 : nihil	(Fe - S)/P: <1,4 : groot >1,4&<4: matig ≥4 : nihil
ophoogzand	124	+19,7	16	13	6

Toelichting: Het risico op fosfaatsnalevering vanuit de 20 cm ophoogzand is afhankelijk van de gehalten fosfor (P), zwavel (S) en ijzer (Fe). Door nalevering vanuit de onderliggende waterbodem neemt het fosforgehalte in de zandlaag toe met 19,7 mg P/liter zand/jaar. Hierdoor verandert de verhouding tussen Fe, S en P in het zand. Deze verhouding blijft echter in alle gevallen gunstig; de kans op fosfaatsnalevering is zelfs na 10 jaar nog nihil.