

**De bijdrage van de waterbodem
aan de eutrofiëring in het
Volkerak Zoommeer**



**De bijdrage van de waterbodem aan
de eutrofiëring in het Volkerak
Zoommeer**

Leonard Osté

1204555-000

Titel

De bijdrage van de waterbodem aan de eutrofiëring in het Volkerak Zoommeer

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat Waterdienst 1204555-000

Project

Kenmerk

1204555-000-ZWS-0010

Pagina's

58

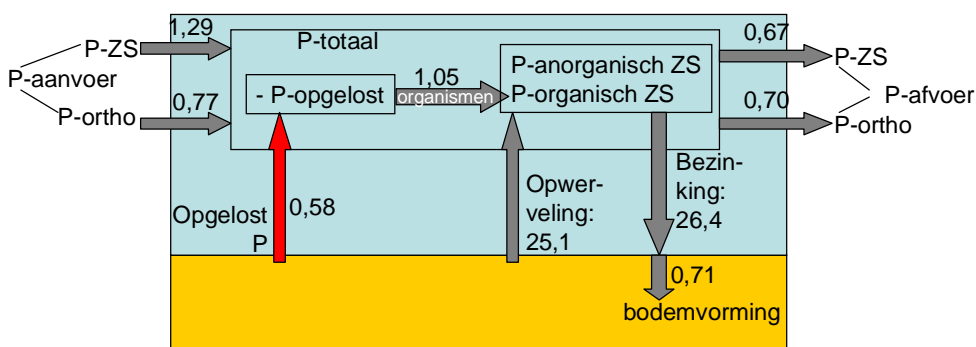
Trefwoorden

Interne eutrofiëring, interne belasting, waterbodem, sediment, fosfaat, Volkerak-Zoommeer.

Samenvatting

Sinds het midden van de jaren negentig veroorzaakt de slechte zoetwaterkwaliteit van het Volkerak-Zoommeer grote problemen door jaarlijks optredende explosieve groei van blauwalgen (Microcystis). In 2010 is een balansstudie Volkerak-Zoommeer uitgevoerd (De Vries, 2011). Daarin is geconstateerd dat de waterkwaliteit in het VZM de laatste jaren verbeterd is. De hypothese is dat de lagere algenconcentraties veroorzaakt worden door reductie van externe fosfaatbelasting gecombineerd met 'grascontrole' door mosselen en versterkt door de vastlegging van fosfaat in de bodem.

Dit rapport beantwoordt de vraag over de bijdrage van de waterbodem aan de eutrofiëring. Hiervoor zijn metingen in sediment en in poriewater uitgevoerd in april, juni en oktober 2011. De waterbodem van het Volkerak-Zoommeer bevat P-gehalten, die variëren van ongeveer 0,4 g/kg op zandige locaties tot ca. 1,8 g/kg op slibrijke locaties. Poriewaterconcentraties vertonen een seizoenseffect met lage concentraties in maart (ca. 0,5 mg/l) en hogere concentraties in juni en oktober (ca. 4 mg/l). Op basis van de poriewatermetingen is een fosfaatflux van bodem naar oppervlaktewater berekend. Behalve de bodemflux zijn ook de andere interne processen in beeld gebracht, zoals opnamen van fosfaat door algen en bezinking van dode algen naar de bodem. Onderstaande figuur geeft een overzicht van alle fluxen, zoals bepaald in dit project.



Op basis van de meetresultaten in dit onderzoek is bepaald dat de bodem van het Volkerak-Zoommeer jaarlijks gemiddeld 0,6 g P/m²/jaar nalevert, waarvan. De flux in tijd (80% in het zomerhalfjaar) en in ruimte (een hogere flux uit de (diepere) sliblagen en een lagere flux uit de (ondiepere) zandige bodems). In de figuur is ook te zien dat opwerveling en bezinking de grootste posten zijn. Dat is op zich zelf niet erg. Het gaat grotendeels om zwevende stofgebonden fosfaat, dat opwervelt en bezinkt, maar geen effect heeft op het systeem. Uiteindelijk is er elk jaar een netto accumulatie in de bodem van 0,71 g/m².

Het Volkerak-Zoommeer kent een externe belasting van ortho-P is 0,8 g/m²/jaar en een (bruto) interne belasting van 0,6 g/m²/jaar. Hoewel er nauwelijks criteria zijn voor de verhouding tussen interne en externe belasting, lijkt de interne belasting in dit systeem niet erg hoog ten opzichte van de externe belasting. Dit wordt ondersteund door indicatoren zoals

Titel

De bijdrage van de waterbodem aan de
eutrofiëring in het Volkerak Zoommeer

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat Waterdienst

Project

1204555-000

Kenmerk

1204555-000-ZWS-0008






Pagina's

58

de Ijzer/fosfaat-verhouding in sediment en poriewater. De bodem bevindt zich rondom gestelde criteria die de grens tussen eutrofe en niet-eutrofe bodems weergeven.

Referenties

Osté, L.A., 2012. De bijdrage van de waterbodem aan de eutrofiëring in het Volkerak Zoommeer. Deltares-rapport 1204555.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedgekeuring	Paraaf
2	april 2012	Leonard Osté		Arjan Wijdeveld		Harm Duel	
3	april 2012	Leonard Osté		Arjan Wijdeveld		Harm Duel	

Status

definitief

Inhoud

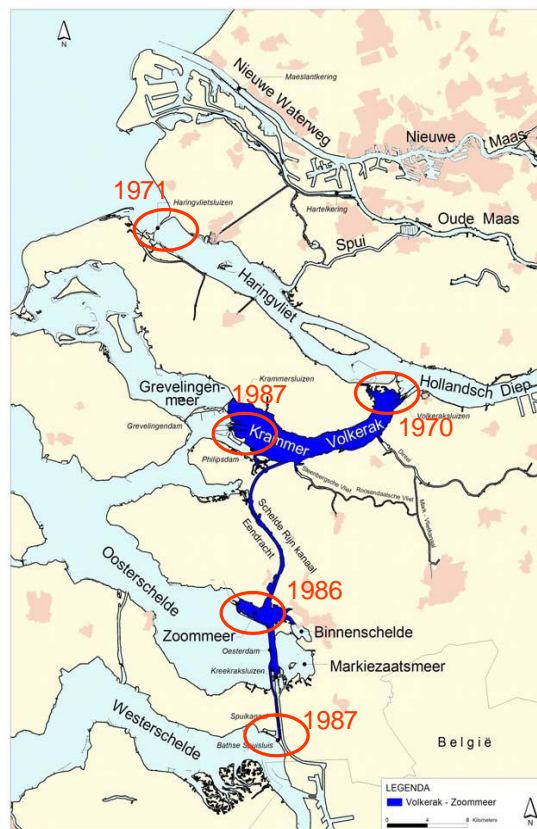
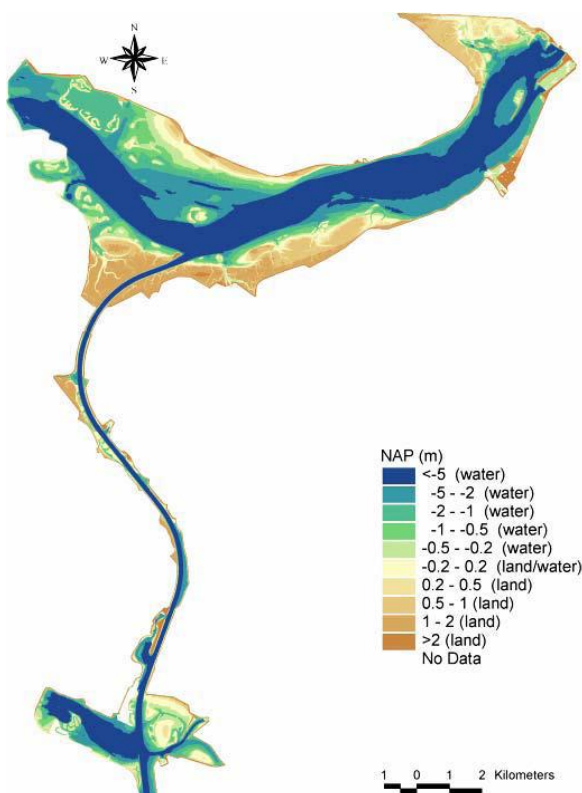
1	Inleiding	1
1.1	Gebiedsbeschrijving	1
1.2	Aanleiding	2
1.3	Probleemstelling	2
2	Waterbodems en eutrofiëring, een complexe relatie	5
2.1	Conceptuele benadering	5
2.2	Indicatoren voor eutrofe waterbodems	6
2.2.1	Onderzoek naar indicatoren	6
2.2.2	Indicatoren	6
2.2.3	KRW-Innovatieproject BaggerNut	7
3	Waterkwaliteit en Waterbodemkwaliteit in het VZM	9
3.1	Waterkwaliteit	9
3.1.1	Nutriënten en chlorofyl	9
3.1.2	Zwevende stof	11
3.1.3	Zuurstof en temperatuur dichtbij de bodem	12
3.2	De waterbodemkwaliteit van het Volkerak-Zoommeer	13
3.2.1	Historische gegevens tot en met 2009	13
3.2.2	Historische gegevens 2010	15
3.2.3	Zwevende stofkwaliteit	16
4	Materiaal en methoden van het toplaagonderzoek	19
4.1	Bemonstering van de waterbodem	19
4.1.1	Bemonstering	19
4.2	Analyses van sediment en poriewater	21
4.2.1	Analyses RWS Waterdienst	21
4.2.2	BaggerNut-pakket	21
4.2.3	Ammoniumoxalaat/oxaalzuur extractie (pH 4)	22
4.2.4	P-fractionering	22
4.3	Mineraalprobes	22
5	Resultaten	25
5.1	Resultaten van de bemonstering	25
5.2	Totaalgehalten in toplaag van de waterbodem van het VZM in 2011	26
5.2.1	Oriëntatie op 24 maart 2011	26
5.2.2	Locaties geanalyseerd op 3 tijdstippen in 2011	27
5.2.3	Metingen door B-ware op basis van de bemonstering op 14 juni 2011	29
5.3	Poriewaterconcentraties in de toplaag van de waterbodem van het VZM in 2011	31
5.3.1	Oriëntatie op 24 maart 2011	31
5.3.2	Locaties geanalyseerd op 3 tijdstippen in 2011	32
5.3.3	Metingen door B-ware op basis van de bemonstering op 14 juni 2011	33
5.4	Aanvullende analyses door B-ware	34
5.4.1	Extractie uitgevoerd met 0,2 M NaCl	35
5.4.2	De oxalaat/oxaalzuur-extractie	35
5.4.3	De P-fractionering	36
5.5	Mineraalprobes	37

6 Interpretatie van de resultaten en discussie	39
6.1 Geografische karakterisering van de bodem in het Volkerak-Zoommeer	39
6.2 Fluxberekening per meetpunt	39
6.3 Schatting van de (bruto) interne eutrofiëring in het Volkerak-Zoommeer	42
6.4 Interpretatie van de naleveringsflux	43
6.5 Vergelijking met studie van de Universiteit Utrecht (UU)	46
6.6 Overige discussiepunten	46
7 Conclusies en aanbevelingen	49
7.1 Conclusies	49
7.2 Aanbevelingen	50
8 Referenties	51
 Bijlage(n)	
A Informatie analysemethoden B-Ware	A-1
B Algemene kenmerken van het sediment in het VZM	B-1
C Resultaten van de totaalbepalingen in het sediment van het VZM	C-1
D Resultaten van de poriewaterconcentraties in het sediment van het VZM	D-1
E Resultaten B-Ware	E-1
F Bijlage F: berekeningen voor detritusvorming	F-1

1 Inleiding

1.1 Gebiedsbeschrijving

Het Volkerak-Zoommeer is in 1987 ontstaan door het sluiten van de Philipsdam, waardoor de scheiding van de Oosterschelde een feit was (Figuur 1.1). Na de afsluiting is het meer in hoog tempo doorgespoeld met water uit het Hollandsch Diep, waardoor na ongeveer een jaar een stagnant zoet meer is ontstaan. Het Volkerakmeer is door een kanaal, De Eendracht, verbonden met het Zoommeer. Het oppervlak van het Volkerakmeer is 6.305 ha waarvan 1.775 ha drooggevalen grond. Een deel van de diepe delen is ontstaan door zandwinning na de afsluiting, waarbij het zand gebruikt is voor de herinrichting van het gebied. Het Volkerak heeft een gemiddelde diepte van 5 m en een volume van 304.344.000 m³. Ongeveer 20% van het meer is minder diep dan 1 m, 40% is dieper dan 5 m (Arcadis, 2009). De Eendracht en het Zoommeer hebben een gezamenlijk oppervlak van 1.800 ha



Figuur 1.1 Het Volkerak-Zoommeer

inclusief 220 ha drooggevalen grond. Wateraanvoer vindt voornamelijk plaats via de Brabantse rivieren (Dintel en Steenbergse Vliet) en vanuit het Hollandsch Diep (Volkeraksluizen). Het systeem watert behalve naar de Westerschelde (Bathse spuiskanaal) ook af via de Krammersluizen (naar de Oosterschelde).

Het Volkerak-Zoommeer vormt een belangrijke hoofdtransportas voor de beroepsvaart (Schelde-Rijnverbinding). De landbouw benut het meer voor zoetwateronttrekking. Overige gebruiksfuncties zijn visserij en recreatie. Een deel is natuurgebied (Kouer en Griffioen, 2003). Voor de Kaderrichtlijn Water worden het Krammer-Volkerak, Zoommeer en het Bathse Spuikanaal als aparte waterlichamen beschouwd, met de identieke status M20, matig groot, diep gebufferd meer.

1.2 Aanleiding

Sinds het midden van de jaren negentig veroorzaakt de slechte zoetwaterkwaliteit van het Volkerak-Zoommeer grote problemen door jaarlijks optredende explosieve groei van blauwalgen (*Microcystis*). Rijkswaterstaat Zeeland heeft als waterbeheerder allerlei maatregelen tegen de blauwalgen genomen. Deze hebben er niet toe geleid dat het blauwalgenprobleem is verminderd. Daarom is Rijkswaterstaat in 2002 gestart met een integrale verkenning naar structurele oplossingen voor het waterkwaliteitsprobleem. Daaruit kwam naar voren dat de maatregelen om de overlast tegen te gaan zodanig ingrijpend zouden zijn dat een MER-traject is gestart. Voor meer informatie zie: <http://www.volkerakzoommeer.nl/>

Er ligt inmiddels een ontwerp-MER, maar het in procedure brengen van het milieueffectrapport (MER) wordt uitgesteld in afwachting van het resultaat van integrale besluitvorming medio 2012 over de toekomst van het Volkerak-Zoommeer en het Grevelingenmeer. In 2011 zijn aanvullende activiteiten uitgevoerd die moeten zorgen voor de benodigde informatie om een integraal besluit te kunnen nemen.

Ter onderbouwing van de Projectnota is in 2010 een balansstudie Volkerak-Zoommeer uitgevoerd (De Vries, 2011). Daarin is geconstateerd dat de waterkwaliteit in het VZM de laatste jaren verbeterd is. Deze verbetering is waarschijnlijk in gang is gezet door de afgenomen fosfaatvrachten vanuit Brabant, maar de lagere externe fosfaatbelasting kan de verbetering slechts ten dele verklaren. De lage algengehaltes, en daardoor de toenemende helderheid worden waarschijnlijk vooral veroorzaakt door 'graascontrole' door mosselen (de beperkte reguliere biologische monitoring in het VZM duidt op een forse toename van de quagga-mossel, een exoot). En deze gunstige toestand wordt in stand gehouden en versterkt door een interne systeemrespons van vastlegging van fosfaat in de bodem, waardoor de interne fosfaatbelasting en daarmee het fosfaatgehalte verder afneemt.

De twee aannames waar deze conclusie op is gebaseerd, namelijk (progressieve) vastlegging van fosfaat in de bodem en graascontrole door driehoeksmosselen, kunnen niet aan veldwaarnemingen worden getoetst omdat de daarvoor noodzakelijke gegevens ontbreken. Vooralsnog is er dus sprake van een hypothese.

Nader onderzoek en systeemmonitoring naar (1) fosfaatspeciatie in de waterbodem en (2) de aanwezigheid van driehoeksmosselen zijn nodig om de hypothese te toetsen en om vervolgens een toekomstverwachting te kunnen formuleren.

1.3 Probleemstelling

Uit de studie van De Vries (2011) kwamen twee specifieke vragen naar voren over de waterbodem, die in een overleg met externe deskundigen eveneens als relevant zijn bestempeld:

- 1 Wat is (door het jaar heen) de actuele P-nalevering van en P-opname door waterbodem?
- 2 Is er irreversibele opslag in de waterbodem met name door vorming van fosfaatmineralen (Ca/Fe-fosfaten) of evt. andere opslag van deeltjes met hoge P-concentraties?

Deze twee vragen zijn in twee onderzoeken uitgezet. Dit rapport gaat vooral in op vraag 1 op basis van sedimentanalyses. Daarnaast is met behulp van slijpplaatjes van fosfaatmineralen getracht om een antwoord op vraag 2 te geven. Dit onderdeel had methodiekontwikkeling als eerste doel en is uitgevoerd in het kader van het Strategisch onderzoeksprogramma van Deltares.

De Universiteit van Utrecht (Sulu-Gambari en Slomp, 2012) heeft in een aparte studie uitgebreider onderzoek gedaan naar vraag 2. Hiervoor is een aparte veldwerkcampagne uitgevoerd in combinatie met onderzoek in het Grevelingenmeer. Tussen Deltares en de UU is vooraf afgestemd, vooral ten aanzien van locaties, beschikbare informatie en geplande veldwerkzaamheden en tevens is op 14 juni 2011 gezamenlijk veldwerk uitgevoerd.

Voor het kwantificeren van de actuele nalevering in het Volkerak-Zoommeer is aangesloten bij het KRW-innovatieproject BaggerNut, waarin de nalevering van P wordt onderzocht door op 24 locaties in regionale wateren een pakket metingen uit te voeren. In dit project zijn dezelfde metingen uitgevoerd als voor BaggerNut. Dat maakt de verzamelde metingen in het Volkerak-Zoommeer in groter verband geïnterpreteerd kunnen worden.

Leeswijzer

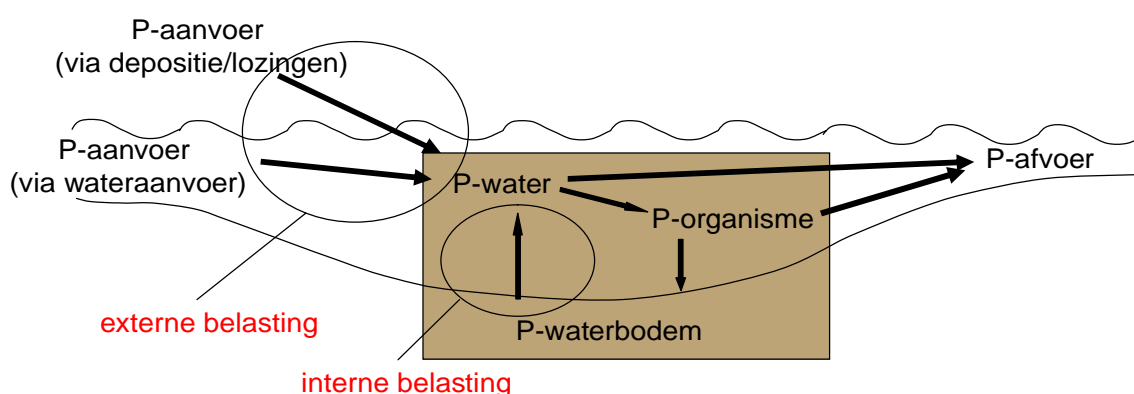
Na een korte introductie in paragraaf 1.1, wordt de bijdrage van de waterbodem aan de waterkwaliteit nader uitgelegd in hoofdstuk 2 en wordt in dat hoofdstuk ook nader ingegaan op de manier hoe de rol van de waterbodem gekwantificeerd kan worden. De water- en sedimentkwaliteit van het Volkerak-Zoommeer worden beschreven in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 volgt de beschrijving van het waterbodemonderzoek zoals dat in 2011 is uitgevoerd. Hierbij zal ook kort worden ingegaan op de relatie met het onderzoek van de Universiteit Utrecht. Hoofdstuk 5 beschrijft de resultaten van het waterbodemonderzoek. Interpretatie en discussie volgen in hoofdstuk 6 en hoofdstuk 7 sluit af met conclusies en aanbevelingen.

2 Waterbodems en eutrofiëring, een complexe relatie

2.1 Conceptuele benadering

De aanwezigheid van nutriënten speelt een belangrijke rol in de ecologie van oppervlaktewateren. In het Volkerak-Zoommeer is er, zoals op veel plaatsen in Nederland, sprake van een te veel aan nutriënten, waardoor o.m. overmatige algenbloei kan ontstaan. De nutriëntenconcentraties worden bepaald door de aanvoer van buiten het systeem (externe belasting) en door de interne processen. Het vastleggen van nutriënten in de waterbodem en vrijkomen vanuit de waterbodem hoort bij deze interne processen evenals de kringloop in organismen (algen, waterplanten vissen).

Figuur 2.1 geeft de belangrijkste bronnen van interne en externe belasting schematisch weer: de externe belasting wordt toegevoegd aan het systeem, de interne belasting zorgt voor mobilisatie van in het systeem opgeslagen nutriënten.



Figuur 2.1 Schematisch overzicht van P in het aquatisch systeem (het bruine vlak geeft de processen weer waarin de waterbodem een belangrijke rol speelt).

Als de externe belasting relatief constant is, zal de interne belasting na verloop van tijd ook naar een stationaire waarde toegaan. Als de externe belasting wordt gereduceerd (zoals het geval is in het VZM), zal de interne belasting zich daarop aanpassen. De bodem gaat (tijdelijk) extra naleveren, wordt daardoor 'uitgeput' en gaat toe naar een lagere stationaire waarde. Voor stikstof gaat dat doorgaans snel (één tot enkele jaren). Dit komt doordat 'overtollig' stikstof in de bodem via denitrificatie (omzetting tot N_2 -gas) uit het watersysteem kan ontsnappen. Een ingreep in de waterbodem is voor stikstof zelden een efficiënte ingreep. Voor fosfaat kan het lang duren voordat de bodem weer stationair is en gedurende die tijd kan de waterbodem extra P naleveren waardoor de waterkolom meer nutriënten bevat dan op basis van de externe belasting verwacht zou worden. Daarom is dit rapport vooral gericht op de bijdrage van de waterbodem aan de P-belasting.

Voor een goede analyse van de waterkwaliteit is het nodig om een watersysteemanalyse te maken. De basis hiervoor vormt de water- en stoffenbalans. Dit is reeds gedaan door De Vries et al. (2011). Aanvankelijk zijn de interne processen in een watersysteemanalyse meestal een sluitpost, maar het zou beter zijn als de interne belasting, net als de externe belasting, onafhankelijk bepaald kan worden. Daarom wordt in het Volkerak-Zoommeer onderzoek uitgevoerd naar de bijdrage van de waterbodem.

2.2 Indicatoren voor eutrofe waterbodems

2.2.1 Onderzoek naar indicatoren

De bijdrage van waterbodems aan eutrofiëring is een onderwerp dat momenteel sterk in ontwikkeling is, maar tegelijkertijd een lange historie kent. Vooral in Nederland en Denemarken is in de jaren '80 begin jaren '90 veel werk verricht aan de rol van de waterbodem. Verscheidene studies uit die tijd tonen aan dat de totaal fosfor concentratie in het sediment en de waterkolom geen significant verband tonen (Van der Molen en Boers, 1994; Jensen et al, 1992). Wel zijn significante correlaties gevonden tussen de Fe/P-ratio in het sediment en de fosfor concentratie in de waterkolom. Deze correlaties waren het sterkst als de Fe/P-ratio kleiner was dan 10 g/g (Jeppesen et al, 1991; Van der Molen en Boers, 1994; Jensen et al, 1992). Dit houdt dus in dat ijzer ongeveer 10% van zijn eigen gewicht aan fosfor sterk kan binden.

Na 1995 is de focus vooral op het terugdringen van de externe belasting komen te liggen. Vanaf ongeveer 2005 is er een hernieuwde aandacht voor de rol van de waterbodems, vooral in meren met een organischestofrijke bodem. In een groot OBN¹-onderzoek (Lamers et al., 2006) is veel kennis ontwikkeld en in het STOWA-document 'Van helder naar troebel' (Jaarsma et al., 2008), is het onderzoek vertaald naar enkele indicatoren waarmee een inschatting kan worden gegeven van de mate waarin de waterbodem bijdraagt aan de eutrofiëring. In dat onderzoek heeft de afbraak van organisch materiaal en de rol van zwavel meer aandacht gekregen. De bindingscapaciteit van ijzer hangt mede af van de hoeveelheid die als ijzersulfide aanwezig is. Ijzersulfides kunnen namelijk erg weinig fosfaat binden. Daarom zijn er ook indicatoren die rekening houden met de hoeveelheid S in het sediment. Naast de aanwezigheid van sulfides kan de aanvoer van SO₄ in sediment zorgen voor mobilisatie van P, omdat ijzeroxides omgezet worden in ijzersulfides. Ook zijn er criteria ontwikkeld die de aanwezigheid van P in de bodem vergelijken met de externe belasting en daaruit de mate van 'oplading' in de bodem indiceren.

2.2.2 Indicatoren

Uit het bovenstaande onderzoek is een scala aan indicatoren voortgekomen. De Handleiding Sanering Waterbodems (Tonkes et al., 2006) stelde op basis van het onderzoek in de jaren '80 en '90 dat een waterbodem eutroof is als:

- het totaal-fosfor gehalte van meer dan 1,36 g/kg en
- de ijzer-fosfor (Fe/P) ratio van tenminste 18 g/g (dit is strenger dan de eerder genoemde 10).

In het rapport van Helder naar Troebel (Jaarsma et al., 2008) worden de volgende indicatoren voorgesteld:

- de (Fe-S)/P-ratio (mol/mol) in sediment >10 (geringe nalevering) of <1 (hoge nalevering)
- de Fe/P-ratio (mol/mol) in poriewater >10 (geringe nalevering) of <0 (hoge nalevering)
- Lactaat-acetaat extracties (PAL): PAL/P_{externe belasting} <3,5 (geringe nalevering) of >14 (hoge nalevering)

Later hebben Geurts et al. (2010) bepaald dat een Fe/S-ratio van 1 en een Fe/P-ratio van 10 (alles op mol-basis) onderscheidend zijn voor hoge of lage P-nalevering. Dit is ongeveer gelijk aan de eerder genoemde grens Fe/P-ratio van 18 (g/g).

Omdat waterbeheerders hun data nagenoeg altijd in mg of µg uitdrukken, is in de Handleiding beoordelen waterbodems (Min. Van IenM, 2010) gekozen voor een twee-stapsschema in gram in plaats van mol:

¹ OBN staat voor Ontwikkeling + Beheer Natuurkwaliteit

- 1 Eerst wordt bepaald of de totaal Fe/S-verhouding (g/g) in de waterbodem groter of kleiner is dan 1. De Fe/S-ratio van Geurts et al. (2010) zou uitkomen op 1,7 (g/g).
- 2 Vervolgens geldt voor de totaal Fe/P-verhouding (g/g) een grens van 10 of 20 (dat is resp. 5,5 en 11 in mol/mol).

2.2.3 KRW-Innovatieproject BaggerNut

Bovengenoemde indicatoren geven aan of de bodem veel op weinig nalevert, maar niet hoeveel. In het KRW-innovatieproject BaggerNut wordt getracht om een stap verder te komen. Er wordt geen directe grenswaarde afgeleid, maar er wordt een P-flux bepaald, die beïnvloedt kan worden door allerlei factoren, zoals temperatuur, opwerveling, waterplanten, algen, etc. Die flux kan dan vervolgens opgenomen worden in de stoffenbalans, waardoor het mogelijk is om te beoordelen wat het effect van maatregelen is. Hoewel de systematiek nog niet is uitontwikkeld (het project eindigt in mei 2012), is voor het Volkerak-Zoommeer een meetpakket gekozen dat het mogelijk maakt aan te sluiten op deze systematiek. Deze term zou dan later in het balansmodel van het VZM (De Vries et al., 2011) kunnen worden opgenomen.

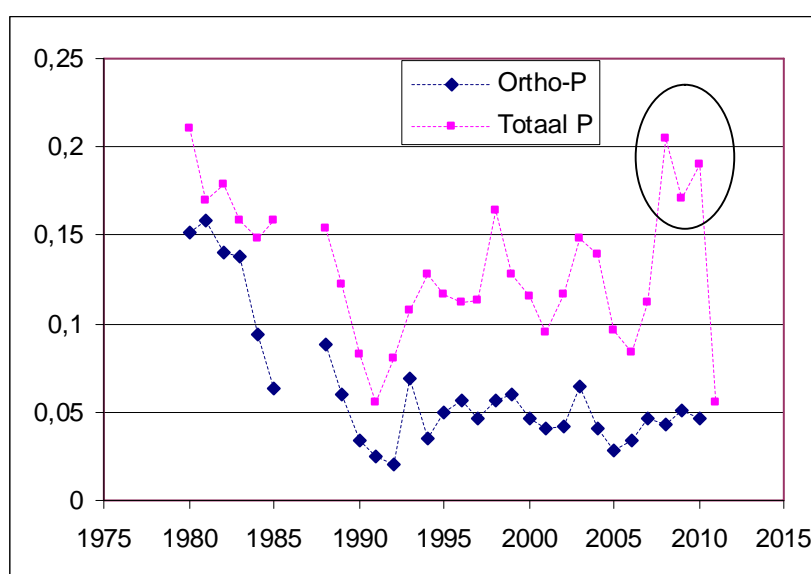
3 Waterkwaliteit en Waterbodembodemkwaliteit in het VZM

3.1 Waterkwaliteit

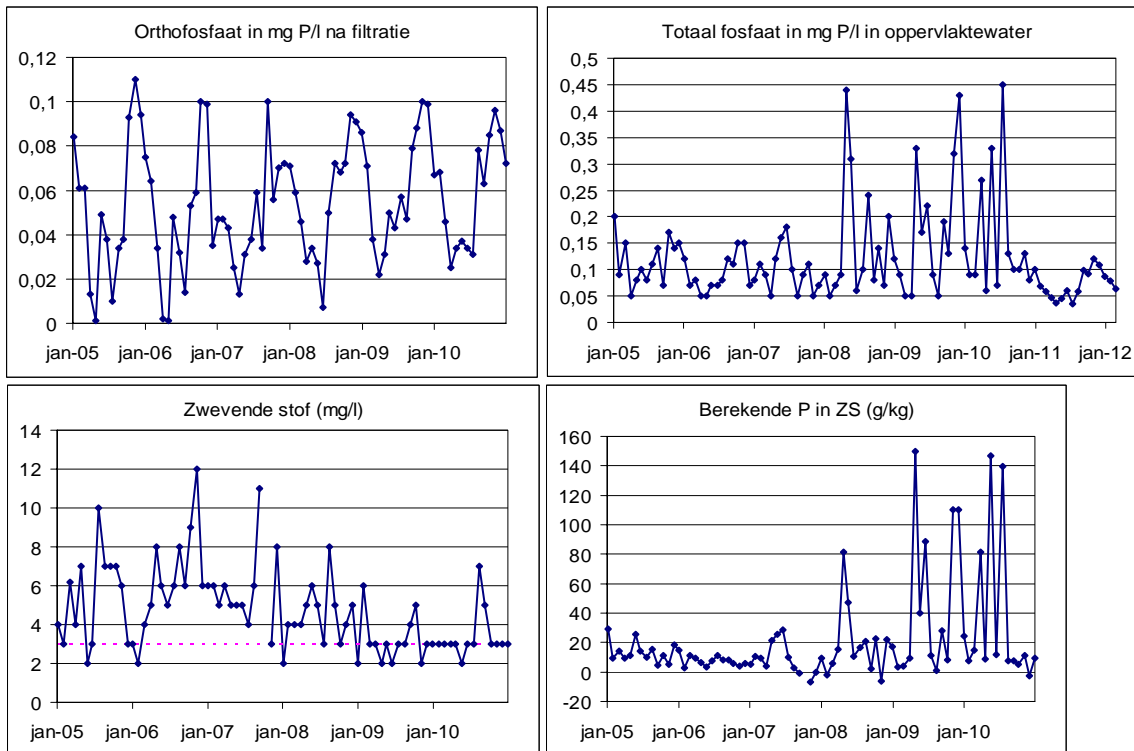
De Vries et al. (2011) hebben de waterkwaliteit tussen 1972 en 2009 in kaart gebracht en geconcludeerd dat het Volkerak en het Zoommeer onderdelen zijn van één volledig gemengde Volkerak-Zoommeer systeem, met vergelijkbare waterkwaliteit. Het meetpunt Steenbergen wordt representatief geacht voor het gehele VZM.

3.1.1 Nutriënten en chlorofyl

De stikstofconcentratie in het VZM is na de afsluiting meer dan verdubbeld, met uitzonderlijk hoge concentraties in winter en voorjaar; vanaf 2000 dalen de concentraties gestaag, bij gelijkblijvend seizoensgedrag. De fosfaatconcentratie in het VZM is in de eerste jaren na de afsluiting behoorlijk (verder) verlaagd. De neergaande lijn van zomergemiddelde concentraties (Figuur 3.1) eindigt ongeveer in 1993 op 0,06 mg P-totaal/l en 0,02 mg ortho-P/l en stabiliseert daarna op respectievelijk 0,12 en 0,05 mg/l. Sinds 2005 is de ortho-fosfaatconcentratie min of meer stabiel. Voor totaal P in oppervlaktewater is de laatste paar jaar een opvallende stijging te zien. Aangezien ortho-P min of meer constant is, moet de stijging worden toegeschreven aan zwevende stofgebonden P. Figuur 3.2 toont de (ruwe) meetdata voor P en zwevende stof. Vanaf 2008 wordt de gemiddelde concentratie sterk beïnvloed door pieken in totaal P. Dit zou verklaard kunnen worden door een variërende zwevende stofconcentratie, maar Figuur 3.2 toont aan dat de concentratie zwevende stof (ZS) nauwelijks varieert en erg laag is (regelmatig < rapportagegrens). Berekening van de P gebonden aan zwevende stof leidt tot irreële waarden (tot 150 g P/kg ZS). Omdat halverwege 2010 de pieken uitbleven, heeft de Waterdienst de data van 2011 geleverd. Ook in deze data komen de pieken niet meer voor. Het lijkt er dus sterk op dat de P-totaalmetingen in 2008-2010 sterk afwijkende resultaten laten zien. Analytische fouten lijken hiervoor de meest waarschijnlijke reden. Dit heeft consequenties voor de P-balans van het Volkerak-Zoommeer omdat de concentraties in het meer worden gebruikt om de afvoer van P te berekenen.

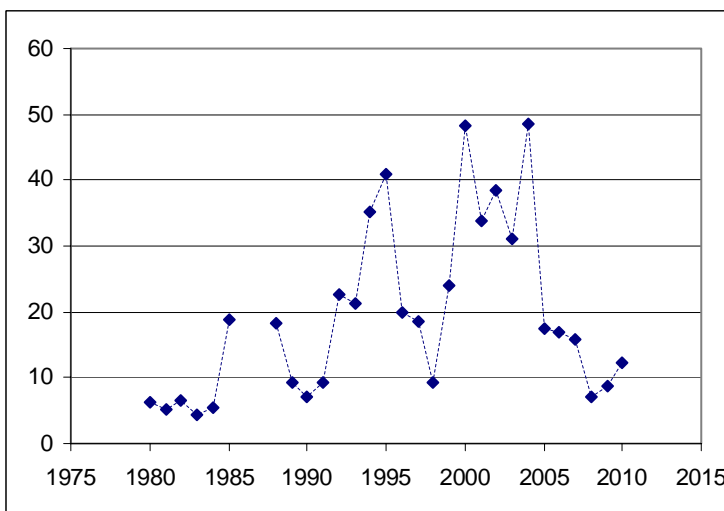


Figuur 3.1 Zomergemiddelde fosfaatconcentraties in de tijd op het meetpunt Steenbergen.



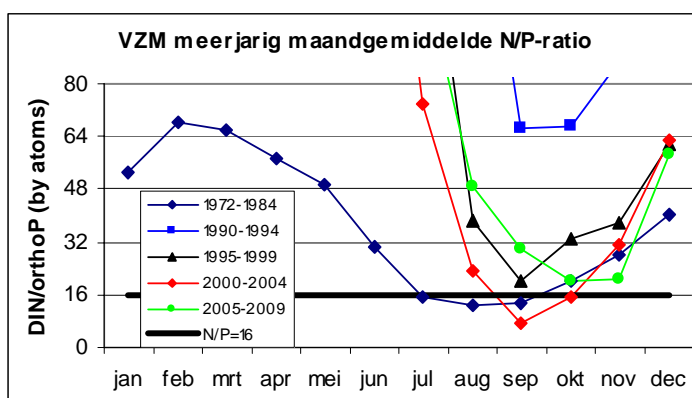
Figuur 3.2 Meetdata tussen 2005 en 2010 van gemeten ortho-P, totaal P en zwevende stof in oppervlaktewater en van de berekende P in zwevende stof. De roze lijn geeft de rapportagegrens weer.

Na de afsluiting is de algenconcentratie (chlorofyl-a) gaandeweg sterk toegenomen, en is het doorzicht, de helderheid van het water, afgenomen. Vanaf 2005 is de algenconcentratie lager en neemt de helderheid weer toe (Figuur 3.3).



Figuur 3.3 Zomergemiddelde chlorofyl-a-concentraties op het meetpunt Steenbergem.

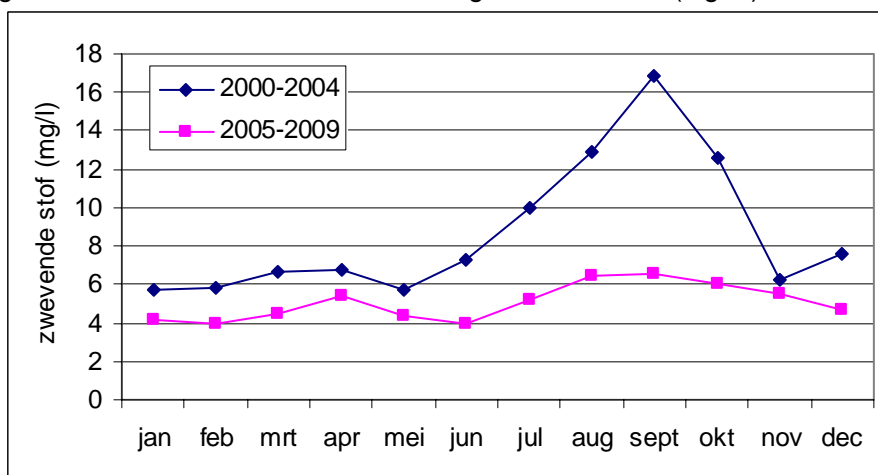
Als laatste wordt over de nutriënten opgemerkt dat door de recente daling van de ortho-fosfaatconcentratie de NO_3/PO_4 -ratio gedurende het gehele jaar, dus nu ook in de (na)zomer, groter is dan 16. Dat betekent dat de algengroei het gehele jaar potentieel gelimiteerd is door fosfaat (zie Figuur 3.4).



Figuur 3.4 N/P ratio in het VZM (overgenomen uit De Vries et al., 2011)

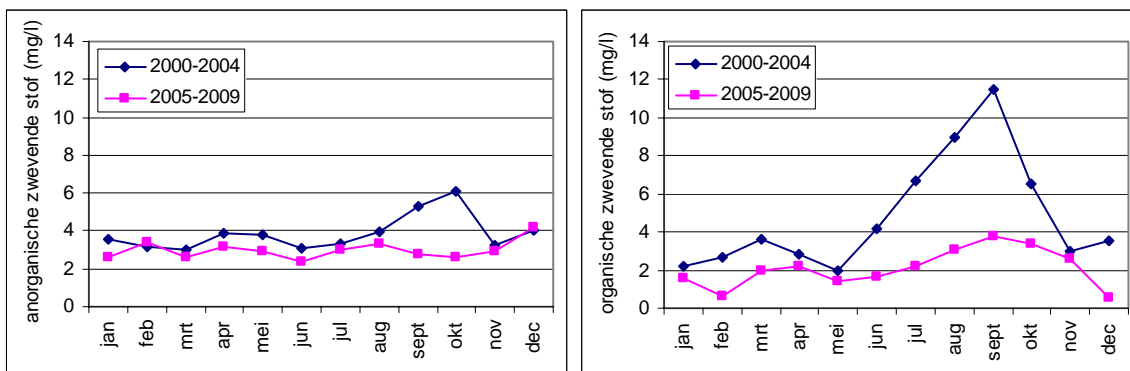
3.1.2 Zwevende stof

Figuur 3.5 toont de concentratie zwevende stof door het jaar heen. In de winter ligt de zwevende stofconcentratie tussen de 4 en 6 mg/l. In de zomer loopt dat op naar concentraties boven de 10 mg/l. In Figuur 3.6 is te zien dat de echte piekconcentraties grotendeels veroorzaakt worden de organische fractie (algen)².



Figuur 3.5 Concentratie zwevende stof en het percentage gloeirest daarin op het meetpunt Steenberg.

2. Een uitzondering hierop vormt oktober 2007 (ZS=39 mg/l, waarvan 29 mg/l gloeirest (=anorganisch)). Aangezien er in deze week geen sterke wind is geweest, mag getwijfeld worden aan de juistheid van de meting. Er is tussen 2000 en 2009 nooit hoger dan 23 mg ZS/l en 11 mg org.ZS/l gemeten. Deze waarden zijn verwijderd.

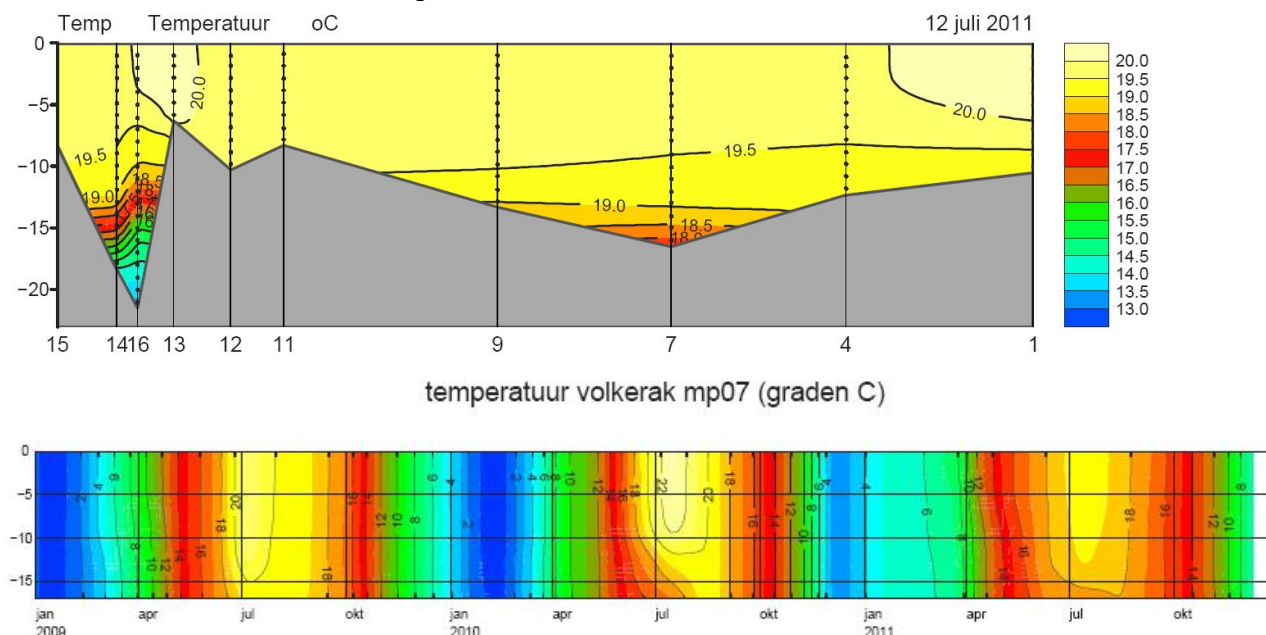


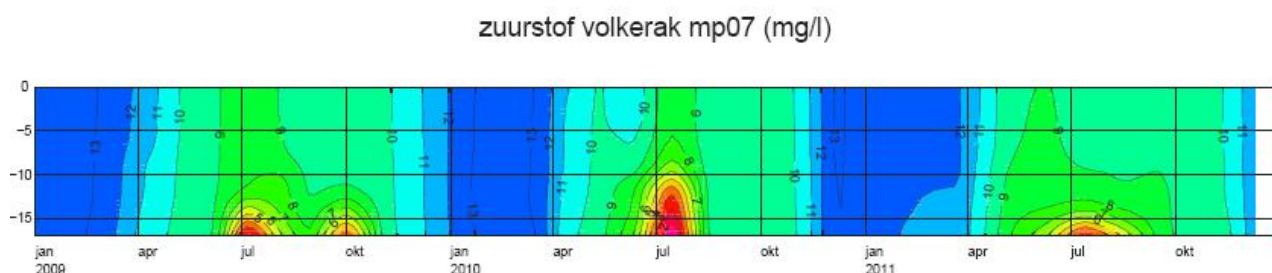
Figuur 3.6 Zwevende stof op het meetpunt Steenberg en uitgesplitst in organische en anorganische zwevende stof.

3.1.3 Zuurstof en temperatuur dichtbij de bodem

De nalevering van fosfaat uit de bodem is sterk afhankelijk van de zuurstofcondities in de toplaag van de bodem. Als de waterlaag bij de bodem ten gevolge van stratificatie anaëroob wordt, kan dit leiden tot een verhoogde mobilisatie van fosfaat. RWS Zeeland voert maandelijks verticaalmetingen uit op een tiental punten in het Volkerak waarin op elke verticale meter zuurstof, chloride, en temperatuur worden gemeten. Daarmee kunnen figuren zoals Figuur 3.7 worden gemaakt.

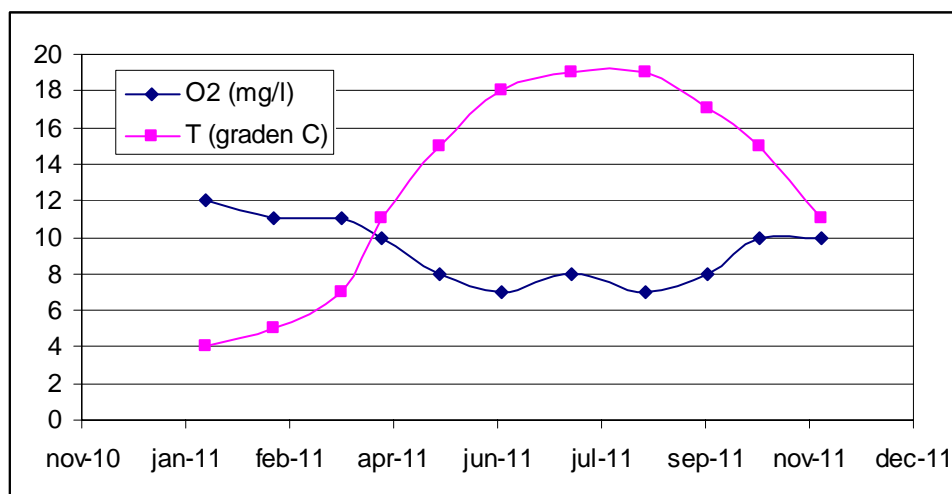
Behalve in de diepte nabij de Krammersluizen is het Volkerak-Zoommeer is in het grootste deel van het jaar een goed gemengd systeem. De bovenste figuur van Figuur 3.7 toont stratificatie in de put nabij de Krammersluizen. Deze put is meestal gestratificeerd van half mei tot eind september. Verder is alleen een lichte gelaagdheid rondom MP07. De onderste figuur geeft aan dat in 2009, 2010 en 2011 in de zomer altijd leidde tot enige gelaagdheid (gebogen lijnen). De zuurstofmetingen reageren daar duidelijk op. Er kan dus in warme zomers sprake zijn van lage zuurstofconcentraties in de diepe delen (>10 m). Of dit leidt tot substantiële P-mobilisatie is niet gemeten.





Figuur 3.7 Temperatuur en zuurstof in het VZM. Boven een verticaalmeting in juli 2011 op alle metingen van de Raai. Onder de temperatuur- en zuurstofmetingen in de tijd op MP07. Let op: een rode zuurstofconcentratie betekent niet automatisch 'zuurstofloos'.

Figuur 3.8 geeft het temperatuur- en zuurstofverloop aan de bodem weer in 2011 op meetpunt 9. Hier treedt geen stratificatie op, maar dit punt is gebruikt voor de waterbodembemonstering. De waterbodembemonstering in maart is duidelijk in een koudere periode genomen, maar het warme najaar in 2011 zorgde voor relatief hoge temperaturen in oktober.



Figuur 3.8 Temperatuur- en zuurstof verloop vlak boven de bodem op meetpunt 9.

3.2 De waterbodemkwaliteit van het Volkerak-Zoommeer

3.2.1 Historische gegevens tot en met 2009

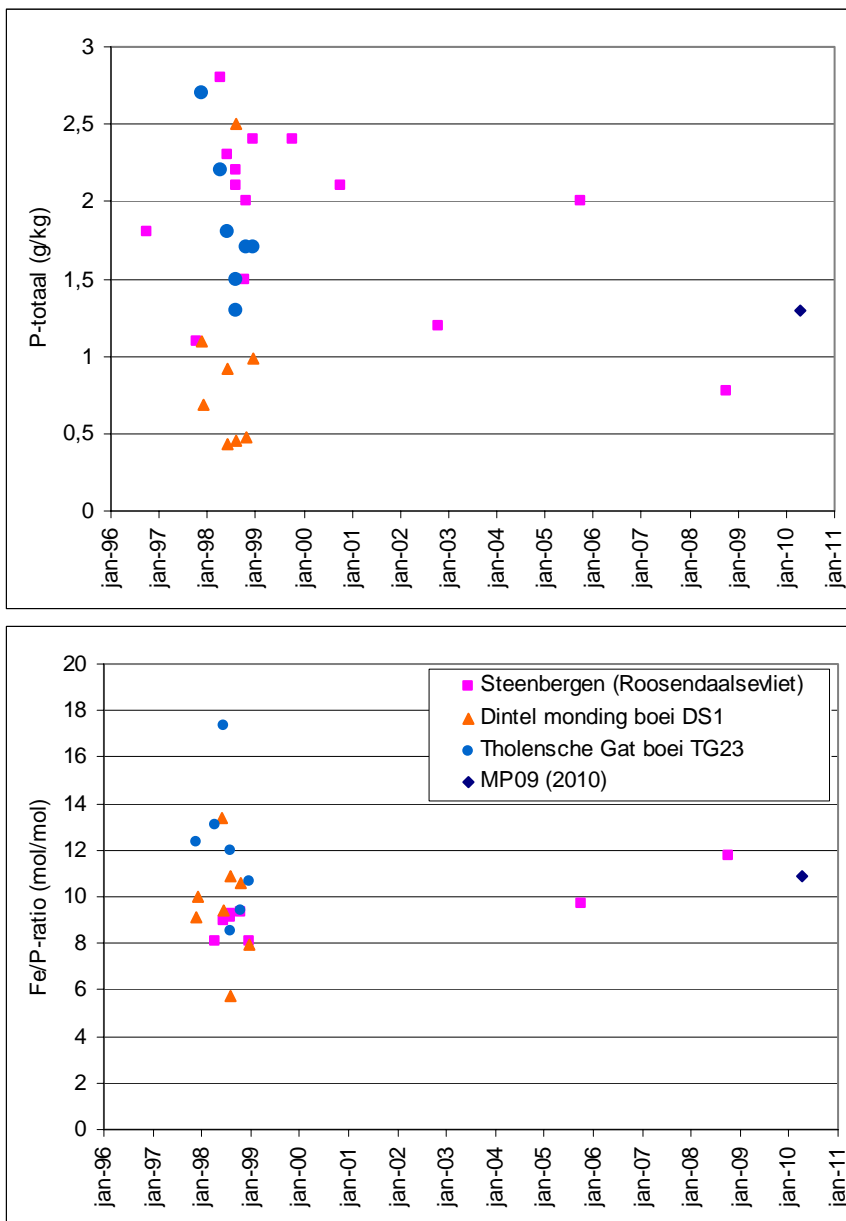
In de MWTL-monitoring wordt af en toe een bodemmonster genomen op het meetpunt Steenberg, behalve in 1998. In dat jaar is vermoedelijk een project uitgevoerd, want toen zijn op 3 locaties zeer frequent totaalgehalten gemeten in de waterbodem. Naast Meetpunt Steenberg zijn ook monsters genomen bij de monding van de Dintel en in het Zoommeer (Figuur 3.9).



Figuur 3.9 Ligging van de historische waterbodemeetpunten: in het midden van het Volkerak meetpunt Steenbergens (en daar ligt ook ongeveer MP9), in het oostelijk Volkerak meetpunt Dintelmonding en in het Zoommeer meetpunt Tholense Gat.

Figuur 3.10 toont de resultaten. De P-gehalten varieerden in 1998 van minder dan 0,5 g P/kg tot bijna 3 g P/kg. Daarbij geeft de monding van de Dintel duidelijk lagere waarden. Dit kan te maken hebben met eigenschappen van het monster (minder slibbig). Ook de latere metingen op meetpunt Steenbergens vertonen een grote variatie, maar de meetdata zijn schaars. Het is al moeilijk om een trend vast te stellen op basis van 1 monster per jaar, maar met 1 monster per 3 jaar (de huidige frequentie) is er nauwelijks iets zinnigs te zeggen over temporele trends in de waterbodemkwaliteit. De meting in 2008 gaf het laagste resultaat tot nu toe, maar de waarde in 2005 was relatief hoog. Recentelijk, tegelijk met het projectwerk in oktober 2011, is weer een MWTL-monster genomen. Het resultaat van 2011 is nog niet bekend.

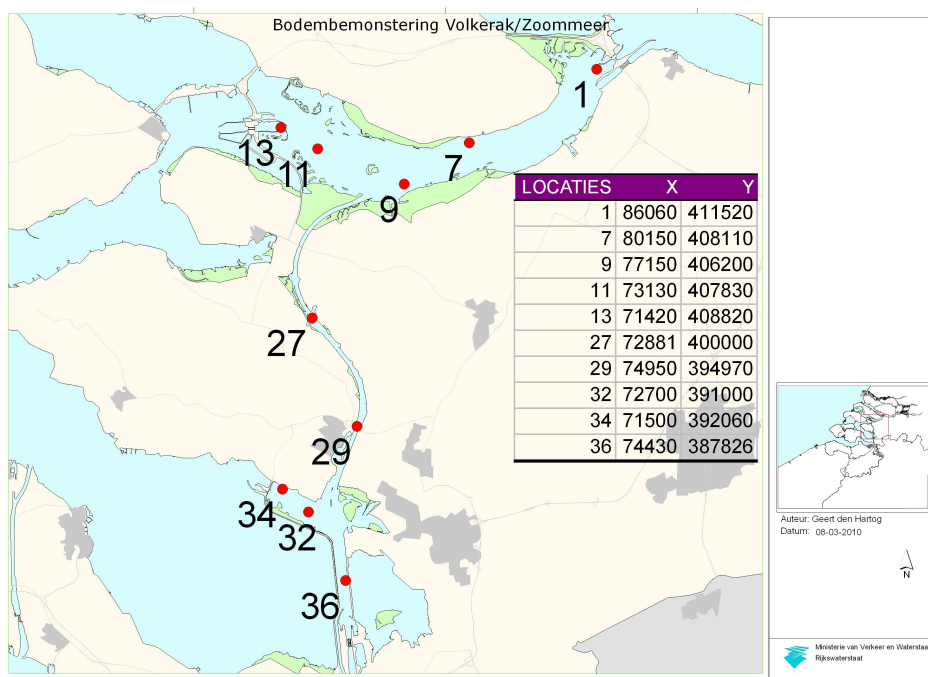
Ondanks de verschillen in P-gehalte ligt de Fe/P-ratio van de monsters, op een enkele uitschieter na, tussen 8 en 14 en op meetpunt Steenbergens tussen 8 en 12.



Figuur 3.10 P-gehalten en Fe/P-ratios in bovenste 10 cm op verschillende locaties in het VZM. De meting in 2010 (zie 3.2.2) is ook toegevoegd.

3.2.2 Historische gegevens 2010

Omdat de informatie over de bodem minimaal was is, voorafgaand aan deze studie, in 2010, een aantal bodemmonsters genomen in het Volkerak-Zoommeer om een eerste indruk te krijgen over de ruimtelijke verdeling. De meetpunten zijn weergegeven in Figuur 3.11.



Figuur 3.11 Meetlocaties 2010 in het Volkerak-Zoommeer.

Hoewel alle locaties zijn bemonsterd, zijn destijds niet alle monsters geanalyseerd en ook niet op alle parameters (bijv. geen lutum). Tabel 3.1 toont de resultaten. Het sediment in de Eendracht bevat lagere P-gehalten en iets hogere Fe/P-ratios dan in het Volkerak. De slibbige meetpunten in het Volkerak – geel gearceerd in Tabel 3.1; meetpunt 13 is een zeer diep en zandig meetpunt nabij de Krammersluizen – vertonen een zekere homogeniteit. De zwavelgehalten zijn in het Zoommeer veel hoger dan in de rest van het VZM.

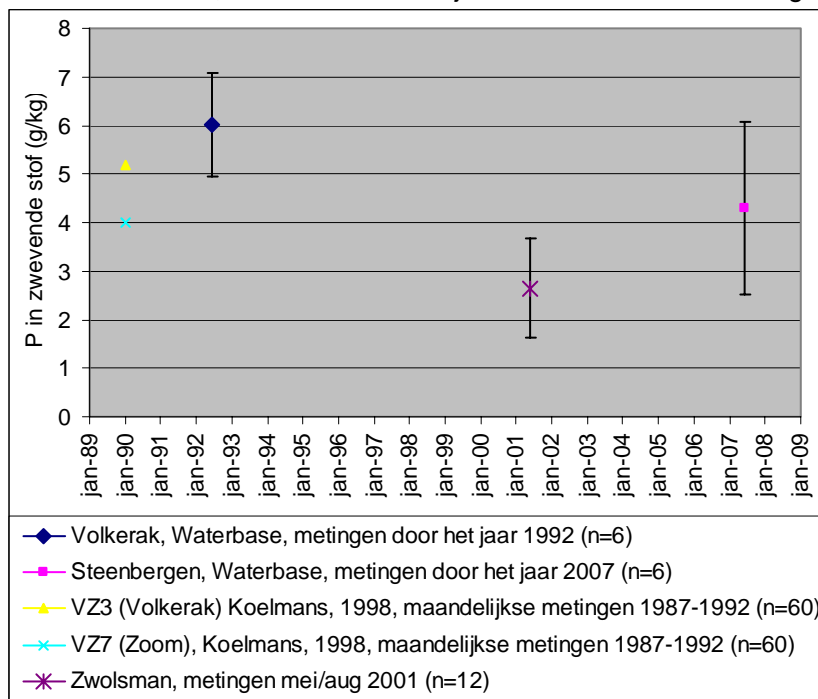
Tabel 3.1 Waterbodemkwaliteit in 2010.

meetpunt	droge stof	org.koolstof	Fe	P	S	Fe/P	Fe-S/P
	%	%	g/kg	g/kg	kg	mol/mol	mol/mol
MP1	38	2,18	22,2	1,4	3,0	9	7
MP9	31	2,89	26,3	1,3	6,1	11	7
MP11	21	6,35	26,2	2,1	3,4	7	5
MP13	59	1,72	19,7	0,4	3,3	29	21
MP27	59	0,96	9,5	0,3	2,1	15	9
MP29	58	2,21	11,6	0,5	1,3	13	10
MP34	19	5,36	32,1	0,9	18,0	20	0
MP36	23	5,84	30,3	1,9	10,7	9	3

3.2.3 Zwevende stofkwaliteit

Behalve data van de waterbodem is ook gekeken naar zwevende stof data. Ook daarover is slechts beperkte kennis. Er is een aantal studies uitgevoerd, rond 1990, in 2001 en in 2007. De P-gehalten liggen rond de 4 g P /kg, wat aanzienlijk hoger is dan de waterbodem. Dit heeft ongetwijfeld te maken met veel kleinere korrelgrootte van het zwevende stof, maar ook de Fe/P-ratio is lager, namelijk rond gemiddeld rond de 4 (dus in zwevende stof meer P ten opzichte van Fe dan in sediment). Daarbij moet wel vermeld worden dat Koelmans et al. (1998) een seizoensvariatie hebben vastgesteld (Figuur 3.13).

Zij verklaren die seizoensvariatie door een toename van organisch P (in algen en detritus) in de zomer. Echter, ook in de winter zijn de Fe/P-ratio's aan de lage kant (ca. 7).



Figuur 3.12 P-gehalten in zwevende stof in het VZM.

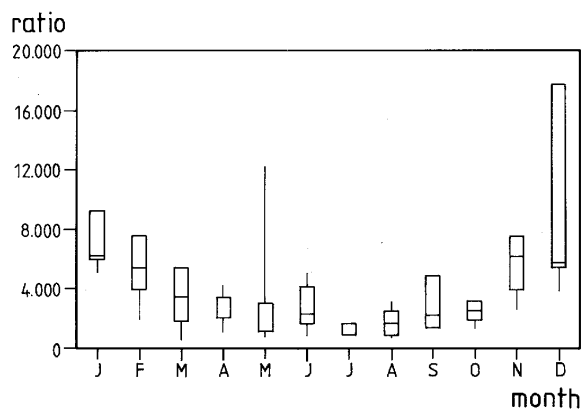


Figure 4. Box and whisker plot for detrended monthly elemental Fe/P atomic ratios for suspended solids sampled at locations VZ3. For explanation of Box and Whisker plot see Figure 3.

Figuur 3.13 Fe/P-ratios in zwevende stof door het jaar heen (Koelmans et al., 1998).

4 Materiaal en methoden van het toplaagonderzoek

Zoals in paragraaf 1.3 is vermeld gaat dit rapport vooral in op vraag 1: wat is (door het jaar heen) de actuele P-nalevering van en P-opname door waterbodem? Om deze vraag te beantwoorden zijn de volgende activiteiten uitgevoerd:

- Bemonstering van de bovenste 5 cm³ van de waterbodem in april, juni en oktober 2011
- Analyse van sediment en poriewater op verschillende parameters

In het kader van vraag 2 (permanente opslag in de bodem) zijn in dit onderzoek mineraalprobes in het sediment gestopt met mineralen die kunnen oplossen of aangroeien. Dit chemisch gedrag zegt iets over de milieuecondities in het sediment

In dit hoofdstuk worden alle activiteiten nader beschreven.

4.1 Bemonstering van de waterbodem

4.1.1 Bemonstering

Deltares is gestart met het verzamelen van beschikbare gegevens over de waterbodem en zwevende stof (zie hoofdstuk 3). Vervolgens is in maart 2011 een oriënterende velddag gehouden waarbij de toplaag van 10 locaties in Volkerak en Zoommeer is bemonsterd (Figuur 4.1). Omdat de Vries et al. (2011) stelden dat het oppervlaktewater van het Volkerak-Zoommeer als één gemengd systeem mag worden beschouwd en het Volkerak qua omvang bepalend is voor de waterkwaliteit, is de focus daarna gelegd op het Volkerak. Hieruit zijn 4 locaties in het Volkerak geselecteerd, namelijk: meetpunten 1, 4C (tussen 4A en 4B in), 9 en 13, die op 14 juni 2011 en op 11 oktober 2011 nogmaals zijn bemonsterd. Op 11 oktober lukte het ondanks herhaalde pogingen niet om een goed toplaagmonster te verkrijgen op locatie 1. In de directe nabijheid (maar minder diep) bleek het wel te lukken; dit is meetpunt 1B geworden.

-
3. *Er is een sterke Fe- en P-gradiënt in de bovenste 5 cm van de bodem. Zelfs met ongestoorde kolommen is het nog lastig om dat profiel te beschrijven, omdat dit kan variëren en snel kan veranderen nadat de kolommen zijn gestoken. Dit is uitgevoerd door de UU ((Sulu Gambari en Slomp, 2012). Deltares heeft gekozen voor de aanpak van B-Ware, waarin de poriewaterconcentratie in een gehomogeniseerd monster van de bovenste 5 cm een goede indicator blijkt te zijn voor (diffusieve) nalevering uit de bodem (Poelen et al., 2011).*



Figuur 4.1 Monsterpunten tijdens het veldwerk op 24 maart 2011. Meetpunt 4C ligt tussen 4A en 4B in.

Het veldwerk is uitgevoerd door Rijkswaterstaat met het RWS-schip De Argus en bestond uit het nemen van twee boxcore-monsters (Foto 4.1). Deltares heeft vervolgens met een kleine boor meerdere toplaagmonsters van 5 cm genomen uit een boxecore. De toplaagmonsters werden in een plastic zak gedaan en handmatig gehomogeniseerd. De zak werd zo veel mogelijk dicht gehouden om contact met lucht (en daardoor oxidatie van anaëroob sediment) te minimaliseren. Poriewater werd bemonsterd door een Rhizon-poriewatersampler in de zak te stoppen en de injectiespuit vacuüm te trekken (Foto 4.2). Deze methode is relatief ‘ruig’, maar wel goed routinematig in te zetten. Het sediment in de zak werd na poriewaterextractie overgebracht in een glazen monsterpot van 1 liter.



Foto 4.1 Het nemen van een boxcore-monster (links de boxcore; rechts de gestoken sedimentkolom van bovenaf)

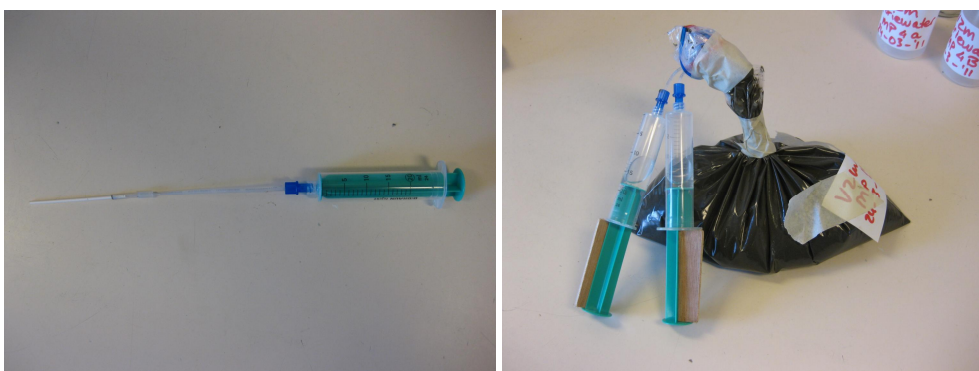


Foto 4.2 Een Rhizon-poriewatersampler (links) en extractie van poriewater uit toplaagsediment.

4.2 Analyses van sediment en poriewater

4.2.1 Analyses RWS Waterdienst

Zowel de poriewatermonsters als de bodemonsters zijn naar het Waterdienstlaboratorium in Lelystad gebracht en geanalyseerd op de parameters weergegeven in Tabel 4.1

Tabel 4.1 Analysepakketten van RWS-Waterdienst van de bodem en poriewatermonsters (details van de methoden zijn te vinden op:

http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/monitoring/leidraad_monitoring/monitoringscyclus/monstername_analyse/analyse).

Analyses
analysepakket sediment
voorbehandeling (homogeniseren/drogen/vochtgehalte bepalen)
Organisch en anorganisch koolstof
totaalgehalten (Aqua Regia): P, S, Fe en overige elementen
korrelgrootteverdeling incl. bepaling van het percentage kalk en organische stof
Analysepakket poriewater⁴
concentraties P, S, Fe en overige elementen
DOC
Anionen & ammonium: NH ₄ , NO ₃ , NO ₂ , PO ₄ , Si, Cl)
Overige stikstof fracties

4.2.2 BaggerNut-pakket

In juni 2011 zijn de waterbodem- en poriewatermonsters niet alleen door het WD-lab geanalyseerd, maar ook door Onderzoekscentrum B-Ware, dat alle experimenten voor het BaggerNut-project uitvoert. Om zo goed mogelijk aan te sluiten op BaggerNut, is het VZM bemonsterd in juni/juli en zijn de monsters door B-Ware geanalyseerd op de parameters vermeld in tabel 4.2.

4. De poriewatermonsters zijn verkregen door filtratie met een Rhizon-poriewatersampler en werden in het lab niet nogmaals gefiltreerd. De poriewatermonsters zijn in het veld **niet** aangezuurd. Afhankelijk van de analyse is dat in het laboratorium gebeurd.

Tabel 4.2 Analysepakketten van de bodem en poriewatermonsters door B-Ware (details van de methoden zijn te vinden in bijlage A).

Analyses
Analysepakket sediment
voorbehandeling (homogeniseren/drogen/vochtgehalte bepalen)
totaalgehalten (Aqua Regia): Al, Ca, Fe, Mg, Mn, Na, P, S, Si, Zn
bepaling van het percentage organische stof (gloeiverlies)
0,2 M NaCl-extraheerbare concentraties voor Al Ca Fe K Mg Mn P S Si Zn NO ₃ NH ₄
P-fractionering cf. Golterman, 1996
Oxalaat/oxaalzuur-extraheerbare fractie voor Al, Fe, Mn, P.
Analysepakket poriewater
pH, alkaliniteit, CO ₂ , HCO ₃ ⁻ ,
Concentraties Al, Ca, Fe, Mg, Mn, Na, P, S, Zn, K
Anionen & ammonium: SO ₄ , NH ₄ , NO ₃ , NO ₂ , PO ₄ , Si, Cl)

4.2.3 Ammoniumoxalaat/oxaalzuur extractie (pH 4)

'actieve' vormen van Fe en Al, welke aanwezig zijn als amorphe hydroxiden en zich binden aan organisch materiaal. Deze 'actieve' vormen hebben een groot sorptieoppervlak en P gebonden aan deze 'actieve' vormen is relatief snel beschikbaar. Door middel van een ammoniumoxalaat/oxaalzuur extractie lossen amorphe ijzer- en aluminiumoxiden op (Houba et al, 1986). Ook calciumfosfaten lossen op tijdens deze extractie.

4.2.4 P-fractionering

Er is een aantal veelgebruikte fractioneringsmethoden, bijvoorbeeld: Hieltjes en Lijklema (1980), Psenner (1988), Golterman (1996) en Ruttenberg (1992). De UU gebruikt in hun deel van het onderzoek de (aangepaste) SEDEX-methode (Slomp, 1996). B-Ware gebruikt de methode van Golterman (1996).

Golterman (1996): Er wordt 5 gram verse bodem afgewogen en achtereenvolgens zijn in verschillende stappen extractanten toegevoegd en geschud. Na iedere stap is het mengsel gecentrifugeerd (Sorvall, 13000 rpm) en het supernatant afgepipetteerd en bewaard. Het pellet is gebruikt voor het volgende extractant. Achtereenvolgens zijn gebruikt: NH₄Cl (1M), Ca-EDTA (0,05M), Na-EDTA (0,1M). Het uiteindelijke pellet is gedestruëerd. De oplossingen van de verschillende stappen zijn bewaard tot verdere analyse.

4.3 Mineraalprobes

Het doel van de mineraalprobes (of: mineraalsensoren) is te onderzoeken hoe verschillende fosfaatmineralen zich in de waterbodem van het Volkerakzoommeer gedragen. Hiervoor zijn fosfaatmineralen houdende sensoren ontworpen en gemaakt. De twee gebruikte mineralen zijn: vivianiet (ijzer(II)fosfaat) en apatiet (calciumfosfaat). De mineraalsensoren zijn vervolgens met behulp van duikers op drie verschillende locaties gedurende 2 maanden in waterbodem van het Volkerakzoommeer geplaatst. Na 2 maanden zijn deze mineraalsensoren weer opgehaald en geanalyseerd met een micro-XRF. Tevens zijn de mineraalsensoren vooraf, en achteraf in detail gefotografeerd, om eventuele oplossingsverschijnselen te herkennen.

- De mineraalsensoren zijn volledig gemaakt van plexiglas
- De totale l x b x h zijn 1 x 6 x 10 cm

- Bovenop is een schroefdraad aangebracht tot ~1 cm diep, om de sensoren te fixeren.
- Aan de voorkant zijn twee sleuven gemaakt van ~0,5 cm diep, hierin zijn de twee soorten mineralen (vivianiet en apatiet) in epoxyhars ingegoten.
- Vervolgens is de epoxyhars uitgehard en gepolijst.
- Vivianiet (ijzerfosfaat) en Apatiet (calciumfosfaat) zijn beide mineralen die van nature voorkomen in Nederland.
- Aan de achterkant is een 0,5 cm diepe sleuf gemaakt om met behulp van een horizontale plastic plaat de diepte plaatsing in het sediment beter onder controle te hebben.

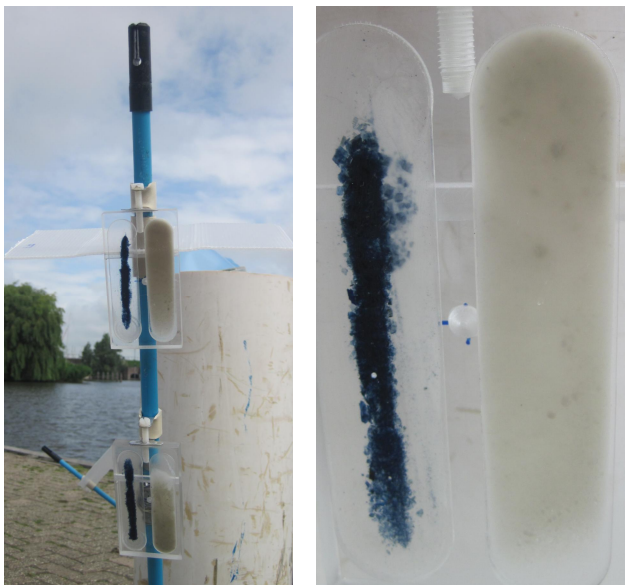


Foto 4.3 Mineraalsensor met apatiet en vivianiet in de sleuven gegoten (links) en de gebruikte constructie om de mineraalsensoren te fixeren (rechts).

De mineraalsensoren zijn vervolgens vastgemaakt aan een plastic stang van 1,2 m hoog op de manier zoals aangegeven in Foto 4.3. De linker foto laat zien dat de gleuf aan de achterkant is gebruikt om een horizontale plasticplaat in aan te brengen.

5 Resultaten

5.1 Resultaten van de bemonstering

Van elk veldmonster is de hoogte gerapporteerd en er is een grove beschrijving gemaakt van de textuur en de hoeveelheid mosselen op het slib. Tabel 5.1 toont dat dikke sliblagen (>40cm) voorkomen in de diepere delen in het oostelijk deel van het Volkerak en in hzet Zoommeer (locaties 01, 04A, 09 en 47). Op locatie 07, ook in het oosten, lag geen slib, maar dat komt omdat het punt dicht tegen de noordoever aan ligt. Ook in de meetpunten 04A, 04B en 04C was het verloop met de diepte goed te zien. Hoe dichters naar de oever, hoe minder slib. In het westen (locaties 10, 11, 13) ligt aanzienlijk minder slib, ook al ligt MP11 op 9 meter diepte.

Tabel 5.1 Beschrijving van de veldwaarnemingen op 24 maart 2011.

meetpunt	x	y	Water-diepte	monster (cm)	sliblaag (cm)	Mosselen*	beschrijving
MP01	86074	411525	12,50	55	>55	0	slap slib
MP04A	83154	408042	6,70	40	>40	2	slap slib
MP04B	83232	407598	3,60	40	10	3	slib op fijn zand
MP07C	82985	408743	4,10	20	0	1	grof zand
MP09	77150	406208	14,60	30	20	0	slappe sliblaag op zand
MP10	75767	407279	4,70	25	5	3	slib op grof zand
MP11	73129	407830	9,00	25	5	2	slib op grof zand
MP13	71630	409105	7,70	25	10	2	slib op grof zand
MP47	72294	390898	13,00	55	>55	0	slap slib
MP48	73043	391400	4,20	45	10	2	slib op fijn zand

* 0=afwezig, 1=weinig, 2=matig, 3=veel.

Tabel 5.2 Beschrijving van de veldwaarnemingen op 14 juni 2011.

meetpunt	x	y	Water-diepte	monster (cm)	sliblaag (cm)	Mosselen*	beschrijving
MP01	86074	411525	12,50	50	>50	0	Slap slib
MP04C	83230	407770	5,50	35	>35	2	Slib
MP09	77150	406208	14,60	50	20	0	20 cm slib, onderlaag varieert**
MP13	71630	409105	7,70	25	5	1	Slib op grijs zand

* 0=afwezig, 1=weinig, 2=matig, 3=veel.

** box 1: onderlaag van grijs middelgrof zand, box 2: onderlaag van afwisselende slib/ organische stoflaagjes.

Tabel 5.3 Beschrijving van de veldwaarnemingen op 11 oktober 2011.

meetpunt	x	y	Waterdiepte	monster (cm)	sliblaag (cm)	Mosselen*	beschrijving
MP01B**	86116	411355	8,00	55	>55	0	slap slib
MP04c	83230	407770	5,50	40	>40	2 a 3	stevig slib
MP09	77150	406208	14,60	55	>55	0	slib
MP13	71630	409105	7,70	20	20	1	zandig

* 0=afwezig, 1=weinig, 2=matig, 3=veel.

** Ligt vlak bij meetpunt 1, maar daar lukt het op 11-10 niet om een goed monster te nemen.

De onderstaande foto's geven een indruk van de monsters:

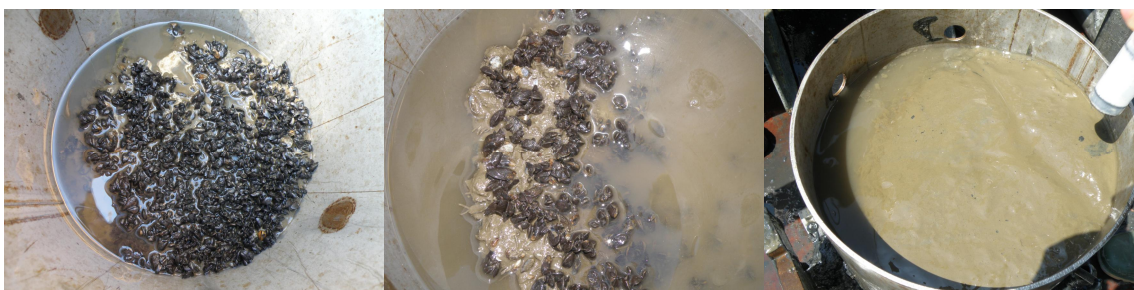


Foto 5.1 Van links naar rechts: veel (3), matig (2) en geen (0) mosselen.

5.2 Totaalgehalten in toplaag van de waterbodem van het VZM in 2011

De ruwe data zijn toegevoegd in bijlage C en D.

5.2.1 Oriëntatie op 24 maart 2011

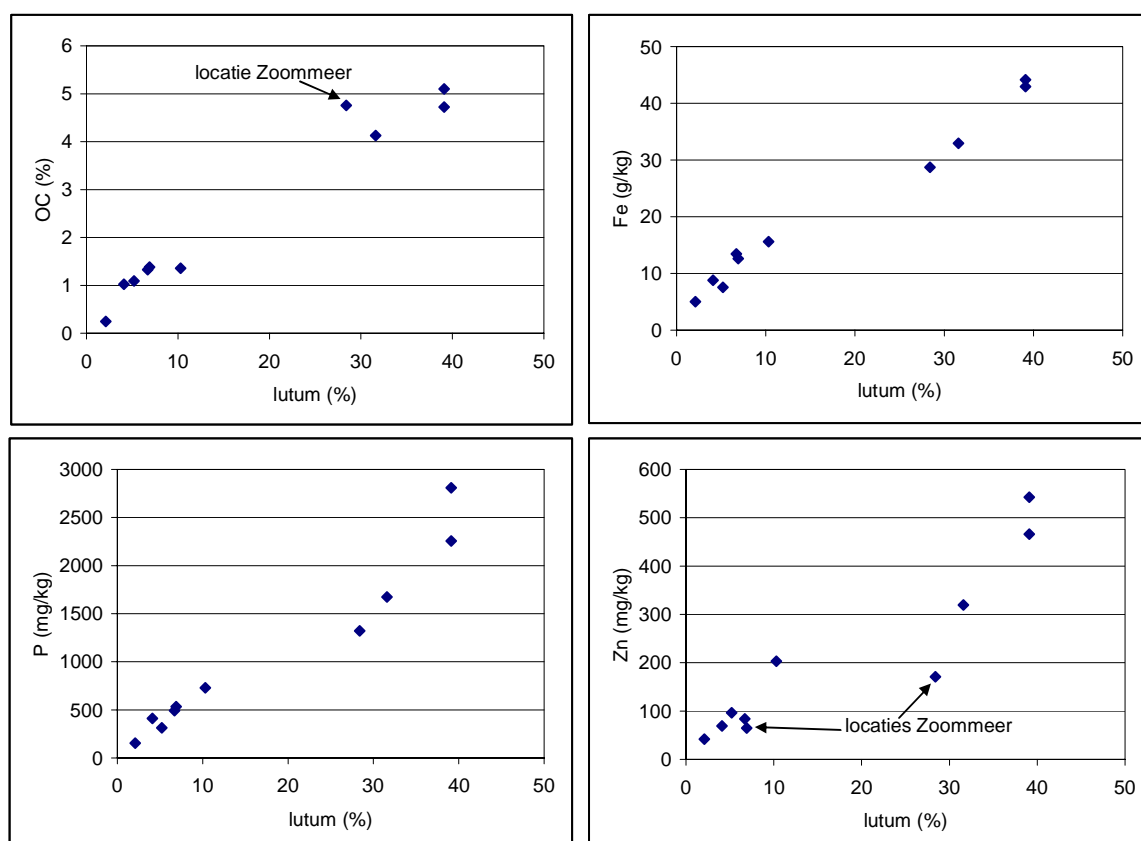
Op 24 maart is er een oriënterende bemonsteringsdag gehouden, waarop 10 locaties zijn bemonsterd in het Volkerak, de Eendracht en het Zoommeer (zie Figuur 4.1). Tabel 5.4 toont de resultaten. Het organischestofgehalte varieert tussen de 0,24 en 5,1%, terwijl lutum varieert tussen 2 en 39%. De organischestof- en lutumgehalten zijn sterk gerelateerd aan de dikte van sliblaag. Het kalkgehalte varieert veel minder.

Tabel 5.4 Analyseresultaten van de waterbodemplaat op 24 maart 2011 tijdens de oriënterende bemonstering

meetpunt	OC	CaCO ₃	lutum	Fe	Mn	P	S	Zn
	%	%	%	g/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
MP01	5,10	4,9	39	42,96	1,48	2808	4834	543
MP04A	4,72	4,4	39	44,15	1,32	2256	3347	466
MP04B	1,35	4,7	10	15,59	0,80	729	1501	203
MP07C	0,24	2,1	2	5,01	0,13	153	365	42
MP09	4,13	5,4	32	32,93	1,38	1674	4661	320
MP10	1,02	3,1	4	8,79	1,19	410	565	69
MP11	1,09	4,4	5	7,56	1,01	313	1200	97
MP13	1,33	2,7	7	13,44	0,91	492	1725	84
MP47	4,76	4,6	28	28,70	0,99	1320	9193	171
MP48	1,38	3,5	7	12,62	0,66	533	2121	65

Het lutumgehalte blijkt een zeer goede voorspeller te zijn van veel andere componenten. Omdat lutum en organische stof sterk aan elkaar gecorreleerd zijn (grafiek links boven in Figuur 5.1), is organische stof ook een goede indicator, maar lutum geeft betere relaties.

Vooral de relatie met ijzer is zeer sterk. Voor zink lijkt het Zoommeer iets minder belast te zijn, maar voor de meeste andere elementen zijn er geen verschillen tussen het Volkerak en het Zoommeer. Er zijn ook enkele elementen die minder goede relaties geven: Het westelijk deel van Volkerak bevat hogere Ca & Mn-gehalten dan de overige locaties en S is in het slibrijke sediment van het Zoommeer veel hoger dan in het Volkerak.

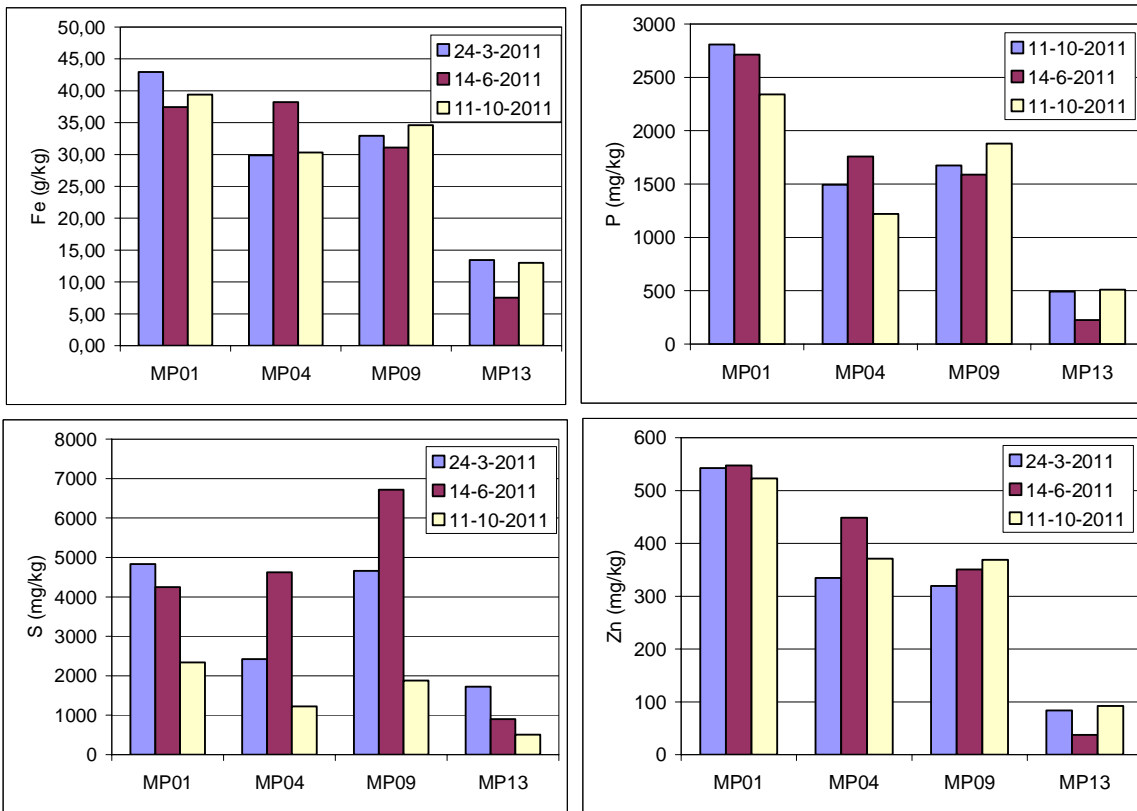


Figuur 5.1 Relatie tussen lutum en OC, Fe, P en Zn

Op basis van Figuur 5.1 is duidelijk dat de Fe/P-ratio vrij constant is. De Fe/P-ratio (mol/mol) voor alle locaties op 24 maart is $12,6 \pm 2,6$.

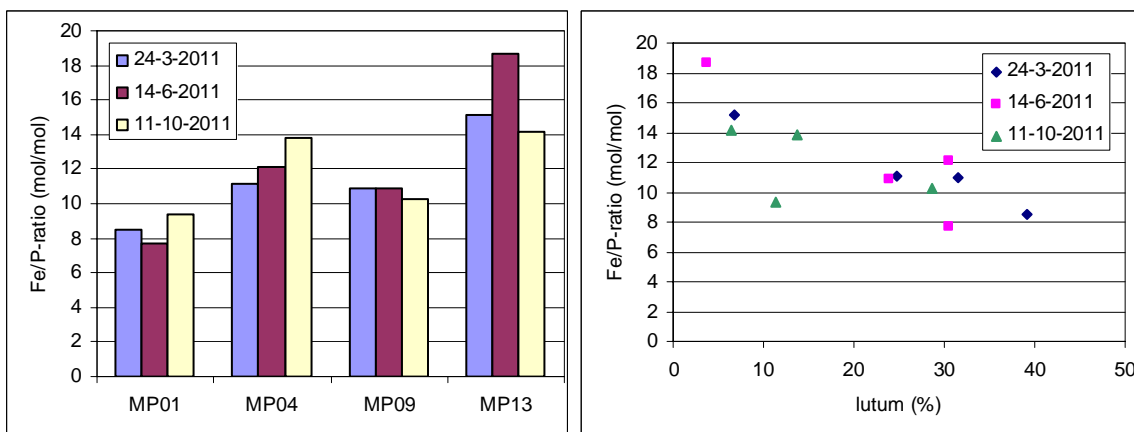
5.2.2 Locaties geanalyseerd op 3 tijdstippen in 2011

Figuur 5.2 toont de totaalgehalten voor de locaties die 3 keer zijn bemonsterd. Fe, P en Zn laten een zelfde beeld zien. Vooral de junimeting op meetpunt 13 wijkt behoorlijk af. Voor de overige meetpunten wordt ook een aanzienlijke spreiding gevonden. Dit kan verklaard worden door de heterogeniteit van het gebied. De grote spreiding in zwavelgehalten is echt opvallend en niet goed verklaarbaar.



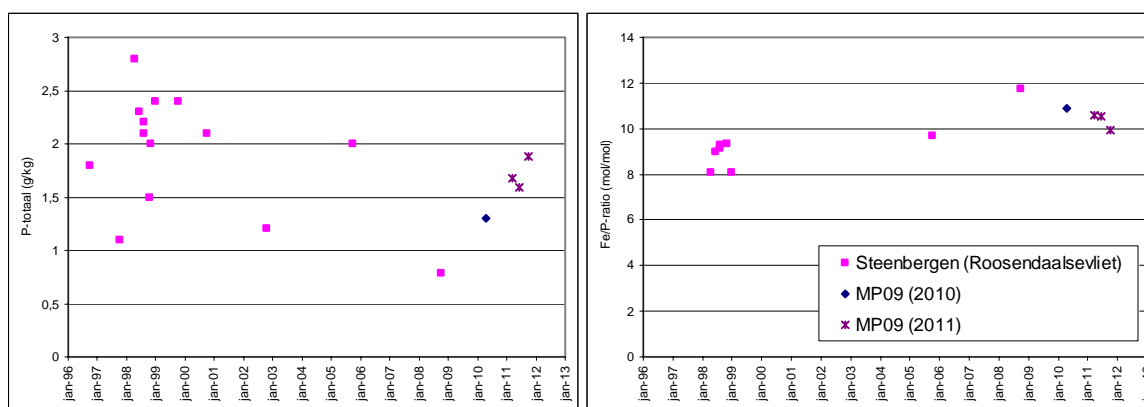
Figuur 5.2 Totaalgehalten Fe, P, S en Zn gemeten op 3 tijdstippen in 2011 in het Volkerak. MP04 betreft in maart een gemiddelde van MP4A en 4B, MP4c (gemeten in juni en oktober) ligt er tussen in. MP01 is in oktober ca. 200 meter vanaf de eerdere locatie bemonsterd (zie 4.1.1 voor toelichting).

De Fe/P-ratio laat minder variatie zien dan de individuele P- en Fe-gehalten. De dikke sliblagen hebben een iets lagere Fe/P-ratio (ca. 8 in de dikke slibpakketten op locatie 1) dan de zandmonsters (ca. 16 op de relatief zandige locatie nabij de Krammersluizen).



Figuur 5.3 Fe/P-ratio's (mol/mol) in sediment op de 4 meetpunten die 3 keer zijn bemonsterd. Rechts is de Fe/P-ratio uitgezet tegen het percentage lutum.

De metingen van 2011 op MP09 passen redelijk in de trend van de historische data. Figuur toont Figuur 3.10 nogmaals, maar nu aangevuld met de metingen van deze studie. De P-totaalmetingen liggen iets hoger, maar dit kan te maken hebben met de dikte van de bemonsterde laag. In de reguliere monitoring wordt doorgaans 10 cm bemonsterd, terwijl in deze studie 5 cm is bemonsterd. Sulu Gambari en Slomp (2012) hebben de kernen in laagjes geanalyseerd en vonden voor Meetpunt 1 lagere concentraties beneden 8 cm. De rechtergrafiek in Figuur 5.4 toont een licht stijging van de Fe/P-ratio. Sulu Gambari en Slomp (2012) vinden zeer lichte daling in de diepte van Meetpunt 1. Het lijkt er dus op dat het meest recent gesedimenteerde materiaal een iets hoger Fe/P-ratio heeft.

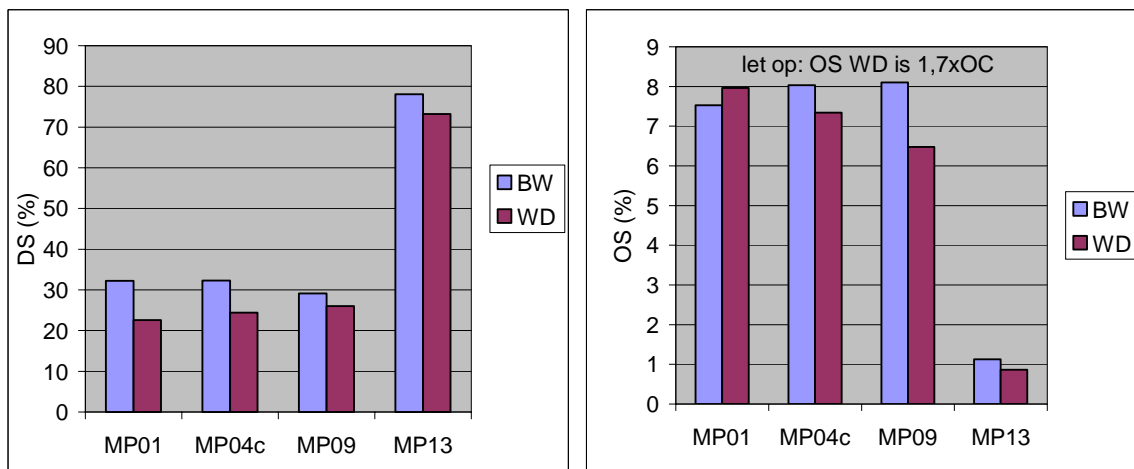


Figuur 5.4 Alle waterbodembedata op (of vlakbij) het meetpunt Steenberg.

5.2.3 Metingen door B-ware op basis van de bemonstering op 14 juni 2011

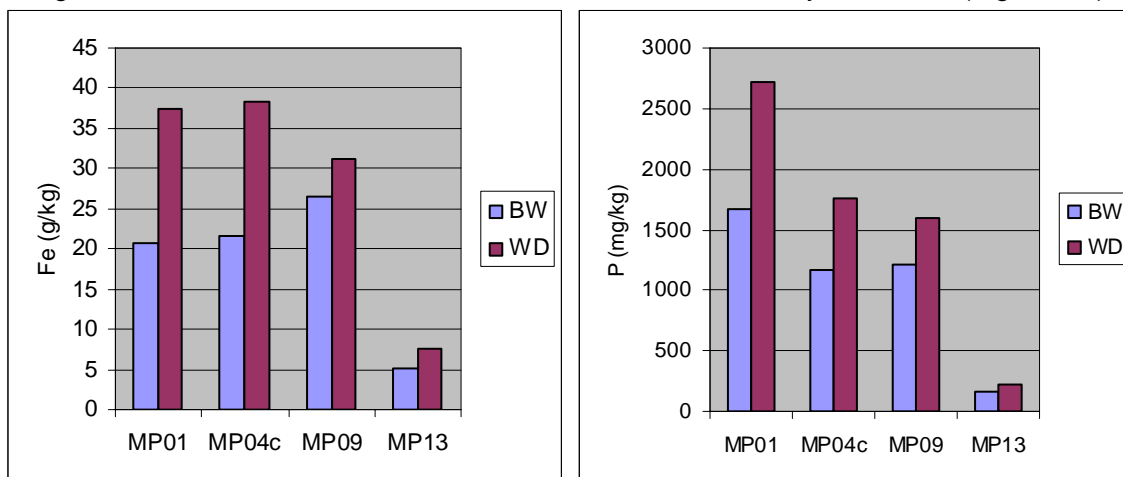
De ruwe data zijn te vinden in bijlage F.

Totaalgehalten zijn in juni zowel door de Waterdienst als door B-ware gemeten. Figuur 5.5, 5.6 en 5.7 tonen de vergelijking voor verschillende parameters tussen de twee labs. Daarbij moet worden opgemerkt dat de monsters voor de twee labs niet exact hetzelfde waren. Aan het einde van de veldwerkdag is de plastic zak goed gemengd. Omdat de monsters bestonden uit slurry was dit goed te doen. Vervolgens is 1 liter monster uit de zak in een pot gegoten. Het overige sediment is de volgende dag in de plastic zak in een koelbox naar B-ware vervoerd. Hoewel voorgaande tot enig verschil kan leiden, zijn de totaalgehalten een goede test of de labs tot dezelfde resultaten leiden. De drogestofgehalten gemeten door B-ware zijn iets hoger en dat geldt gemiddeld ook voor organische stof, al zijn de verschillen in organische stof klein. Omdat lutum een belangrijke indicator is voor ijzer en fosfaat, zijn de monsters van B-Ware later door RWS Waterdienst geanalyseerd op lutum. De rechter grafiek in Figuur 5.7 toont de verschillen in lutumgehalte tussen de WD- en BW-monsters. De verschillen zijn fors en voor MP01 en 04 lijkt het verschil in lutumgehalte inderdaad een verklaring te geven voor de verschillen in Fe en P, maar voor MP09 en in mindere mate MP13 geldt juist het tegenovergestelde.

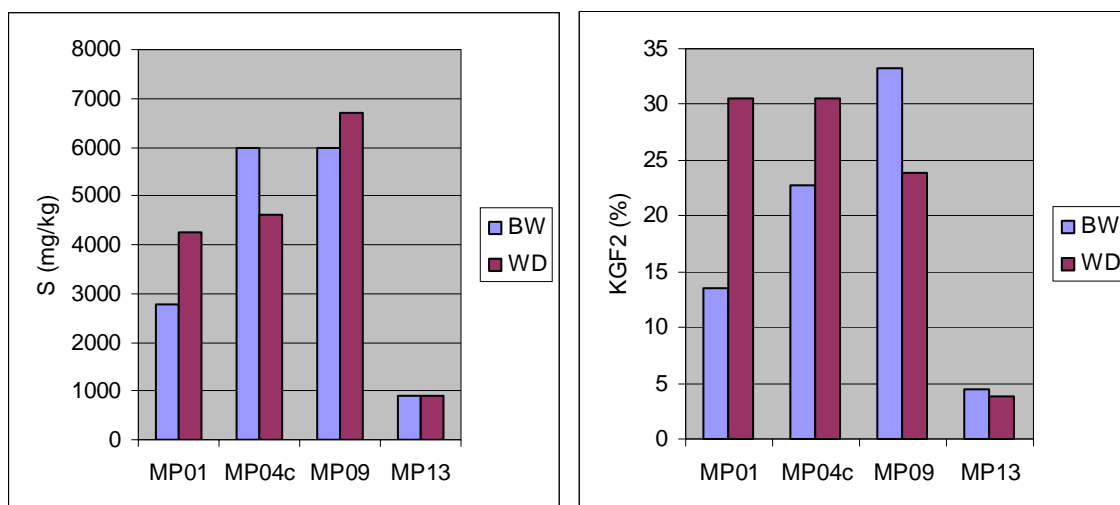


Figuur 5.5 Droge stof (DS) en organische stof (OS) in de sedimentmonsters van de Waterdienst (WD) en B-Ware (BW). B-Ware heeft het gloeiverlies gemeten, de Waterdienst heeft organisch koolstof gemeten. In de grafiek is organisch koolstof (OC) teruggerekend naar organische stof door $OS = 1,7 \times OC$.

Grotere verschillen zijn er voor de gemeten elementen. In de oostelijke monsters MP01 en MP04C zijn voor alle elementen hogere gehalten gemeten door de Waterdienst (zie Figuur 5.6; vergelijkbare figuren zijn er voor Al en Zn en in mindere mate voor Ca en Mg). Voor de westelijke monsters MP09 en MP13 zijn de verschillen duidelijk kleiner en er zijn ook elementen, waar geen systematisch verschil in deze monsters is gevonden, bijvoorbeeld mangaan. S en lutum vertonen weliswaar verschillen, maar niet systematisch (Figuur 5.7).



Figuur 5.6 Fe en P gemeten in de waterbodem op 24 juni 2011 door de Waterdienst (WD) en B-Ware (BW).



Figuur 5.7 S- en lutumgehalten gemeten in de waterbodem op 24 juni 2011 door de Waterdienst (WD) en B-Ware (BW). Voor lutum geldt dat het beide monsters (BW en WD) zijn gemeten door de WD.

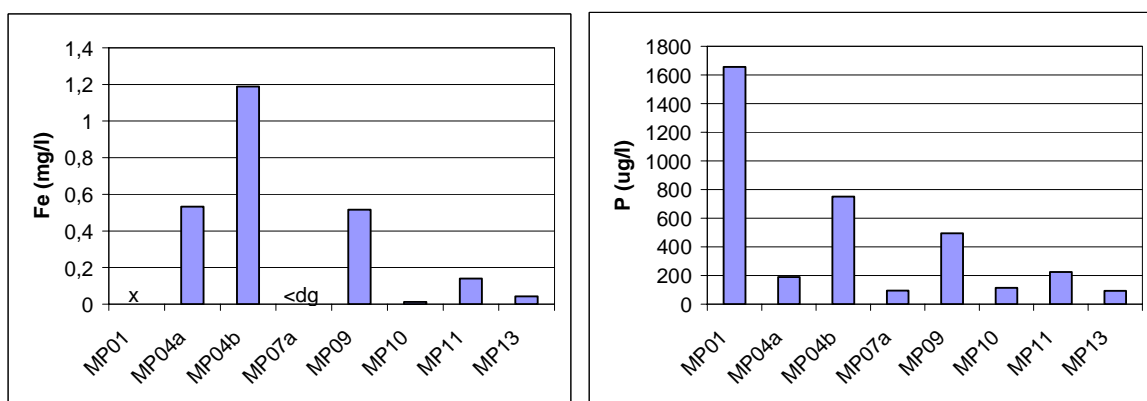
5.3 Poriewaterconcentraties in de toplaag van de waterbodem van het VZM in 2011

De ruwe data zijn toegevoegd in bijlage E.

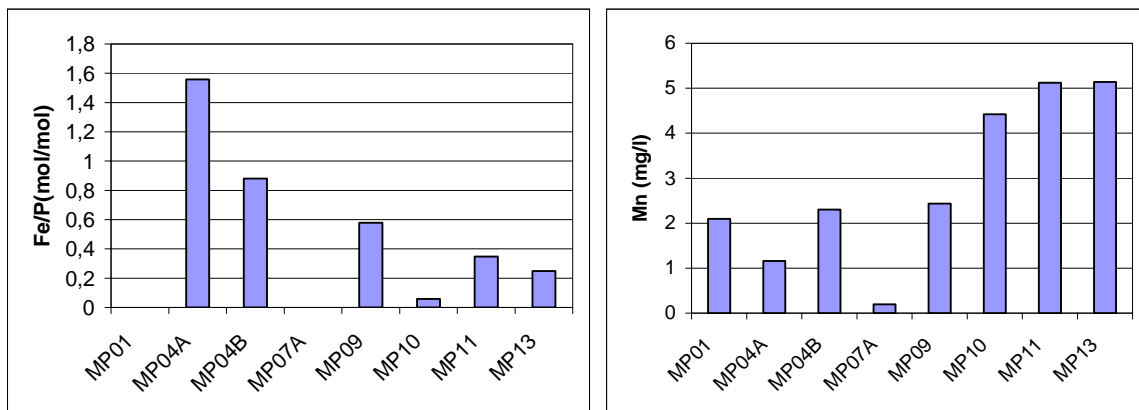
5.3.1 Oriëntatie op 24 maart 2011

In alle monsters in het Volkerak is ook poriewater bemonsterd en geanalyseerd, conform de methode beschreven in hoofdstuk 4. Er is een gradiënt te zien in chlorideconcentraties van 700 mg/l in het westelijk deel tot 250 mg/l in het oostelijk deel. Locatie 10 (net ten noorden van het eiland heeft een opvallend lage chlorideconcentratie (350 mg/l) in het poriewater. Dit kan te maken hebben met de ondiepe ligging van meetpunt 10. Het (zwaardere) zoute water zal zich vooral via de diepere delen verspreiden.

Figuur 5.8 toont de ijzer- en fosforconcentraties in het poriewater. Er is een grote variatie tussen de monsters, waarbij vooral de concentraties in 4A en 4B opvallend zijn; 4A is het slibrijke monster met een hoger P-gehalte, maar de concentraties zijn duidelijk lager dan in monster 4B. Verder tonen de slibrijke monsters (1, 4, 9) wel de hoogste P-concentraties in het poriewater. Ook de Fe/P-ratio varieert aanzienlijk (Figuur 5.9). Voor mangaan valt op dat de concentraties in het slibarme westelijk deel hoger zijn.

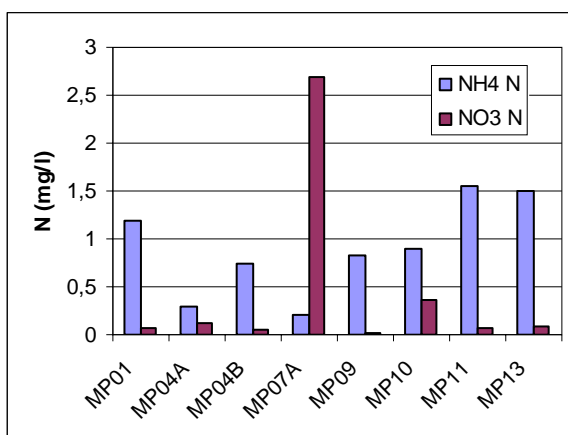


Figuur 5.8 Fe en P-concentraties in het poriewater in het Volkerak bemonsterd op 24 maart 2011. De meting in MP01 was 1611 mg Fe/l en kan onmogelijk correct zijn. Het is niet ondenkbaar dat ook P in MP01 onjuist is. De Fe-concentratie in MP07 was kleiner dan de detectiegrens (0,01 mg Fe/l).



Figuur 5.9 Fe/P-ratio en Mn-concentraties in het poriewater in het Volkerak bemonsterd op 24 maart 2011.

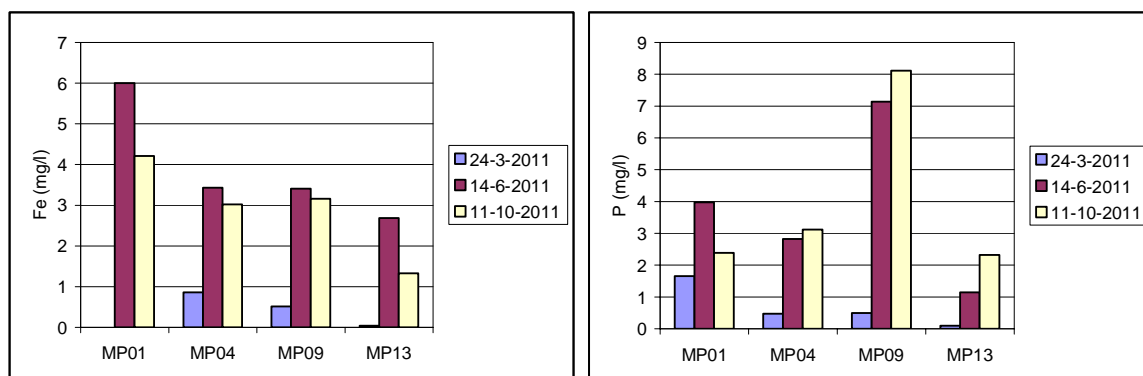
De nitraatconcentraties zijn laag, zoals te verwachten valt in anaëroob sediment, behalve in MP07A. Daar bestond de bodem uit grof zand en werd een nitraatconcentratie gemeten in dezelfde orde van grootte als concentraties in oppervlaktewater. In de meeste monsters is wel ongeveer 1 mg ammonium-N/l aanwezig.



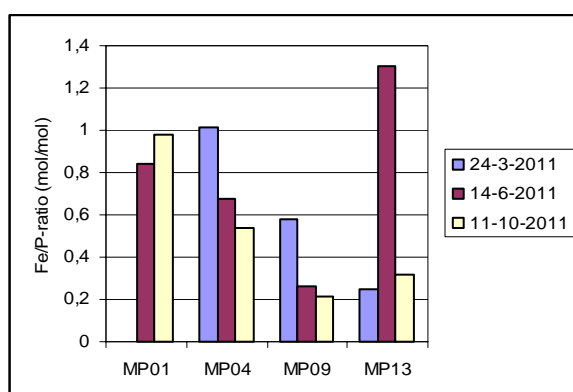
Figuur 5.10 N-concentraties in het poriewater in het Volkerak bemonsterd op 24 maart 2011.

5.3.2 Locaties geanalyseerd op 3 tijdstippen in 2011

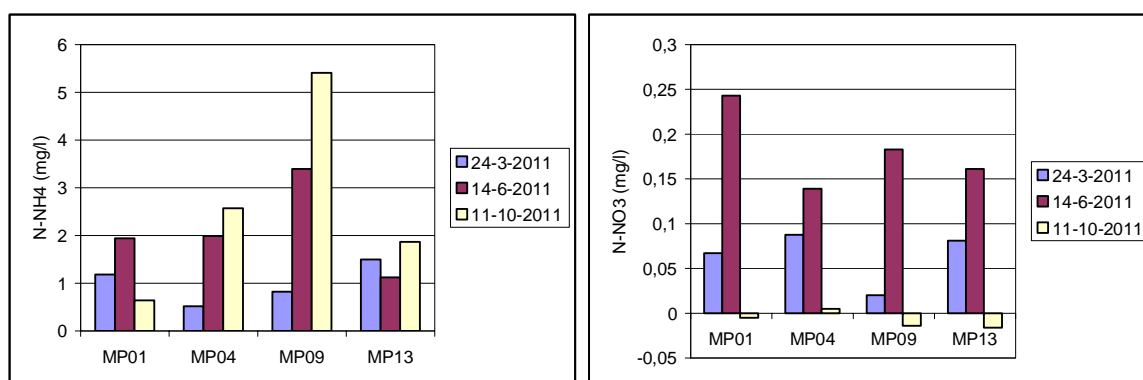
Er is een groot verschil tussen de metingen voor Fe en P in poriewater in maart vergeleken met de metingen in juni en oktober (Figuur 5.11). Dit is ook voor zware metalen te zien, bijvoorbeeld voor zink en arseen. De Fe/P-ratio varieert wel, maar geeft geen duidelijke seizoensfluctuatie (Figuur 5.12). Ook DOC, Mn en SO₄ vertonen weinig seizoensfluctuatie. Stikstof, vooral nitraat, vertoont juist een sterke seizoensfluctuatie (Figuur 5.13). In oktober is er geen nitraat meer in de bodem aanwezig, terwijl ammonium stijgt, behalve in MP01. Dit kan te maken hebben met de afwijkende locatie van MP01 in oktober (zie bijschrift van Figuur 5.11).



Figuur 5.11 Fe- en P-concentraties in het poriewater in het Volkerak bemonsterd op 3 tijdstippen in 2011. Let op: MP01 is in oktober op een ondiepere locatie genomen vanwege een te slappe bodem op de originele locatie. MP04 is in maart een gemiddelde van MP04A en MP04B. In juni en oktober is tussen deze locaties in bemonsterd op locatie MP04C.



Figuur 5.12 Fe/P-ratio in het poriewater in het Volkerak bemonsterd op 3 tijdstippen in 2011 (zie opmerkingen bij Figuur 5.11).



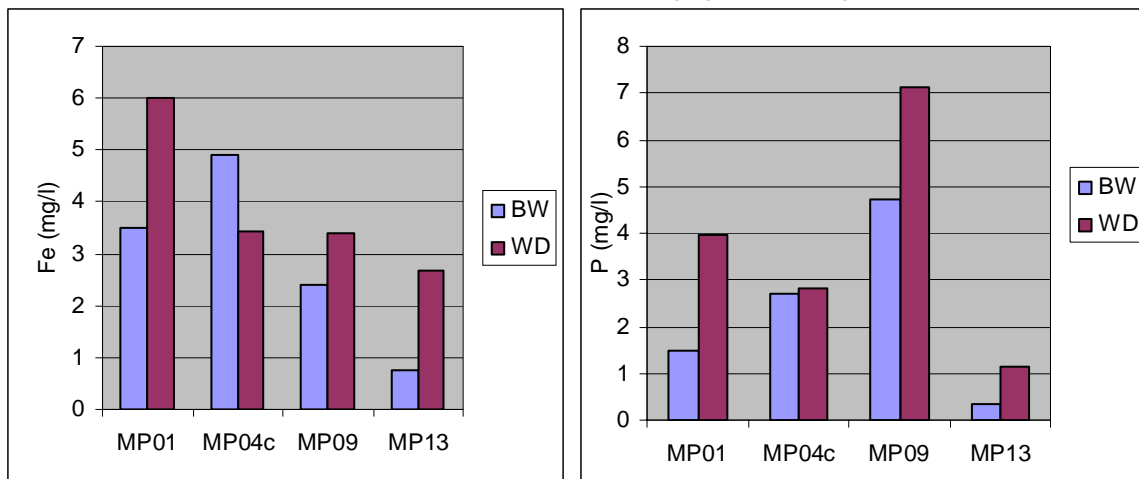
Figuur 5.13 Stikstof in het poriewater in het Volkerak bemonsterd op 3 tijdstippen in 2011 (zie opmerkingen bij Figuur 5.11).

5.3.3 Metingen door B-ware op basis van de bemonstering op 14 juni 2011

Poriewatermonsters zijn in juni zowel door de waterdienst als door B-ware gemeten. De monsters van de twee labs zijn niet exact hetzelfde. Aan het einde van de veldwerkdag was onvoldoende poriewater verzameld voor twee labs. Omdat het poriewater voor de Waterdienst via Rijkswaterstaat werd vervoerd is de eerste batch poriewater aan het einde van de veldwerkdag naar de Waterdienst gestuurd.

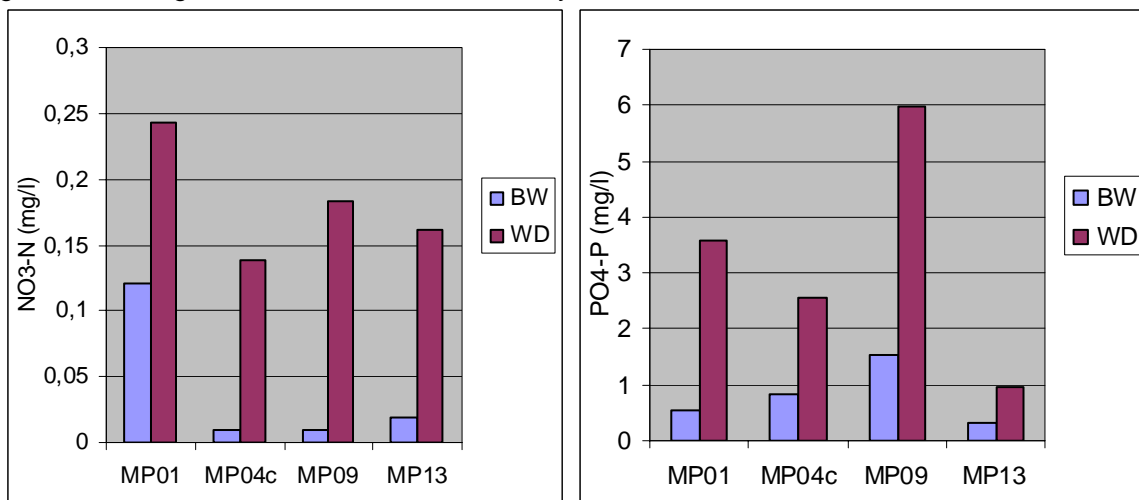
Daarnaast ca. 0,8 tot 1 liter sediment uit de zak gehaald en eveneens naar de Waterdienst vervoerd. Vervolgens zijn de Rhizon samplers weer in de zak gestopt en is het sediment met Rhizons in de koelbox gestopt en in de koelcel bewaard. De volgende ochtend zijn de spuiten afgekoppeld en 's middags vervoerd naar B-Ware in Nijmegen.

De resultaten variëren per element. Voor Cl, Mn en N-NH₄ zijn de resultaten (nagenoeg) gelijk. Voor Fe, S-SO₄ en P zijn de resultaten van de waterdienst in bijna alle gevallen hoger dan van B-Ware. Voor Fe en P zijn de resultaten weergegeven in Figuur 5.14.



Figuur 5.14 Fe en P gemeten in het poriewater op 24 juni 2011 door de Waterdienst (WD) en B-Ware (BW).

De grootste verschillen zitten in de anionen PO₄, NO₃. De analyses van de Waterdienst geven veel hogere concentraties dan de analyses van B-Ware.



Figuur 5.15 NO₃ en PO₄ gemeten in het poriewater op 24 juni 2011 door de Waterdienst (WD) en B-Ware (BW).

5.4 Aanvullende analyses door B-ware

In juni zijn niet alleen poriewaterconcentraties en totaalgehalten gemeten, maar heeft B-Ware aanvullend een extractie uitgevoerd met 0,2 M NaCl, een P-fractionering cf. Golterman (1996) en een oxalaat/oxaalzuur-extractie.

5.4.1 Extractie uitgevoerd met 0,2 M NaCl

Tabel 5.5 toont de zoutextracten

Tabel 5.5 Resultaten in µg/l na extractie van het sediment met 0,2 M NaCl

locatie	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	NO3	NH4
MP01	75	195702	0	22691	46210	3944	147	43207	6178	60	55	571
MP04c	66	160514	4	35703	97149	3316	85	105849	3738	116	14	525
MP09	94	214830	129	32046	60589	13881	142	62705	6939	98	18	3123
MP13	110	112292	0	18121	33283	350	23	37849	2209	61	115	172

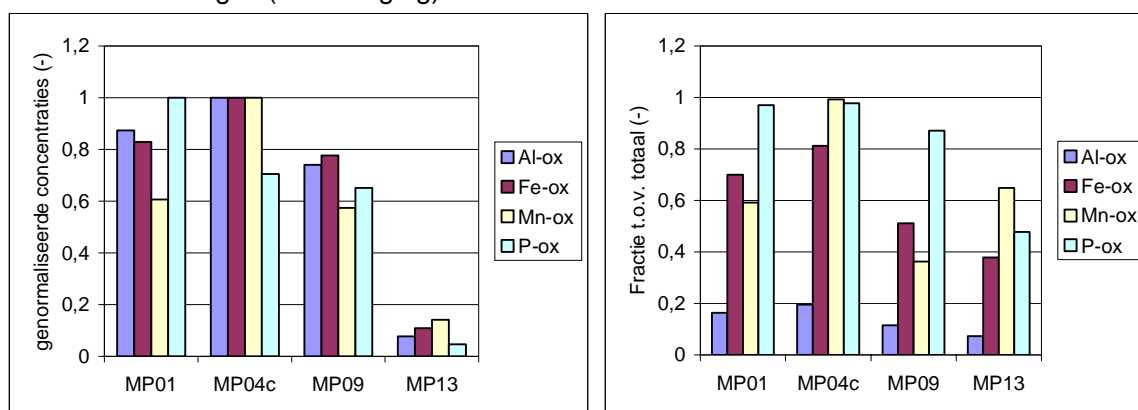
5.4.2 De oxalaat/oxaalzuur-extractie

Tabel 5.6 toont de gehalten geëxtraheerd met een oxalaat/oxaalzuuroplossing gegeven in mg/kg droge stof. In Figuur 5.16 is te zien dat de hoogste gehalten voor Al, Fe, Mn worden gevonden op MP4C, terwijl voor P het hoogste gehalte wordt gevonden op MP01. Figuur 5.16 laat ook zien dat er een duidelijk verschil is tussen de meetpunten 01, 04c en 9 aan de ene kant en MP13 aan de andere kant. Ook de fractie die ten opzichte van het totaal wordt geëxtraheerd is veelal lager in MP13, maar het verschil is minder groot. Er vallen in de oxalaat/oxaalzuur-extraheerbare fractie ten opzichte van P-totaal twee dingen op: 1) de Mn-ox is in MP13 opvallend hoog. Dit sluit aan bij de relatief hoge concentraties van mangaan in poriewater (zie Figuur 5.9). 2) P-ox is in de slibrijke monsters zeer hoog (85-100% van P-totaal, terwijl in BaggerNut maar 7 van de 29 locaties hoger dan 80% scoren). Blijkbaar is P in het slib vrijwel geheel geassocieerd met amorfe Fe/Al-hydroxiden en eventueel als calciumfosfaat aanwezig. In MP13 is de binding duidelijk sterker. Het gaat om lagere gehalten en het aandeel van organisch P is dan waarschijnlijk groter. Ook ijzer is in MP13 (en MP9) duidelijk minder makkelijk te ontsluiten.

Tabel 5.6 Gehalten oxalaat/oxaalzuur-extraheerbare componenten in mg/kg droge stof.

Component	MP01	MP04c	MP09	MP13
Al-ox	1598	1830	1356	141
Fe-ox	14491	17476	13573	1898
Mn-ox	503	829	476	117
P-ox	1618	1141	1053	75

In het Volkerak-Zoommeer is de bijdrage van ijzerhydroxiden veel groter dan de bijdrage aluminiumhydroxiden. In BaggerNut blijkt dat dit niet overal in Nederland het geval is, vooral niet als Fe-ox laag is (< 100 mg/kg).



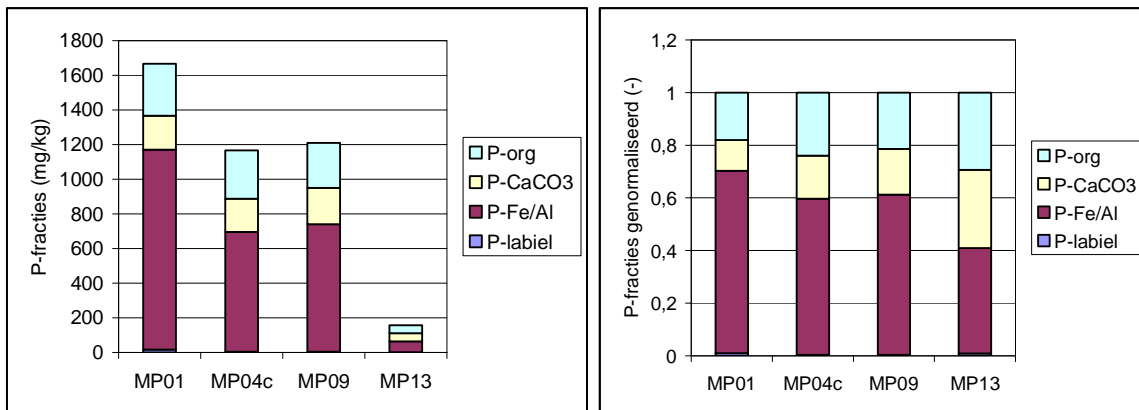
Figuur 5.16 Concentraties oxalaat/oxaalzuur-extraheerbare stoffen genormaliseerd op de hoogste concentratie (links) en fractie oxalaat/oxaalzuur-extraheerbare stoffen ten opzichte van het totaalgehalte (rechts).

5.4.3 De P-fractionering

Een nadere duidelijk van de wijze waarop P aanwezig is in het sediment wordt verkregen met de fractionering. Er worden 4 fracties onderscheiden: 1) P-labiel (uitwisselbaar), 2) P-Fe/Al, 3) P-CaCO₃ en P-orgaanisch (residu).

Figuur 5.17 toont de resultaten. De labiele fractie is kwantitatief verwaarloosbaar. Zoals in 5.4.2 werd verondersteld, is de fractie P-org inderdaad relatief groter in MP13 en dat geldt ook voor de fractie P-CaCO₃. De bijdrage van P-CaCO₃ is relatief hoog in het Volkerak-Zoommeer. Sulu-Gambari en Slomp (2012) scheiden in hun extractie-methode "authigeen" en "detrital", maar stellen dat beide fracties in het Volkerak-Zoommeer lijken te bestaan uit niet-reactieve fosfaatmineralen die van elders zijn aangevoerd.

Toch bevestigen de oxalaat/oxaalzuur-extractie en de fractionering elkaar niet helemaal. In MP13 is P-Fe/Al gelijk aan de oxalaat/oxaalzuur-extraheerbare fractie, terwijl in de overige monsters zelfs een deel van P-org in de oxalaat/oxaalzuur-extraheerbare fractie zit.



Figuur 5.17 Verschillende P-fracties zoals bepaald met de fractioneringsmethode cf Golterman (1996).

5.5 Mineraalprobes

Bij het uitzetten van de mineraalsensoren zijn onderwater foto's gemaakt (Foto 5.2) op de ondiepe locatie 4. In de foto's wordt het duidelijk dat de horizontale plastic plaat inderdaad op de sediment – waterovergang ligt. Daarmee is zeker dat de bovenste sensor deels in het water en deels in het sediment zit.

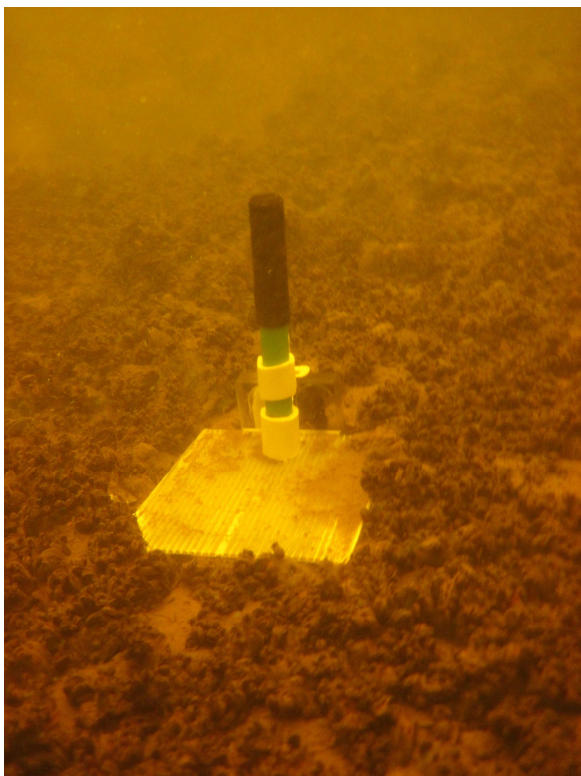


Foto 5.2 Foto genomen na het plaatsen van mineraalprobes op locatie 4. Er is een hoge dichtheid mosselen op de bodem.

De detailfoto's van de mineraalsensoren laten geen verschijnselen van oplossing/neerslag zien. De analyseresultaten van de micro-XRF bevestigen dat er chemisch geen significante) veranderingen zijn opgetreden tijdens het gehele duur van het experiment. De voornaamste oorzaak hiervan is een combinatie van de gebruikte analysetechniek en ontwerp van de mineraalsensoren. Er is meer onderzoek nodig naar optimalisatie van de sensoren. Meer informatie over dit deel van het onderzoek is beschreven in Verheul (2011).

6 Interpretatie van de resultaten en discussie

6.1 Geografische karakterisering van de bodem in het Volkerak-Zoommeer

Het lutumgehalte in de monsters is een belangrijke indicator voor de P-gehalten (Figuur 5.1). Om een beeld van de nalevering van de waterbodembodem te krijgen is het dus belangrijk dat er een goed beeld wordt verkregen van de verdeling van het slib.

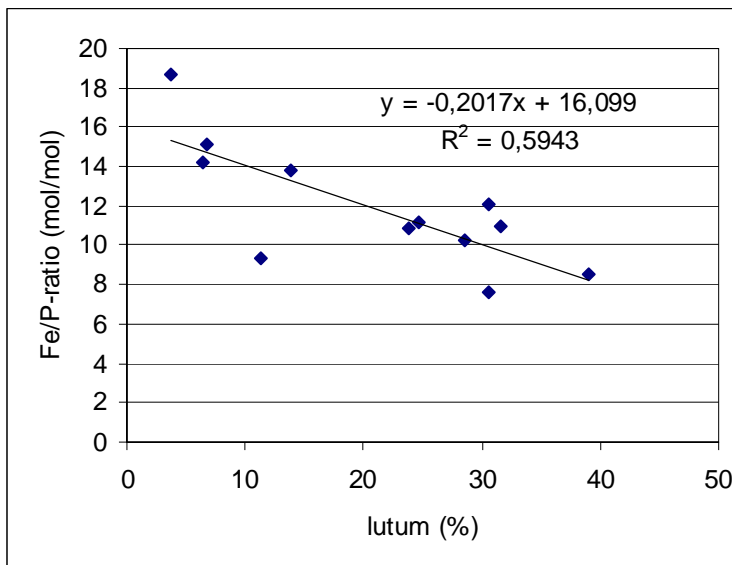
De slibrijke (en dus P-rijke) bodems bevinden zich vooral in delen dieper dan ca. 5 meter. Bovendien ligt in het oostelijk deel meer slib dan in het westelijk deel. Meetpunten 11 en 13 hadden een diepte van resp. 9 en 8 meter, maar de sliblaag was minimaal. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat MP11 in 2010 wel als slibrijk monster was gekarakteriseerd. Verder geven de metingen in 2010 aan dat de Eendracht (wel diep) ook relatief zandig is; het Spuikanaal is wel slibrijk.

De huidige verdeling tussen de slibrijke en zandige gebieden in het Volkerak-Zoommeer moet vooral gezocht worden in de afsluiting in 1987. Voor de afsluiting waren de stroomsnelheden in de geul te hoog om sedimentatie van slib te krijgen. Voor de afsluiting waren juist de ondiepe delen slibrijk. De oude namen doen dit ook vermoeden: Slikken van de Heen, Krammerse slikken. Ook de Hellegatsplaten kenden een stevige sliblaag. De afsluiting heeft twee effecten gehad, die verantwoordelijk zijn voor het slibtransport van de ondiepere naar de diepe delen. Ten eerste is de stroomsnelheid in de geulen veel lager geworden, waardoor zwevende stof daar kon sedimenteren. Ten tweede zorgen de lagere zoutconcentraties voor minder cohesie tussen de slibdeeltjes, waardoor stabiele slibpakketten gevoeliger worden voor opwerveling. Wat nog extra geholpen kan hebben om het slib te verplaatsen zijn de inrichtingswerkzaamheden; er zijn eilandjes opgespoten en geultjes gebaggerd in de ondiepe gebieden, hierbij zal het slib in suspensie zijn gegaan en uiteindelijk in de diepe delen terecht zijn gekomen. Het resultaat is dat nu de ondiepe delen zandig zijn geworden en de slibpakketten zich in de diepe delen bevinden. Behalve verplaatsing van slib binnen het Volkerak-Zoommeer is er ook nog slib aangevoerd uit de Hollands Diep, de Vliet en de Dintel en door afslag van oevers. Ook is er natuurlijk interne slibproductie (m.n. algen). Over de verhouding van de verschillende 'slibbronnen' is niets bekend (persoonlijke communicatie Kees-Jan Meeuse, RWS Zeeland).

6.2 Fluxberekening per meetpunt

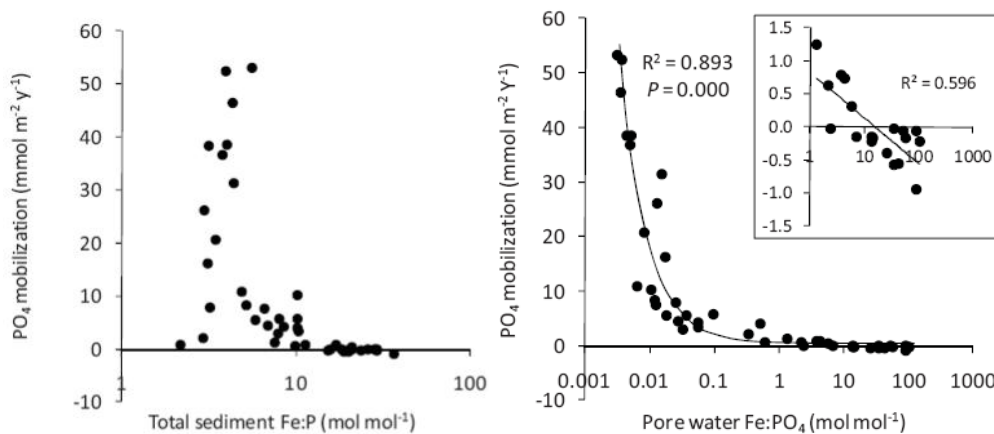
De centrale vraag die in dit rapport moet worden beantwoord, is: 'Wat is (door het jaar heen) de actuele P-nalevering van en P-opname door waterbodembodem?'

Tot nu toe is vaak naar de Fe/P-ratio gekeken om iets te zeggen over nalevering. De Fe/P-ratio (mol/mol) in sediment ligt voor alle locaties in 2012 tussen 8 en 16 met 12 als gemiddelde waarde. Geurts (2010) stelt dat een Fe/P-ratio > 10 (mol/mol) voldoende is. Het Volkerak-Zoommeer zit ongeveer op die grens van 10, waarbij een verband is geconstateerd tussen de Fe/P-ratio en het lutumpercentage (Figuur 6.1).



Figuur 6.1 relatie tussen de Fe/P-ratio in sediment en het lutumpercentage.

Een andere indicator is de Fe/P-ratio in poriewater. In het VZM varieert deze van 0,2 tot 1. Deze ratio zou bij voorkeur >1 moeten zijn, maar de range in het VZM is, afgemeten aan Figuur 6.2, nog niet meteen indicatief voor hoge nalevering. Die treedt pas op bij Fe/P-ratio's < 0,1.



Figuur 6.2 PO₄-mobilisatie als functie van de Fe/P-ratio in sediment (links) en poriewater (rechts) zoals gemeten door Geurts (2010).

Bovengenoemde indicatoren zijn echter sterk kwalitatief. In het project BaggerNut wordt voor een groot aantal locaties in Nederland een relatie afgeleid tussen eenvoudige parameters die in de waterbodem gemeten kunnen worden en de (diffusieve) nalevering uit de bodem aan het oppervlaktewater. Tot nog toe is de beste relatie gevonden tussen de P-concentratie in poriewater en de nalevering (Poelen et al., 2011). Hoewel BaggerNut nog niet is afgerond, zijn de voorlopige relaties, gebaseerd op 12 van de 24 locaties, in dit project gebruikt. Deze formule luidt:

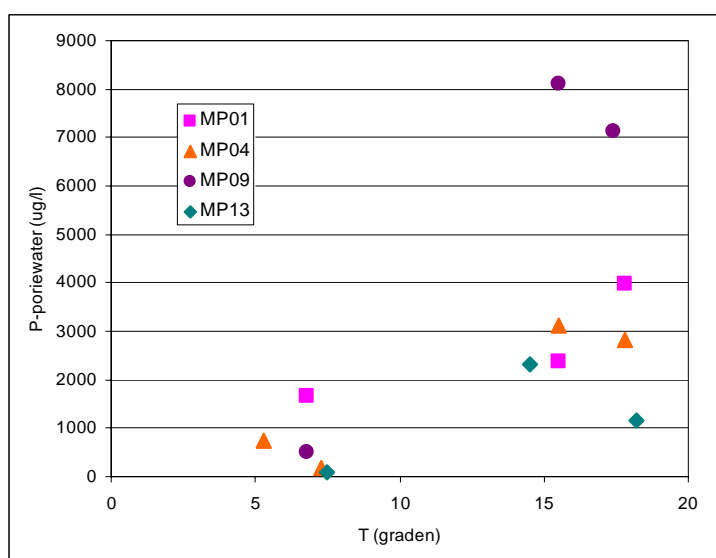
$$F_{P,bodem,15^{\circ}C} = 0,00005 \times (P_{pw,15^{\circ}C})^2 + 0,017 \times P_{pw,15^{\circ}C} + 0,1069 \quad [5.1]$$

Met:

$F_{P,bodem,15^{\circ}C}$ = de flux uit de bodem bij een temperatuur van 15°C (mg/m²/dag)

$P_{pw,15^{\circ}C}$ = P-concentratie in het poriewater bij 15°C (mg/l)

Voor elk meetpunt is de poriewaterconcentratie bij 15°C geschat op basis van Figuur 6.3. Hierin is te zien dat de poriewaterconcentraties boven de 15°C een sterke variatie gaan vertonen. Wel ligt P_{pw} in MP09 duidelijk hoger dan de andere 3 meetpunten. De geschatte concentratie bij 15°C is opgenomen in Tabel 6.1. Meetpunten 01 en 04 vertoonden zodanig weinig variatie, dat ze dezelfde gemiddelde waarde hebben. Vervolgens wordt de flux bij 15°C berekend op basis van de voorlopige relatie tussen poriewater en naleveringsflux uit het project BaggerNut.



Figuur 6.3 Poriewatermetingen (uit Figuur 5.11) in het VZM uitgezet tegen de watertemperatuur nabij de bodem (zie Figuur 3.7).

Tabel 6.1 Geschatte concentratie in het poriewater bij 15 °C en de berekende P-flux.

	MP01	MP04	MP09	MP13
$P_{pw,15^{\circ}C}$ (mg P/l)	2,25	2,25	5	1,3
$F_{P,bodem,15^{\circ}C}$ cf.vgl. 5.1 (mg P/m2/dag)	1,61	1,61	4,15	0,91

De P-flux bij 15°C is vervolgens vertaald naar een temperatuurafhankelijke maandflux met behulp van onderstaande vergelijking:

$$F_{P,bodem} = F_{P,bodem,15^{\circ}C} \times 0,123 \times e^{0,148 \times T_{bodem}} \quad [5.2]$$

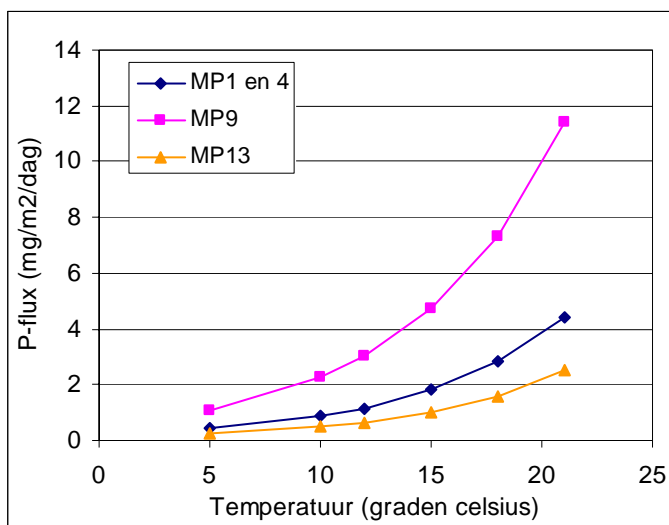
Waarin:

F_{bodem} = de actuele P-flux uit de bodem

$F_{bodem,15^{\circ}C}$ = de P-flux uit de bodem bij 15°C

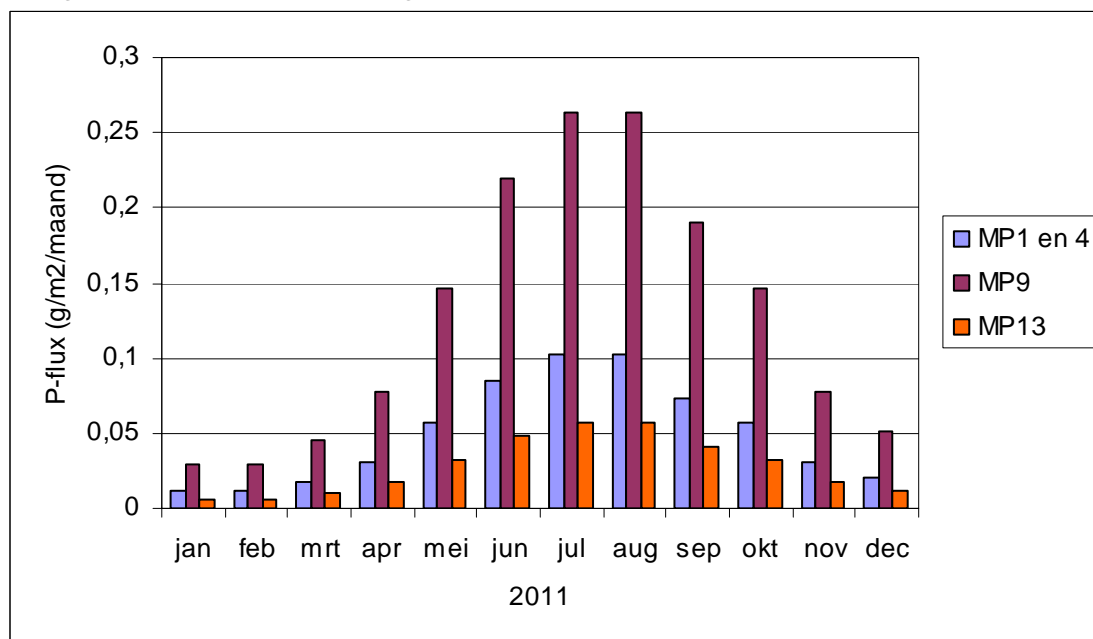
T_{bodem} = de temperatuur in de toplaag van de waterbodem; deze wordt gelijkgesteld aan de watertemperatuur (de aanname is dus dat het systeem gemengd is en dat de toplaag in de toplaag van waterbodem sterk gerelateerd watertemperatuur).

Als deze temperatuurrelatie wordt toegepast op de berekende fluxen bij 15 °C op de meetpunten, levert dat Figuur 6.4 op.



Figuur 6.4 Fit van de P (na filtratie) in poriewater gerelateerd met temperatuurcorrectie. De curve is verkregen door op basis van de metingen de P in poriewater bij 15 °C te schatten op basis van interpolatie (uitgaande van een gemengde waterlaag, dus geen anaerobe condities bij de bodem)..

Samen met Figuur 3.7, waarin de watertemperatuur in 2011 op MP09 is weergegeven, kan nu de maandelijkse P-flux worden berekend (Figuur 6.5). Dit resulteert in een jaarflux van 0,33 g/m²/jaar op MP13 tot 1,53 g/m²/jaar op MP09.

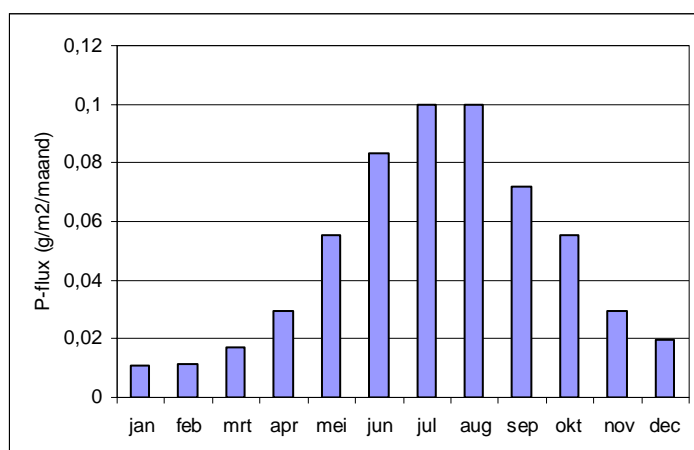


Figuur 6.5 Berekende flux op basis van gemeten poriewaterconcentraties in de bovenste 5 cm van het sediment met temperatuurcorrectie op basis van de watertemperaturen in 2011.

6.3 Schatting van de (bruto) interne eutrofiering in het Volkerak-Zoommeer

Zoals in 6.1 is beschreven zijn de ondiepe delen in het VZM tegenwoordig zandig. Deze zandige delen lijken minder nalevering te veroorzaken vergeleken met de slibbodems. De slibbodems liggen in het Volkerak de diepere delen (>5m). 40% van het VZM is dieper dan 5 m (Arcadis, 2009). Voor het westelijk deel (10% van het totaal) wordt MP04 als uitgangspunt gekozen. Dat ligt weliswaar niet in het westelijk deel, maar is wel wat ondieper.

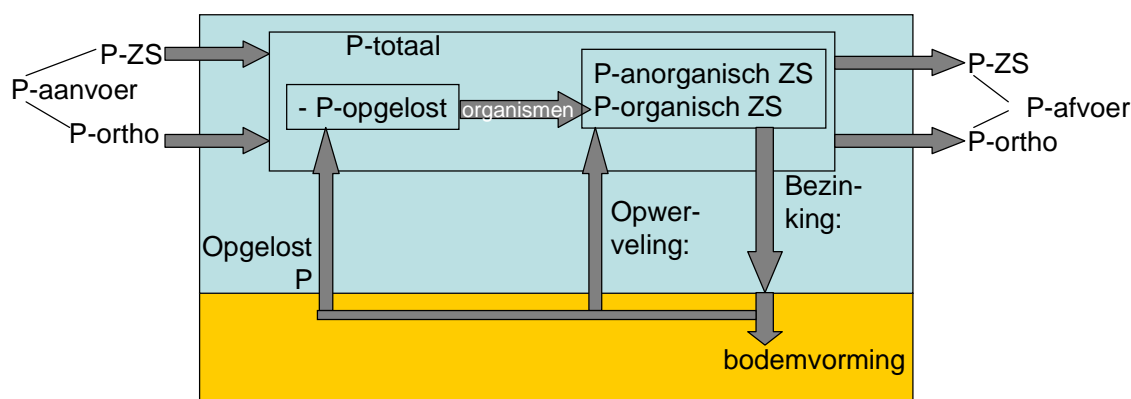
Voor het oostelijk deel (30% van het totaal) wordt het gemiddelde van MP01 en 09 genomen en voor de ondiepere delen (60% van het totaal) wordt MP13 genomen. Het resultaat is zichtbaar in Figuur 6.6 en de resultante gebiedsdekkende flux ligt zeer dichtbij de flux van MP01 en 04 in Figuur 6.5. De jaarlijkse flux in het Volkerak-Zoommeer wordt geschat op 0,58 g/m²/jaar.



Figuur 6.6 Berekende P-flux vanuit de bodem in het VZM gecorrigeerd voor temperatuur en voor de verschillende bodemtypen.

6.4 Interpretatie van de naleveringsflux

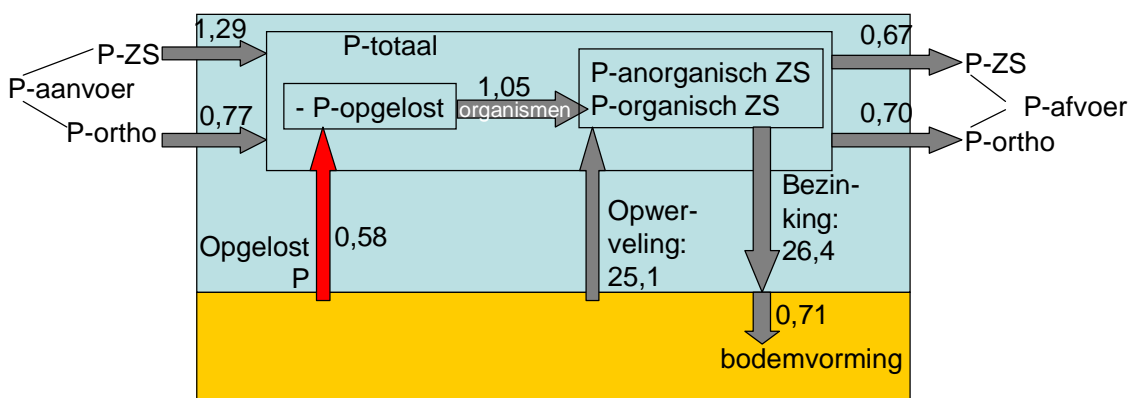
Hoe moeten die berekende fluxen worden geïnterpreteerd? Ze geven een indicatie van de bruto flux van opgelost fosfaat uit de bodem naar het oppervlaktewater. Het is vooral van belang dat deze getallen gezien worden in relatie tot de overige belasting. De Vries et al. (2011) hebben berekend dat de externe aanvoer van ortho-P in de afgelopen jaren ca. 0,77 g/m²/jaar is. Figuur 6.7 geeft de belangrijkste processen in het VZM weer. In de balansstudie zijn de aan- en afvoer berekend over de periode 2005-2009. Dit is uitgesplitst in P-zwevende stof en P-ortho. Er is de laatste jaren een netto accumulatie van (vooral zwevende stof gebonden) P in het VZM. Het zwevende stof bezinkt definitief, vooral in diepe delen, en gaat permanent onderdeel uitmaken van de waterbodem (diagenese). Naar dat laatste aspect heeft de Universiteit Utrecht (Sulu Gambari en Slomp, 2012) gekeken.



Figuur 6.7 Relevante processen voor de nutriëntenbalans in het VZM.

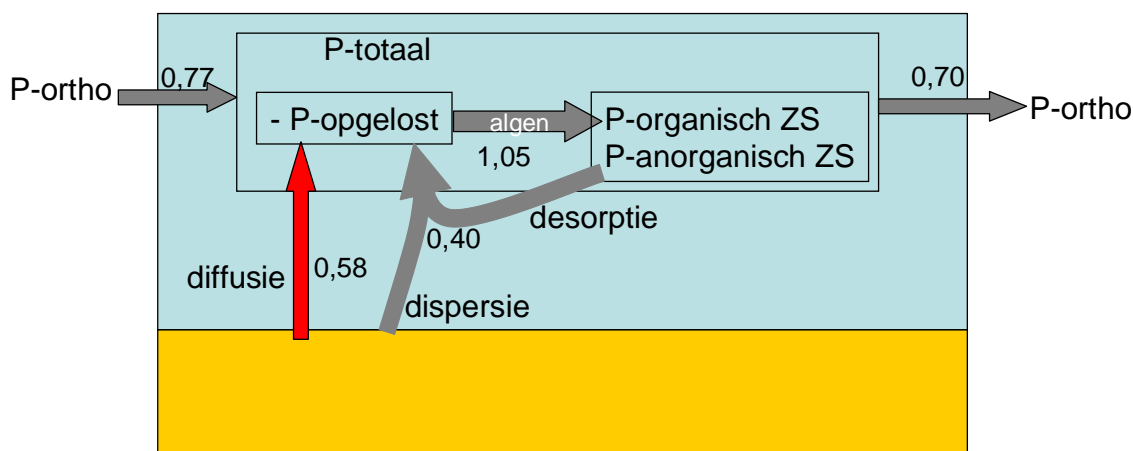
In deze studie is op basis van metingen een specifiek proces gekwantificeerd: de P-belasting vanuit de bodem (0,58 g/m²/jaar), zie paragraaf 6.3. Daarmee is de puzzel nog niet opgelost.

In BaggerNut worden ook de overige interne processen gekwantificeerd (Osté en Van de Weerd, in voorbereiding). Opgelost fosfaat wordt in de loop van het seizoen voor een groot deel omgezet in detritus dat op de bodem belandt. De vorming van detritus (pijl organismen in Figuur 6.8) wordt bepaald op basis van generieke algengroei- en sterfteformules van Los (2009), die chlorofylconcentraties en temperatuurmetingen als invoer vragen. Bijlage F toont de berekeningen. De grootste onzekerheid zit in de bezinkingsflux. De bezinkingssnelheden van verschillende deeltjes kunnen sterk variëren. Voor het Vokerak-Zoommeer is gekozen voor een (gemiddelde) bezinkingssnelheid van 0,6 m/dag. Uit de bezinking volgt de opwerveling, zodat de balans klopt. Figuur 6.8 toont dat opwerveling en bezinking kwantitatief de grootste posten zijn, maar deze beïnvloeden de biologische processen beperkt. Alleen als het opgewervelde materiaal door desorptie extra opgelost P levert, kan de mate van opwerveling invloed hebben op de biologische processen.



Figuur 6.8 Relevante processen voor de nutriëntenbalans in het VZM voor de periode 2005-2009 (getallen geven de flux van de betreffende pijl weer in $g/m^2/jaar$). P-ZS is in deze balans waarschijnlijk te hoog ingeschat vanwege de pieken in P-totaal tussen 2008 en 2010 (Figuur 3.2). Dat zou betekenen dat de bodemvorming hoger is dan $0,71 g/m^2/jaar$.

Figuur 6.8 toont dat de netto ortho-P aanvoer slechts $0,07 g P/m^2/jaar$ is. Samen met de $0,58 g P/m^2/jaar$ uit de bodem is dat onvoldoende om $1,05 g P$ -detritus te produceren. Het kan natuurlijk zijn dat de diffusieflux uit de bodem te laag is berekend. Dit is zeker het geval als de bodem anaëroob is tijdens de zomer, maar dat is, als het al voorkomt, beperkt tot de diepste delen. De meest waarschijnlijke verklaring is dat diffusie niet het enige proces is dat zorgt voor nalevering. In het veld spelen nog twee andere processen een rol: 1) dispersie: waterstroming aan het bodemoppervlak als gevolg van de onder-/overdruk die wordt veroorzaakt door golven, en 2) desorptie van P dat is gebonden aan (opgewervelde) zwevende stof. In het Volkerak leiden deze processen tot een flux die ca. 60% hoger is dan alleen diffusie gedreven P-transport. Figuur 6.9 geeft totale balans weer voor ortho-P, inclusief dispersie en desorptie.



Figuur 6.9 De fluxen voor ortho-P in het Volkerak-Zoommeer in de periode 2005-2009.

In de periode van 2000-2004, met aanzienlijk hogere chlorofylconcentraties (zie bijlage F), was de jaarproductie van detritus ca. 3,3 g/m². Het zou interessant zijn om te weten of de poriewaterconcentraties in die periode veel hoger waren vanwege de hogere *turn-over* van de organische stof, maar poriewaterconcentraties zijn voor het eerst gemeten in 2011. Het is echter onwaarschijnlijk dat processen in de waterbodem de oorzaak zijn geweest van de omslag. Het is wel mogelijk dat de concentraties in de bodem zich in relatief korte tijd (enkele jaren) hebben aangepast.

Figuur 6.9 zou de indruk kunnen wekken dat sanering van de waterbodem zou kunnen leiden tot 60% minder belasting van opgelost fosfaat, maar het is een misvatting dat een ingreep in de bodem zou kunnen leiden tot een bodembelasting van 0. Geen enkele bodem is fosfaatloos en op termijn zorgt de cyclus in de waterkolom (met bezinking van zwevende stof) ervoor dat de flux uit de bodem in evenwicht komt met de externe belasting. In het Volkerak-Zoommeer zijn de interne en externe flux qua grootte vergelijkbaar. Hoewel er nauwelijks criteria zijn voor de verhouding tussen interne en externe belasting, lijkt de interne belasting in dit systeem niet extreem hoog ten opzichte van de externe belasting. Dit wordt ondersteund door indicatoren, zoals de Fe/P-ratio's in sediment en poriewater. De bodem bevindt zich rondom gestelde criteria (voor sediment en poriewater is dat een Fe/P-ratio van 10 mol/mol).

De ecologische veranderingen beperkten zich niet alleen de algenbloei. Uit een studie van RWS en de Hogeschool Rotterdam (Nefs, 2012) blijkt dat de driehoeksmosselen zo goed als verdwenen zijn, maar dat de quagga-mosselen op grote schaal voorkomen en dat de filtratiecapaciteit van de quagga-moasselen voldoende is om het Volkerak-Zoommeer in enkele dagen te filtreren. De waterplantenbedekking in het Volkerak-Zoommeer is gestegen van 5% in 2008 naar 13% in 2010. Tevens treedt er een verschuiving op van schedefonteinkruid als dominante soort naar draad- en vooral darmwier. Ook de visstand lijkt zich te verschuiven: minder snoekbaars en brasem en meer baars. Deze ecologische veranderingen zijn niet alleen het gevolg van helderder water, maar beïnvloeden de waterkwaliteit ook: planten nemen P gedeeltelijk op uit de waterfase, waardoor vooral ortho-P-concentraties kunnen dalen. Minder benthivore vis geeft minder opwerveling. In een complete stoffenbalans horen deze processen ook thuis, maar dat lag buiten de reikwijdte van dit project.

6.5 Vergelijking met studie van de Universiteit Utrecht (UU)

Zoals in hoofdstuk 1 is gemeld is parallel aan deze studie onderzoek uitgevoerd door de UU (Sulu-Gambari, 2012). De UU heeft vooral de begraving van P in het sediment gekeken. Daarvoor zijn sedimentkernen gestoken die in dunne lagen zijn geanalyseerd. De analyses zijn echter gedeeltelijk hetzelfde als in dit rapport. De totaalgehalten in het onderzoek van de UU ca. 10% hoger omdat zij een zwaardere ontsluitingsmethode gebruiken. Er zijn in juni wel grote verschillen tussen de Fe- en P-concentraties in poriewater. MP01, 04 en 09 geven in deze studie veel hogere waarde dan in de UU-studie (factor 5 verschil), terwijl voor MP13 het tegenovergestelde geldt, voor die locatie meet de UU een factor 4 hoger. MP01 en 09 zijn in augustus nogmaals bemonsterd door de UU en de metingen wijken dan af van de juni-metingen. De UU-metingen voor P in poriewater liggen in dezelfde orde van grootte als de metingen (juni en oktober) in dit rapport. Tabel 6.2 toont de waarden voor P. De verschillen in juni laten zich slecht verklaren. Als er al verschillen optreden, wordt verwacht dat de metingen in een ongestoorde kolom hoger zijn omdat er geen zuurstof bij kan. De enige reden voor hogere concentraties in plastic zakken is dat het bewerken van bagger (bijv. verplaatsen of drogen) bijna altijd een (tijdelijke) mobiliteitsverhoging geeft.

Tabel 6.2 Metingen voor P in poriewater (mg P/l) op de verschillende tijdstippen in vergelijking met de metingen van de UU (schatting uit grafieken voor de bovenste 5 cm). Tussen haakjes de Fe/P-ratio in mol/mol.

Locatie	Deze studie juni	Deze studie oktober	UU juni	UU augustus
MP01	4,0 (0,85)	2,4 (1,0)	-*	2,8 (1,1)
MP04	2,8 (0,65)	3,1 (0,55)	0,6 (0,3)	
MP09	7,2 (0,25)	8,1 (0,2)	1,2 (0,5)	6,2 (0,5)
MP13	1,2 (1,3)	2,2 (0,3)	4,5 (0,1)	

* geen metingen in bovenste 5 cm; metingen op 5-7 cm diepte geven een concentratie van ca. 0,9 mg P/l

Naast de totaalgehalten en poriewaterconcentraties is in het UU-project ook een sequentiële extractie uitgevoerd op locatie 1 in augustus. Hoewel deze extractie niet precies hetzelfde is als extractie gebruikt in Figuur 5.17, maar de fractieverdeling op locatie 1 wijst uit dat Fe/Al-P veruit de belangrijkste fractie is. De fractie organisch P is in deze studie twee keer zo hoog, maar het organischestofgehalte in de toplaag is ook ca. 2 keer zo hoog (Tabel 6.3).

Tabel 6.3 Fractieverdeling van P in deze studie vergeleken met de UU-studie.

Studie	Fe/Al-P (%)	Ca-P (%)	Organic P (%)
Deze studie	70	12	18
UU	80	11 (waarvan 7% authigeen Ca-P)	9

6.6 Overige discussiepunten

Zonder dat het een doel van dit project was, is in deze studie een beperkte vergelijking gemaakt tussen verschillende labs. Die vergelijking leverde enkele niet verklaarbare verschillen op tussen de Waterdienst en B-Ware. Een zeer groot verschil werd gemeten voor P-ortho. P-ortho is in de waterbodem een lastige parameter, omdat dit meestal wordt gemeten op apparaten, waarin geen aangezuurde oplossingen kunnen worden ingevoerd. Als een anaëroob poriewatermonster wordt blootgesteld aan lucht (tijdens analyse), kunnen ijzeroxides ontstaan die in zuur milieu oplossen (ICP), maar in onaangezuurde monsters kan dat in een lagere waarde resulteren. De P-ortho resultaten in deze studie zijn daarom niet meegenomen in de interpretatie. Voor de ICP-metingen is verondersteld dat dit opgelost P betreft, omdat de monsters zijn genomen met een Rhizon-sampler met een filtergrootte van 0,2 µm.

In het westelijk deel zijn de opgeloste mangaanconcentraties in het poriewater aanzienlijk verhoogd. Figuur 5.9 toont voor MP10,11 en 13 en ook in de latere metingen op MP13 komen deze hoge Mn-concentraties terug. Oxalaat/oxaalzuur extraheerbaar mangaan is juist laag op MP13. Er is geen verklaring gevonden voor deze observaties.

Vanwege verschillende redenen zijn de monsters niet altijd op exact dezelfde plaats genomen, maar zowel voor MP01 als MP04 lijkt dat geen grote afwijkingen te geven.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

De waterbodem van het Volkerak-Zoommeer bevat P-gehalten, die sterk variëren met het slibgehalte. Er is een grove indeling te maken van zandige locaties (<10% lutum) met een P-gehalten van ongeveer 0,4 g/kg en slibrijke locaties (10-40% lutum) met een P-gehalte van ca. 1,8 g/kg. De hoogste en laagste waarden vertonen een factor 18 verschil. De Fe/P-ratio vertoont eveneens een correlatie met het lutumgehalte, maar de Fe/P-ratio varieert minder tussen de locaties (factor 2).

De Golterman-fractionering toont dat 60-70% van de P in de waterbodem is gebonden aan Fe/Al-hydroxides, ongeveer 20% is organisch P en een 10 tot 20% is geassocieerd met CaCO_3 . De studie van de UU concludeert eveneens dat een nog groter deel van de P is gebonden aan Fe/Al-hydroxiden en wat minder als organisch P. Dat laatste correspondeert met de resultaten van de oxalaat-oxaalzuurextractie (daarin zou organisch-P niet geëxtraheerd moeten worden).

De P-concentraties in het poriewater vertonen een seizoenseffect met lage concentraties in maart (ca. 0,5 mg/l) en hogere concentraties in juni en oktober (ca. 4 mg/l). De watertemperatuur blijkt een goede indicator voor deze verschillen. De Fe/P-ratio in poriewater, die vaak als indicator voor nalevering wordt gebruikt, vertoont geen duidelijke temperatuurinvloed, maar geeft wel een grote spreiding in de verschillende metingen.

De P-metingen in poriewater zijn gebruikt om de naleveringsflux uit de bodem van het Volkerak-Zoommeer te berekenen. Op basis van deze studie wordt een jaarlijkse nalevering geschat van 0,6 g/m²/jaar, waarvan 80% in het zomerhalfjaar. Dit is een gemiddelde waarde die in tijd en ruimte varieert. Gezien de algenproductie moet de flux uit sediment (inclusief desorptie van zwevende stof) groter zijn: totaal 1 g/m²/jaar. De externe belasting van ortho-P is bepaald op 0,8 g/m²/jaar. De interne en externe flux zijn qua grootte vergelijkbaar. Hoewel er nauwelijks criteria zijn voor de verhouding tussen interne en externe belasting, lijkt de interne belasting in dit systeem niet extreem hoog ten opzichte van de externe belasting. Dit wordt ondersteund door indicatoren, zoals de Fe/P-ratio's in sediment en poriewater. De bodem bevindt zich rondom gestelde criteria (een Fe/P-ratio van 10 mol/mol).

Zoals opgemerkt in de vorige alinea varieert de naleveringsflux in tijd en ruimte. De tijdsafhankelijkheid is gebaseerd op experimenten in de literatuur. Voor de ruimtelijke verdeling is gekeken naar het slibgehalte van de bodem. Er is een direct verband tussen lutum en ijzer en ook tussen lutum en fosfaat in de bodem. Ook de nalevering blijkt uit slibbodems groter te zijn dan uit zandige bodems. Tenslotte lijkt er verschil te zijn tussen slib in het oostelijke en westelijke Volkerak. Er zijn daarom drie delen onderscheiden: zandig (60%), slibrijk Volkerak-Oost (30%) en slibrijk Volkerak-West (10%).

Het water in de diepste delen toont in warme zomers incidenteel lage zuurstofconcentraties. Dit zou tot tijdelijke verhoging van de P-flux kunnen leiden. Omdat echt lage zuurstofconcentraties (<1 mg O₂/l) zo weinig voorkomen, is het effect daarvan niet meegenomen. In 2011 werd in maart en juni nog nitraat in het poriewater gemeten, waardoor ijzeroxides niet zullen oplossen. In oktober was nitraat afwezig.

De mineraalprobes tonen geen aangroei of oplossing van mineralen, maar een belangrijk probleem was dat de probes onvoldoende contact hadden met het poriewater. Daardoor kan vooral over het oplossen van mineralen geen conclusie worden getrokken.

7.2 Aanbevelingen

De nu gebruikte relaties uit BaggerNut zijn voorlopig. Het is aan te raden om deze te updaten als het BaggerNut-project is afgerond.

De Vries et al. (2011) hebben wel berekend hoeveel P-totaal en P-ortho er in het systeem wordt vastgehouden, maar zij hebben geen zwevende stof balans opgesteld. Het bepalen van de sedimentatiesnelheid (in de ruimte) zou een duidelijke meerwaarde geven voor het begrip van de interne processen in het Volkerak-Zoommeer. Er zijn verschillende mogelijkheden:

- Op basis van (historische) waterdiepte kaarten;
- Het opstellen van een zwevendestofbalans op basis van aan- en afvoer;
- Het dateren van sedimentkolommen, maar de sedimentatiesnelheid kan lokaal sterk verschillen. Dat betekent dat er een groot aantal kernen moet worden gedateerd of dat er bijvoorbeeld op basis van visuele kenmerken geëxtrapoleerd kan worden.

De aquatische ecologie in het gebied is aan het veranderen: minder algenbloei, meer mosselen, meer waterplanten, minder benthivore vis. Dit heeft positieve consequenties met betrekking tot de voor de interne fosfaat immobiliserende processen. Op basis van aanwezige data kan kunnen deze processen (zoals P-opname door planten en graas door mosselen) beter in kaart worden gebracht.

In deze studie zijn de metingen aan de hand van kennisregels vertaald naar een concept waarin de belangrijkste interne processen zijn gekwantificeerd. Het gebruik van een geavanceerd model kan gekalibreerd worden op basis van deze metingen en biedt de mogelijkheid om meerjarige berekeningen te maken die een indicatie geven van de waterkwaliteitsontwikkeling en waarin ook het effect van maatregelen kan worden doorgerekend.

8 Referenties

- Arcadis, 2009. Rapportage toetsing aan Europese richtlijnen waterkwaliteit Planstudie waterkwaliteit Volkerak-zoommeer.
- Boers, P. & J. Uunk (1990) Methode voor het schatten van de nalevering van fosfaat door de waterbodem na vermindering van de externe belasting. Lelystad, Nota Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren / RIZA nr. 90.032.
- De Vries, I., J. Smits, A. Nolte, C. Sprengers, 2011. Waterkwaliteit en water- en nutriëntenbalansen Volkerak-Zoommeer 1996-2009. Deltares-rapport 1203266-000-VEB-0003.
- Geurts J.J.M., 2010. Restoration of fens and peat lakes: a biogeochemical approach. PhD Thesis, Radboud University, Nijmegen, 170 pp.
- Golterman, H.L., 1996. *Hydrobiologia*, 335: 87-95.
- Hieltjes, A.H.M. & Lijklema L. (1980) Fractionation of Inorganic Phosphates in Calcareous Sediments. *J. Environmental Quality* 9:405-407.
- Houba, et al., 1986. Soil and plant Analysis. Part 5 Soil Analysis Procedures. Department of Soil Science and Plant Nutrition Wageningen Agricultural University – The Netherlands.
- Kouer, R.M.en A. Griffioen 2003. Water- en stoffenbalans Volkerak-Zoommeer; microverontreinigingen en nutriënten 1996 - 2000. RIZA werkdocument 2003.204X. 2003.
- Lamers, L. (red.), Jeroen Geurts, Babette Bontes, Judith Sarneel, Hein Pijnappel, Harry Boonstra, Jos Schouwenaars, Marcel Klinge, Jos Verhoeven, Bas Ibelings, Ellen van Donk, Wilco Verberk, Bram Kuijper, Hans Esselink, Jan Roelofs, 2006. Onderzoek ten behoeve van het herstel en beheer van Nederlandse laagveenwateren *Eindrapportage 2003-2006*. Rapport DK nr. 2006/057-O. Ministerie van LNV, Directie Kennis, Ede.
- Jaarsma, N., M. Klinge, L. Lamers, 2008. Van helder naar troebel.....en weer terug. STOWA-rapport 2008-04. <http://themas.stowa.nl>.
- Jensen H. S., P. Kristensen, E. Jeppesen and A. Skytthe (1992) Iron:phosphorus ratio in surface sediment as an indicator of phosphate release from aerobic sediments in shallow lakes. *Hydrobiologia*, Volume 235-236, Number 1 / July, 1992
- Jeppesen, E. Kristensen, P. Jensen, J.P. Soendergaard, M. Mortensen, E. Lauridsen, T. (1991) Recovery resilience following a reduction in external phosphorus loading of shallow, eutrophic Danish lakes: Duration, regulating factors and methods for overcoming resilience. *Memorie dell Istituto italiano di idrobiologia*. Verbania Pallanza [MEM. IST. ITAL. IDROBIOL.].

- Koelmans, A.A., 1998. Geochemistry of suspended and settling solids in two freshwater lakes. *Hydrobiologia* 364: 15-29.
- Kouer, R.M. & A. Griffioen, 2003. Water- en stoffenbalans Volkerak-Zoommeer periode 1996-2000. Microverontreinigingen en nutriënten. RIZA-werkdocument 2003.204X.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2010. Handreiking Beoordelen waterbodems. Min. I&M, Den Haag.
- Osté, L.A. en H. van de Weerd, 2012. Kennisregels in de Bodemdiagnose BaggerNut. Deltares-rapport 1201327-0014-1.
- Poelen, M.D.M., L.J.L. van den Berg, A.J.P. Smolders, N.G. Jaarsma en L.P.M Lamers, 2011. WaterBODEMbeheer in Nederland: Maatregelen Baggeren en Nutriënten (BaggerNut) – Metingen Interne Nutriëntenmobilisatie en Decompositie (MIND). Tussenrapportage 2011. B-Ware-rapport 2011.17.
- Psenner, R, and R. Pucsko, 1988. *Adv. Limnol.* 30: 43-59
- Los, 2009. Eco-hydrodynamic modeling of primary production in coastal waters en lakes using Bloom. PhD-thesis, Wageningen Universiteit/Deltares.
- Van der Molen D. T. and Boers P. C. M. (1994) Influence of internal loading on phosphorus concentration in shallow lakes before and after reduction of the external loading. *Hydrobiologica*, Volume 275-276, Number 1 / February, 1994.
- Verheul, M., 2012. Fosfaat houdende mineraalsensoren. Deltares-rapport 1202264-006-BGS-0001.
- Ruttenberg, K.C., 1992. *Limnol. Oceanogr.* 37 (7), 1460–1482.
- Slomp, C.P. et al. 1996. *J. Mar. Res.* 54, 1179–1205.
- Sulu-Gambari, F, en C.P Slomp, 2012. DE BEGRAVING VAN FOSFAAT IN SEDIMENTEN VAN HET VOLKERAK. Rapport. Departement Aardwetenschappen, Universiteit Utrecht
- Tonkes, M. et al., 2006. Handleiding sanering Waterbodems. AKWA-rapport 05.006. Rijkswaterstaat, Lelystad.

A Informatie analysemethoden B-Ware

Poriewater

Op de bodemvochtmonsters zijn de volgende analyses uitgevoerd:

- pH
- Alkaliniteit (zuurbufferend vermogen)
- Totaal opgelost anorganisch koolstof ($\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$)
- Concentraties van ionen en elementen

De alkaliniteit werd bepaald middels een titratie met verdund zoutzuur (0.1M) tot pH 4,2. De toegevoegde hoeveelheid equivalenten zuur per liter is hierbij de alkaliniteit. De hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (kooldioxide + bicarbonaat + carbonaat) werd bepaald met behulp van infrarood gas analyse (ABB Advance Optima IRGA). De pH werd gemeten met een standaard Ag/AgCl2 elektrode verbonden met een radiometer (Copenhagen, type PHM 82). De metingen aan concentraties van ionen en elementen worden onder het kopje 'verdere analyse' besproken.

Bodem

%Vocht, organische stofgehalte en bulk density:

Om het vochtgehalte en de bulk density te bepalen werden aluminium cups gevuld en gewogen met vers bodemmateriaal. Dit materiaal werd 48 uur gedroogd bij een temperatuur van 105°C waarna het wederom werd gewogen. De verkregen droge bodems werden vervolgens 4 uur verast bij een temperatuur van 550°C voor een bepaling van het verlies aan gewicht door verbranding. Met de verkregen gewichten werd de fractie organisch materiaal (bepaald als LOI) en het vochtgehalte berekend. Alle bepalingen werden in tweevoud uitgevoerd. Bulk density werd bepaald als het gewicht droge bodem/volume van de veldverse bodem.

Destructie:

Door de bodem te destructuren is het mogelijk de totale gehalten van de meeste elementen in het bodemmateriaal te bepalen. Dit is van belang om de potentiële P-nalevering van de bodems inzichtelijk te maken. Daarnaast is vooral het totale calciumgehalte belangrijk om een eerste indruk van de buffercapaciteit te krijgen. Bovendien geven destructieanalyses inzicht in de verhouding tussen ijzer en zwavel in de bodem (Fe/S ratio), dat van belang is bij vernatting van bodems. De bodemdestructie is als volgt uitgevoerd: 0,2 gram gedroogde en gemalen bodem werd afgewogen in een teflon cup waarna dit samen met 4 ml salpeterzuur en 1 ml waterstofperoxide in een destructiemagnetron in stappen werd verhit. Door de stapsgewijze energie gift worden alle verweerbare bodemdeeltjes opgelost. Vervolgens werden de monsters verdund tot 100 ml met ultrapuur water. Het product is bij 4°C bewaard tot verdere analyse.

Olsen-P extractie:

Bij de Olsen-extractie wordt de hoeveelheid plantenbeschikbaar-P vrijgemaakt door verdringing van P door bicarbonaat. Tevens worden ijzer- en aluminiumhydroxides gehydrolyseerd waardoor geadsorbeerd P vrijkomt. De Olsen-P concentratie is een goede maat voor de plantenbeschikbare concentratie P. Bij het uitvoeren van de Olsen-extractie werd aan 3 gram droog gemalen bodemmateriaal 60 ml 0,5 M natriumbicarbonaat (NaHCO_3) toegevoegd.

Gedurende 30 minuten werden de monsters daarna uitgeschud op een schudmachine (100 r.p.m.) waarna het extract onder vacuüm werd verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars. Het extract is bij 4°C bewaard tot verdere analyse.

Zout extractie:

Deze extractie bestaat uit een extractie met natriumchloride (0,2 M NaCl) waarbij de ionen gemeten worden die door natrium (kationen) of chloride (anionen) van het bodemadsorptiecomplex worden verdrongen. Deze parameters geven een maat voor de buffering van de bodem. Verder kunnen aan de hand van het zoutextract ook de plantbeschikbare ammonium- en nitraatconcentraties van de bodem worden bepaald. Voor deze extractie werd aan 17,5 gram verse bodem 50 ml milli Q water (0.2 M NaCl) toegevoegd. Gedurende 120 minuten werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (100 r.p.m.) waarna de pH werd gemeten. Het extract werd onder vacuüm verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars en bewaard bij 4°C tot analyse.

P-fractionering:

De P-fractionering (uitgevoerd volgens Golterman, 1996) is uitgevoerd om te bepalen aan welke bodemfractie het fosfaat gebonden is. Hierbij kan de hoeveelheid Fe/Al-gebonden, Ca-gebonden, organisch gebonden en labiel gebonden fosfaat bepaald worden. De P-binding is (afhankelijk van de grondwaterkwaliteit) van invloed op mate waarin fosfaat vrij kan komen bij vernatting. Bij een P-fractionering wordt 5 gram verse bodem afgewogen en achtereenvolgens zijn in verschillende stappen extractanten toegevoegd en geschud. Na iedere stap is het mengsel gecentrifugeerd (Sorvall, 13000 rpm) en het supernatant afgepipetteerd en bewaard. Het pellet is gebruikt voor de volgende extractie. Achtereenvolgens zijn gebruikt: NH₄Cl (1M), Ca-EDTA (0,05M), Na-EDTA (0,1M). Het uiteindelijke pellet is gedestruëerd (zie boven). De oplossingen van de verschillende stappen zijn bewaard tot verdere analyse.

Oxalaat extractie:

Ijzer en aluminiumgebonden fosfaat werd bepaald met behulp van een oxalaatextractie. Hiervoor werd aan 2,5 gram droog bodemmateriaal 50 ml extractievloeistof (115 mM ammoniumoxalaat en 85 mM oxaalzuur) toegevoegd. Gedurende 2 uur werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (100 r.p.m.) waarna het extract onder vacuüm werd verzameld met behulp van teflonporiewaterbemonsteraars. Het extract werd bij 4°C bewaard tot verdere analyse.

Verdere analyse

De concentraties calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), ijzer (Fe), mangaan (Mn), fosfor (P), zwavel (S), silicium (Si) en zink (Zn) werden bepaald met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP Thermo Electron corporation IRIS IntrepidII XDL). De concentraties nitraat (NO₃⁻) en ammonium (NH₄⁺) werden colorimetrisch bepaald met een Traacs 800+ auto-analyzer met behulp van resp. salicylaatreagens en hydrazinesulfaat. Chloride (Cl⁻) en fosfaat (PO₄³⁻) werden colorimetrisch bepaald met een Technicon auto-analyzer II systeem met behulp van resp. mercuritiocyanide, en ammoniummolybdaat en ascorbinezuur. Natrium (Na⁺) en kalium (K⁺) werden vlamfotometrisch bepaald met een Technicon Flame PhotometerIV Control.

B Algemene kenmerken van het sediment in het VZM

datum	meetpunt	Analysis	Component	Result	Units
24-mrt-2011	MP01	140VB150	%DS	21,7	%
24-mrt-2011	MP01	140AA153	AC	1,98	%
24-mrt-2011	MP01	140AA151	C	7,1	%
24-mrt-2011	MP01	140VB150	DG	112	g
24-mrt-2011	MP01	144MB063	HUMS	5,24	%
24-mrt-2011	MP01	140AA170	KGF10	51,7	%
24-mrt-2011	MP01	140AA170	KGF16	54,4	%
24-mrt-2011	MP01	140AA170	KGF2	39,1	%
24-mrt-2011	MP01	140AA170	KGF20	55,5	%
24-mrt-2011	MP01	140AA170	KGF32	59,1	%
24-mrt-2011	MP01	140AA170	KGF4	44,5	%
24-mrt-2011	MP01	140AA170	KGF50	61,8	%
24-mrt-2011	MP01	140AA170	KGF63	62,4	%
24-mrt-2011	MP01	140AA170	KGF8	50,4	%
24-mrt-2011	MP01	140AA170	KGFG63	6,83	%
24-mrt-2011	MP01	140VB150	NG	517	g
24-mrt-2011	MP01	140AA150	OC	5,1	%
14-jun-2011	MP01	144MB063	%CaCO3	23,5	%
14-jun-2011	MP01	140VB150	%DS	22,6	%
14-jun-2011	MP01	140AA153	AC	1,81	%
14-jun-2011	MP01	140AA151	C	6,4	%
14-jun-2011	MP01	140VB150	DG	52	g
14-jun-2011	MP01	144MB063	HUMS	3,8	%
14-jun-2011	MP01	140AA170	KGF10	42,1	%
14-jun-2011	MP01	140AA170	KGF16	45,5	%
14-jun-2011	MP01	140AA170	KGF2	30,5	%
14-jun-2011	MP01	140AA170	KGF20	46,4	%
14-jun-2011	MP01	140AA170	KGF32	49,2	%
14-jun-2011	MP01	140AA170	KGF4	35,9	%
14-jun-2011	MP01	140AA170	KGF50	52,2	%
14-jun-2011	MP01	140AA170	KGF63	53,1	%
14-jun-2011	MP01	140AA170	KGF8	40,9	%
14-jun-2011	MP01	140AA170	KGFG63	16,09	%
14-jun-2011	MP01	140VB150	NG	230	g
14-jun-2011	MP01	140AA150	OC	4,6	%
11-okt-2011	MP01	140VB150	%DS	23,5	%
11-okt-2011	MP01	140AA153	AC	1,86	%
11-okt-2011	MP01	140AA151	C	6,41	%
11-okt-2011	MP01	140VB150	DG	171	g
11-okt-2011	MP01	140AA170	KGF10	18,4	%
11-okt-2011	MP01	140AA170	KGF16	21,5	%
11-okt-2011	MP01	140AA170	KGF2	11,3	%
11-okt-2011	MP01	140AA170	KGF20	23,5	%
11-okt-2011	MP01	140AA170	KGF32	29	%
11-okt-2011	MP01	140AA170	KGF4	14,4	%
11-okt-2011	MP01	140AA170	KGF50	32,6	%
11-okt-2011	MP01	140AA170	KGF63	33,3	%
11-okt-2011	MP01	140AA170	KGF8	17,4	%
11-okt-2011	MP01	140AA170	KGFG63	44,7	%
11-okt-2011	MP01	140VB150	NG	728	g
11-okt-2011	MP01	140AA150	OC	4,55	%
24-mrt-2011	MP04a	140VB150	%DS	20,5	%

datum	meetpunt	Analysis	Component	Result	Units
24-mrt-2011	MP04a	140AA153	AC	1,77	%
24-mrt-2011	MP04a	140AA151	C	6,5	%
24-mrt-2011	MP04a	140VB150	DG	123	g
24-mrt-2011	MP04a	144MB063	HUMS	6,56	%
24-mrt-2011	MP04a	140AA170	KGF10	49,2	%
24-mrt-2011	MP04a	140AA170	KGF16	53,1	%
24-mrt-2011	MP04a	140AA170	KGF2	39,1	%
24-mrt-2011	MP04a	140AA170	KGF20	55	%
24-mrt-2011	MP04a	140AA170	KGF32	60,2	%
24-mrt-2011	MP04a	140AA170	KGF4	43,7	%
24-mrt-2011	MP04a	140AA170	KGF50	65,4	%
24-mrt-2011	MP04a	140AA170	KGF63	66,9	%
24-mrt-2011	MP04a	140AA170	KGF8	47,7	%
24-mrt-2011	MP04a	140AA170	KGFG63	3,71	%
24-mrt-2011	MP04a	140VB150	NG	600	g
24-mrt-2011	MP04a	140AA150	OC	4,7237	%
24-mrt-2011	MP04b	140VB150	%DS	51,4	%
24-mrt-2011	MP04b	140AA153	AC	1,9	%
24-mrt-2011	MP04b	140AA151	C	3,2	%
24-mrt-2011	MP04b	140VB150	DG	363	g
24-mrt-2011	MP04b	144MB063	HUMS	-0,08	%
24-mrt-2011	MP04b	140AA170	KGF10	12,9	%
24-mrt-2011	MP04b	140AA170	KGF16	13,6	%
24-mrt-2011	MP04b	140AA170	KGF2	10,3	%
24-mrt-2011	MP04b	140AA170	KGF20	13,8	%
24-mrt-2011	MP04b	140AA170	KGF32	14,8	%
24-mrt-2011	MP04b	140AA170	KGF4	11,6	%
24-mrt-2011	MP04b	140AA170	KGF50	16,5	%
24-mrt-2011	MP04b	140AA170	KGF63	17,1	%
24-mrt-2011	MP04b	140AA170	KGF8	12,7	%
24-mrt-2011	MP04b	140AA170	KGFG63	60,0	%
24-mrt-2011	MP04b	140VB150	NG	706	g
24-mrt-2011	MP04b	140AA150	OC	1,4	%
14-jun-2011	MP04c	144MB063	%CaCO3	24,6	%
14-jun-2011	MP04c	140VB150	%DS	24,4	%
14-jun-2011	MP04c	140AA153	AC	2,02	%
14-jun-2011	MP04c	140AA151	C	6,3	%
14-jun-2011	MP04c	140VB150	DG	30	g
14-jun-2011	MP04c	144MB063	HUMS	2,5	%
14-jun-2011	MP04c	140AA170	KGF10	41,6	%
14-jun-2011	MP04c	140AA170	KGF16	43,9	%
14-jun-2011	MP04c	140AA170	KGF2	30,5	%
14-jun-2011	MP04c	140AA170	KGF20	44,7	%
14-jun-2011	MP04c	140AA170	KGF32	46,5	%
14-jun-2011	MP04c	140AA170	KGF4	35,9	%
14-jun-2011	MP04c	140AA170	KGF50	47,6	%
14-jun-2011	MP04c	140AA170	KGF63	47,2	%
14-jun-2011	MP04c	140AA170	KGF8	40,6	%
14-jun-2011	MP04c	140AA170	KGFG63	21,83	%
14-jun-2011	MP04c	140VB150	NG	123	g
14-jun-2011	MP04c	140AA150	OC	4,2597	%

datum	meetpunt	Analysis	Component	Result	Units
11-okt-2011	MP04c	140VB150	%DS	39,4	%
11-okt-2011	MP04c	140AA153	AC	1,86	%
11-okt-2011	MP04C	140AA153	AC	1,86	%
11-okt-2011	MP04c	140AA151	C	4,58	%
11-okt-2011	MP04C	140AA151	C	4,58	%
11-okt-2011	MP04c	140VB150	DG	313	g
11-okt-2011	MP04c	140AA170	KGF10	18,7	%
11-okt-2011	MP04c	140AA170	KGF16	19,1	%
11-okt-2011	MP04c	140AA170	KGF2	13,8	%
11-okt-2011	MP04c	140AA170	KGF20	19,2	%
11-okt-2011	MP04c	140AA170	KGF32	20,6	%
11-okt-2011	MP04c	140AA170	KGF4	17	%
11-okt-2011	MP04c	140AA170	KGF50	22,3	%
11-okt-2011	MP04c	140AA170	KGF63	22,9	%
11-okt-2011	MP04c	140AA170	KGF8	18,4	%
11-okt-2011	MP04c	140AA170	KGFG63	59,2	%
11-okt-2011	MP04c	140VB150	NG	795	g
11-okt-2011	MP04c	140AA150	OC	2,72	%
11-okt-2011	MP04C	140AA150	OC	2,72	%
24-mrt-2011	MP07a	140VB150	%DS	80,2	%
24-mrt-2011	MP07a	140AA153	AC	0,856	%
24-mrt-2011	MP07a	140AA151	C	1,1031	%
24-mrt-2011	MP07a	140VB150	DG	402	g
24-mrt-2011	MP07a	144MB063	HUMS	0,203	%
24-mrt-2011	MP07a	140AA170	KGF10	2,9	%
24-mrt-2011	MP07a	140AA170	KGF16	2,9	%
24-mrt-2011	MP07a	140AA170	KGF2	2,1	%
24-mrt-2011	MP07a	140AA170	KGF20	2,9	%
24-mrt-2011	MP07a	140AA170	KGF32	3,2	%
24-mrt-2011	MP07a	140AA170	KGF4	2,5	%
24-mrt-2011	MP07a	140AA170	KGF50	3,3	%
24-mrt-2011	MP07a	140AA170	KGF63	3,4	%
24-mrt-2011	MP07a	140AA170	KGF8	2,8	%
24-mrt-2011	MP07a	140AA170	KGFG63	88,1	%
24-mrt-2011	MP07a	140VB150	NG	501	g
24-mrt-2011	MP07a	140AA150	OC	0,2435	%
24-mrt-2011	MP09	140VB150	%DS	22,9	%
24-mrt-2011	MP09	140AA153	AC	2,17	%
24-mrt-2011	MP09	140AA151	C	6,3	%
24-mrt-2011	MP09	140VB150	DG	116	g
24-mrt-2011	MP09	144MB063	HUMS	3,32	%
24-mrt-2011	MP09	140AA170	KGF10	39,7	%
24-mrt-2011	MP09	140AA170	KGF16	42,3	%
24-mrt-2011	MP09	140AA170	KGF2	31,6	%
24-mrt-2011	MP09	140AA170	KGF20	43,6	%
24-mrt-2011	MP09	140AA170	KGF32	48,5	%
24-mrt-2011	MP09	140AA170	KGF4	35,4	%
24-mrt-2011	MP09	140AA170	KGF50	56,7	%
24-mrt-2011	MP09	140AA170	KGF63	59,3	%
24-mrt-2011	MP09	140AA170	KGF8	38,6	%
24-mrt-2011	MP09	140AA170	KGFG63	10,4	%
24-mrt-2011	MP09	140VB150	NG	507	g
24-mrt-2011	MP09	140AA150	OC	4,1	%

datum	meetpunt	Analysis	Component	Result	Units
14-jun-2011	MP09	144MB063	%CaCO3	25,1	%
14-jun-2011	MP09	140VB150	%DS	26,0	%
14-jun-2011	MP09	140AA153	AC	2,38	%
14-jun-2011	MP09	140AA151	C	6,1	%
14-jun-2011	MP09	140VB150	DG	77	g
14-jun-2011	MP09	144MB063	HUMS	1,7	%
14-jun-2011	MP09	140AA170	KGF10	34,3	%
14-jun-2011	MP09	140AA170	KGF16	37	%
14-jun-2011	MP09	140AA170	KGF2	23,9	%
14-jun-2011	MP09	140AA170	KGF20	38,3	%
14-jun-2011	MP09	140AA170	KGF32	43,2	%
14-jun-2011	MP09	140AA170	KGF4	28,6	%
14-jun-2011	MP09	140AA170	KGF50	50,1	%
14-jun-2011	MP09	140AA170	KGF63	52,8	%
14-jun-2011	MP09	140AA170	KGF8	33,2	%
14-jun-2011	MP09	140AA170	KGFG63	16,6	%
14-jun-2011	MP09	140VB150	NG	296	g
14-jun-2011	MP09	140AA150	OC	3,8	%
11-okt-2011	MP09	140VB150	%DS	12,6	%
11-okt-2011	MP09	140AA153	AC	2,23	%
11-okt-2011	MP09	140AA151	C	6,46	%
11-okt-2011	MP09	140VB150	DG	81	g
11-okt-2011	MP09	140AA170	KGF10	37,5	%
11-okt-2011	MP09	140AA170	KGF16	39,6	%
11-okt-2011	MP09	140AA170	KGF2	28,6	%
11-okt-2011	MP09	140AA170	KGF20	40,9	%
11-okt-2011	MP09	140AA170	KGF32	45,1	%
11-okt-2011	MP09	140AA170	KGF4	33,4	%
11-okt-2011	MP09	140AA170	KGF50	51,7	%
11-okt-2011	MP09	140AA170	KGF63	54	%
11-okt-2011	MP09	140AA170	KGF8	36,5	%
11-okt-2011	MP09	140AA170	KGFG63	18,1	%
11-okt-2011	MP09	140VB150	NG	645	g
11-okt-2011	MP09	140AA150	OC	4,23	%
24-mrt-2011	MP10	144MB063	%CaCO3		%
24-mrt-2011	MP10	140VB150	%DS	55,0	%
24-mrt-2011	MP10	144MB063	%KGF16		%
24-mrt-2011	MP10	144MB063	%KGFG2000		%
24-mrt-2011	MP10	144MB063	%KGV		%
24-mrt-2011	MP10	140AA153	AC	1,26	%
24-mrt-2011	MP10	140AA151	C	2,3	%
24-mrt-2011	MP10	140VB150	DG		g
24-mrt-2011	MP10	144MB063	HUMS	0,9	%
24-mrt-2011	MP10	140AA170	KGF10	7,2	%
24-mrt-2011	MP10	140AA170	KGF16	7,5	%
24-mrt-2011	MP10	140AA170	KGF2	4,1	%
24-mrt-2011	MP10	140AA170	KGF20	7,6	%
24-mrt-2011	MP10	140AA170	KGF32	7,7	%
24-mrt-2011	MP10	140AA170	KGF4	5,9	%
24-mrt-2011	MP10	140AA170	KGF50	7,9	%
24-mrt-2011	MP10	140AA170	KGF63	7,9	%

datum	meetpunt	Analysis	Component	Result	Units
24-mrt-2011	MP10	140AA170	KGF8	7,2	%
24-mrt-2011	MP10	140AA170	KGFG63	76,14	%
24-mrt-2011	MP10	140VB150	NG	605	g
24-mrt-2011	MP10	140AA150	OC	1,0206	%
24-mrt-2011	MP11	140VB150	%DS	58,3	%
24-mrt-2011	MP11	140AA153	AC	1,75	%
24-mrt-2011	MP11	140AA151	C	2,8	%
24-mrt-2011	MP11	140VB150	DG	350	g
24-mrt-2011	MP11	144MB063	HUMS	0,709	%
24-mrt-2011	MP11	140AA170	KGF10	7,6	%
24-mrt-2011	MP11	140AA170	KGF16	7,8	%
24-mrt-2011	MP11	140AA170	KGF2	5,2	%
24-mrt-2011	MP11	140AA170	KGF20	7,9	%
24-mrt-2011	MP11	140AA170	KGF32	8,2	%
24-mrt-2011	MP11	140AA170	KGF4	6,6	%
24-mrt-2011	MP11	140AA170	KGF50	8,5	%
24-mrt-2011	MP11	140AA170	KGF63	8,7	%
24-mrt-2011	MP11	140AA170	KGF8	7,4	%
24-mrt-2011	MP11	140AA170	KGFG63	69,03	%
24-mrt-2011	MP11	140VB150	NG	600	g
24-mrt-2011	MP11	140AA150	OC	1,1	%
24-mrt-2011	MP13	140VB150	%DS	51,9	%
24-mrt-2011	MP13	140AA153	AC	1,09	%
24-mrt-2011	MP13	140AA151	C	2,4	%
24-mrt-2011	MP13	140VB150	DG	326	g
24-mrt-2011	MP13	144MB063	HUMS	0,466	%
24-mrt-2011	MP13	140AA170	KGF10	11	%
24-mrt-2011	MP13	140AA170	KGF16	11,6	%
24-mrt-2011	MP13	140AA170	KGF2	6,7	%
24-mrt-2011	MP13	140AA170	KGF20	11,8	%
24-mrt-2011	MP13	140AA170	KGF32	12,5	%
24-mrt-2011	MP13	140AA170	KGF4	9,1	%
24-mrt-2011	MP13	140AA170	KGF50	13,9	%
24-mrt-2011	MP13	140AA170	KGF63	14,2	%
24-mrt-2011	MP13	140AA170	KGF8	10,7	%
24-mrt-2011	MP13	140AA170	KGFG63	67,5	%
24-mrt-2011	MP13	140VB150	NG	628	g
24-mrt-2011	MP13	140AA150	OC	1,3272	%
14-jun-2011	MP13	144MB063	%CaCO3	8,9	%
14-jun-2011	MP13	140VB150	%DS	73,2	%
14-jun-2011	MP13	140AA153	AC	0,8	%
14-jun-2011	MP13	140AA151	C	1,3	%
14-jun-2011	MP13	140VB150	DG	271	g
14-jun-2011	MP13	144MB063	HUMS	0,4	%
14-jun-2011	MP13	140AA170	KGF10	4,9	%
14-jun-2011	MP13	140AA170	KGF16	5,1	%
14-jun-2011	MP13	140AA170	KGF2	3,8	%
14-jun-2011	MP13	140AA170	KGF20	5,1	%
14-jun-2011	MP13	140AA170	KGF32	5,8	%
14-jun-2011	MP13	140AA170	KGF4	4,5	%
14-jun-2011	MP13	140AA170	KGF50	6,5	%
14-jun-2011	MP13	140AA170	KGF63	7,2	%
14-jun-2011	MP13	140AA170	KGF8	4,8	%

datum	meetpunt	Analysis	Component	Result	Units
14-jun-2011	MP13	140AA170	KGFG63	81,3	%
14-jun-2011	MP13	140VB150	NG	370	g
14-jun-2011	MP13	140AA150	OC	0,5	%
11-okt-2011	MP13	140VB150	%DS	53,5	%
11-okt-2011	MP13	140AA153	AC	1,25	%
11-okt-2011	MP13	140AA151	C	2,39	%
11-okt-2011	MP13	140VB150	DG	496	g
11-okt-2011	MP13	140AA170	KGF10	9	%
11-okt-2011	MP13	140AA170	KGF16	9,6	%
11-okt-2011	MP13	140AA170	KGF2	6,4	%
11-okt-2011	MP13	140AA170	KGF20	9,9	%
11-okt-2011	MP13	140AA170	KGF32	10,6	%
11-okt-2011	MP13	140AA170	KGF4	7,6	%
11-okt-2011	MP13	140AA170	KGF50	11,5	%
11-okt-2011	MP13	140AA170	KGF63	11,8	%
11-okt-2011	MP13	140AA170	KGF8	8,7	%
11-okt-2011	MP13	140AA170	KGFG63	73,7	%
11-okt-2011	MP13	140VB150	NG	927	g
11-okt-2011	MP13	140AA150	OC	1,14	%
24-mrt-2011	MP47	140VB150	%DS	23,6	%
24-mrt-2011	MP47	140AA153	AC	1,82	%
24-mrt-2011	MP47	140AA151	C	6,6	%
24-mrt-2011	MP47	140VB150	DG	118	g
24-mrt-2011	MP47	144MB063	HUMS	2,09	%
24-mrt-2011	MP47	140AA170	KGF10	36,5	%
24-mrt-2011	MP47	140AA170	KGF16	39,3	%
24-mrt-2011	MP47	140AA170	KGF2	28,4	%
24-mrt-2011	MP47	140AA170	KGF20	41,2	%
24-mrt-2011	MP47	140AA170	KGF32	46	%
24-mrt-2011	MP47	140AA170	KGF4	32,1	%
24-mrt-2011	MP47	140AA170	KGF50	51,8	%
24-mrt-2011	MP47	140AA170	KGF63	53,9	%
24-mrt-2011	MP47	140AA170	KGF8	35,4	%
24-mrt-2011	MP47	140AA170	KGFG63	14,79	%
24-mrt-2011	MP47	140VB150	NG	500	g
24-mrt-2011	MP47	140AA150	OC	4,7566	%
24-mrt-2011	MP48	140VB150	%DS	52,0	%
24-mrt-2011	MP48	140AA153	AC	1,42	%
24-mrt-2011	MP48	140AA151	C	2,7982	%
24-mrt-2011	MP48	140VB150	DG	358	g
24-mrt-2011	MP48	144MB063	HUMS	1,1	%
24-mrt-2011	MP48	140AA170	KGF10	11,6	%
24-mrt-2011	MP48	140AA170	KGF16	12,5	%
24-mrt-2011	MP48	140AA170	KGF2	6,9	%
24-mrt-2011	MP48	140AA170	KGF20	12,6	%
24-mrt-2011	MP48	140AA170	KGF32	14	%
24-mrt-2011	MP48	140AA170	KGF4	9,5	%
24-mrt-2011	MP48	140AA170	KGF50	17,4	%
24-mrt-2011	MP48	140AA170	KGF63	19,2	%
24-mrt-2011	MP48	140AA170	KGF8	11,3	%
24-mrt-2011	MP48	140AA170	KGFG63	62,94	%
24-mrt-2011	MP48	140VB150	NG	689	g
24-mrt-2011	MP48	140AA150	OC	1,3793	%

D Resultaten van de poriewaterconcentraties in het sediment van het VZM

datum	meetpunt	Analyse	stofnaam	dg	waarde	Units	datum	meetpunt	Analyse	stofnaam	dg	waarde	Units
24-mrt-11	MP01	410LS401	Al nf	11.7	11,70	ug/l	24-mrt-11	MP04b	410LS401	Al nf	20.0	19,97	ug/l
24-mrt-11	MP01	110AA400	Cl	237	236,68	mg/l	24-mrt-11	MP04b	110AA400	Cl	270	269,64	mg/l
24-mrt-11	MP01	110AA113	DOC	23.9	23,89	mg/l	24-mrt-11	MP04b	110AA113	DOC	19.6	19,63	mg/l
24-mrt-11	MP01	410LS401	Fe nf	1160	1161,97	mg/l	24-mrt-11	MP04b	410LS401	Fe nf	1.19	1,19	mg/l
24-mrt-11	MP01	110AA052	N	ntb	-999	mg/l	24-mrt-11	MP04b	110AA052	N	ntb	-999	mg/l
24-mrt-11	MP01	110AA400	NH4 N	1.18	1,18	mg/l	24-mrt-11	MP04b	110AA400	NH4 N	0.744	0,74	mg/l
24-mrt-11	MP01	110AA400	NO2 N	<0.01	-0,02	mg/l	24-mrt-11	MP04b	110AA400	NO2 N	<0.01	0,00	mg/l
24-mrt-11	MP01	110AA400	NO3 N	0.0670	0,07	mg/l	24-mrt-11	MP04b	110AA400	NO3 N	0.0570	0,06	mg/l
24-mrt-11	MP01	410LS401	P nf	1660	1656,14	ug/l	24-mrt-11	MP04b	410LS401	P nf	751	750,85	ug/l
24-mrt-11	MP01	110AA400	PO4 P	1480	1484,15	ug/l	24-mrt-11	MP04b	110AA400	PO4 P	673	673,40	ug/l
24-mrt-11	MP01	110AA400	SILI	11.0	11,03	mg/l	24-mrt-11	MP04b	110AA400	SILI	8.95	8,95	mg/l
24-mrt-11	MP01	110AA400	SO4-S	52.6	17,56	mg/l	24-mrt-11	MP04b	110AA400	SO4-S	82.7	27,61	mg/l
24-mrt-11	MP01	410LS401	Zn nf	3.60	3,60	ug/l	24-mrt-11	MP04b	410LS401	Zn nf	4.75	4,75	ug/l
14-jun-11	MP01	410LS401	Al nf	15.5	15,53	ug/l	14-jun-11	MP04c	410LS401	Al nf	<10	6,87	ug/l
14-jun-11	MP01	110AA400	Cl	344	344,01	mg/l	14-jun-11	MP04c	110AA400	Cl	388	388,02	mg/l
14-jun-11	MP01	110AA113	DOC	<1	0,32	mg/l	14-jun-11	MP04c	110AA113	DOC	17.9	17,86	mg/l
14-jun-11	MP01	410LS401	Fe nf	6.00	6,00	mg/l	14-jun-11	MP04c	410LS401	Fe nf	3.43	3,43	mg/l
14-jun-11	MP01	110AA052	N	ntb	-999	mg/l	14-jun-11	MP04c	110AA052	N	ntb	-999	mg/l
14-jun-11	MP01	110AA400	NH4 N	1.94	1,94	mg/l	14-jun-11	MP04c	110AA400	NH4 N	1.99	1,99	mg/l
14-jun-11	MP01	110AA400	NO2 N	<0.01	-0,02	mg/l	14-jun-11	MP04c	110AA400	NO2 N	<0.01	-0,01	mg/l
14-jun-11	MP01	110AA400	NO3 N	0.243	0,24	mg/l	14-jun-11	MP04c	110AA400	NO3 N	0.139	0,14	mg/l
14-jun-11	MP01	410LS401	P nf	3970	3973,81	ug/l	14-jun-11	MP04c	410LS401	P nf	2820	2824,00	ug/l
14-jun-11	MP01	110AA400	PO4 P	3560	3564,37	ug/l	14-jun-11	MP04c	110AA400	PO4 P	2560	2555,54	ug/l
14-jun-11	MP01	110AA400	SILI	15.6	15,65	mg/l	14-jun-11	MP04c	110AA400	SILI	16.9	16,94	mg/l
14-jun-11	MP01	110AA400	SO4-S	39.7	13,26	mg/l	14-jun-11	MP04c	110AA400	SO4-S	63.3	21,16	mg/l
14-jun-11	MP01	410LS401	Zn nf	22.7	22,70	ug/l	14-jun-11	MP04c	410LS401	Zn nf	21.3	21,34	ug/l
11-okt-11	MP01	110AA052	N		1,89	mg/l	11-okt-11	MP04c	410LS401	Al nf	<10	-7,31	ug/l
11-okt-11	MP01B	410LS401	Al nf	<10	-14,72	ug/l	11-okt-11	MP04c	110AA400	Cl	356	355,84	mg/l
11-okt-11	MP01B	110AA400	Cl	330	330,08	mg/l	11-okt-11	MP04c	110AA113	DOC	13.9	13,93	mg/l
11-okt-11	MP01B	110AA113	DOC	10.1	10,07	mg/l	11-okt-11	MP04c	410LS401	Fe nf	3.02	3,02	mg/l
11-okt-11	MP01B	410LS401	Fe nf	4.21	4,21	mg/l	11-okt-11	MP04c	110AA052	N		4,73	mg/l
11-okt-11	MP01B	110AA400	NH4 N	0.640	0,64	mg/l	11-okt-11	MP04c	110AA400	NH4 N	2.57	2,57	mg/l
11-okt-11	MP01B	110AA400	NO2 N	<0.01	-0,02	mg/l	11-okt-11	MP04c	110AA400	NO2 N	<0.01	-0,01	mg/l
11-okt-11	MP01B	110AA400	NO3 N	<0.05	-0,01	mg/l	11-okt-11	MP04c	110AA400	NO3 N	<0.05	0,01	mg/l
11-okt-11	MP01B	410LS401	P nf	2380	2383,21	ug/l	11-okt-11	MP04c	410LS401	P nf	3120	3119,90	ug/l
11-okt-11	MP01B	110AA400	PO4 P	2380	2377,38	ug/l	11-okt-11	MP04c	110AA400	PO4 P	3040	3041,61	ug/l
11-okt-11	MP01B	110AA400	SILI	12.2	12,25	mg/l	11-okt-11	MP04c	110AA400	SILI	14.0	13,96	mg/l
11-okt-11	MP01B	110AA400	SO4-S	77.3	25,81	mg/l	11-okt-11	MP04c	110AA400	SO4-S	46.5	15,53	mg/l
11-okt-11	MP01B	410LS401	Zn nf	20.0	19,97	ug/l	11-okt-11	MP04c	410LS401	Zn nf	22.7	22,72	ug/l
24-mrt-11	MP04a	410LS401	Al nf	30.9	30,89	ug/l	24-mrt-11	MP07a	410LS401	Al nf	40.1	40,08	ug/l
24-mrt-11	MP04a	110AA400	Cl	277	276,70	mg/l	24-mrt-11	MP07a	110AA400	Cl	265	265,42	mg/l
24-mrt-11	MP04a	110AA113	DOC	18.4	18,44	mg/l	24-mrt-11	MP07a	110AA113	DOC	22.5	22,49	mg/l
24-mrt-11	MP04a	410LS401	Fe nf	0.533	0,53	mg/l	24-mrt-11	MP07a	410LS401	Fe nf	<0.01	0,01	mg/l
24-mrt-11	MP04a	110AA052	N	ntb	-999	mg/l	24-mrt-11	MP07a	110AA052	N	ntb	-999	mg/l
24-mrt-11	MP04a	110AA400	NH4 N	0.289	0,29	mg/l	24-mrt-11	MP07a	110AA400	NH4 N	0.207	0,21	mg/l
24-mrt-11	MP04a	110AA400	NO2 N	<0.01	0,00	mg/l	24-mrt-11	MP07a	110AA400	NO2 N	0.0100	0,01	mg/l
24-mrt-11	MP04a	110AA400	NO3 N	0.118	0,12	mg/l	24-mrt-11	MP07a	110AA400	NO3 N	2.68	2,68	mg/l
24-mrt-11	MP04a	410LS401	P nf	190	190,11	ug/l	24-mrt-11	MP07a	410LS401	P nf	95.3	95,28	ug/l
24-mrt-11	MP04a	110AA400	PO4 P	141	140,81	ug/l	24-mrt-11	MP07a	110AA400	PO4 P	40.6	40,56	ug/l
24-mrt-11	MP04a	110AA400	SILI	7.54	7,54	mg/l	24-mrt-11	MP07a	110AA400	SILI	3.37	3,37	mg/l
24-mrt-11	MP04a	110AA400	SO4-S	89.1	29,75	mg/l	24-mrt-11	MP07a	110AA400	SO4-S	91.7	30,64	mg/l
24-mrt-11	MP04a	410LS401	Zn nf	9.07	9,07	ug/l	24-mrt-11	MP07a	410LS401	Zn nf	4.27	4,27	ug/l

datum	meetpunt	Analyse	stofnaam	dg	waarde	Units	datum	meetpunt	Analyse	stofnaam	dg	waarde	Units	
24-mrt-11	MP09	410LS401	Al nf	40.6	40,64	ug/l	24-mrt-11	MP11	410LS401	Al nf	26.8	26,77	ug/l	
24-mrt-11	MP09	110AA400	Cl	786	786,05	mg/l	24-mrt-11	MP11	110AA400	Cl	634	633,81	mg/l	
24-mrt-11	MP09	110AA113	DOC	17.5	17,50	mg/l	24-mrt-11	MP11	110AA113	DOC	16.4	16,38	mg/l	
24-mrt-11	MP09	410LS401	Fe nf	0.516	0,52	mg/l	24-mrt-11	MP11	410LS401	Fe nf	0.140	0,14	mg/l	
24-mrt-11	MP09	110AA052	N	ntb	-999	mg/l	24-mrt-11	MP11	110AA052	N	ntb	-999	mg/l	
24-mrt-11	MP09	110AA400	NH4 N	0.822	0,82	mg/l	24-mrt-11	MP11	110AA400	NH4 N	1.55	1,55	mg/l	
24-mrt-11	MP09	110AA400	NO2 N	<0.01	0,00	mg/l	24-mrt-11	MP11	110AA400	NO2 N	<0.01	0,01	mg/l	
24-mrt-11	MP09	110AA400	NO3 N	<0.05	0,02	mg/l	24-mrt-11	MP11	110AA400	NO3 N	0.0620	0,06	mg/l	
24-mrt-11	MP09	410LS401	P nf	495	495,33	ug/l	24-mrt-11	MP11	410LS401	P nf	224	223,82	ug/l	
24-mrt-11	MP09	110AA400	PO4 P	368	367,75	ug/l	24-mrt-11	MP11	110AA400	PO4 P	144	143,89	ug/l	
24-mrt-11	MP09	110AA400	SILI	8.80	8,80	mg/l	24-mrt-11	MP11	110AA400	SILI	9.18	9,18	mg/l	
24-mrt-11	MP09	110AA400	SO4-S	143	47,92	mg/l	24-mrt-11	MP11	110AA400	SO4-S	137	45,83	mg/l	
24-mrt-11	MP09	410LS401	Zn nf	4.60	4,60	ug/l	24-mrt-11	MP11	410LS401	Zn nf	5.01	5,01	ug/l	
14-jun-11	MP09	410LS401	Al nf	<10	6,81	ug/l	24-mrt-11	MP13	410LS401	Al nf	23.9	23,89	ug/l	
14-jun-11	MP09	110AA400	Cl	1390	1388,72	mg/l	24-mrt-11	MP13	110AA400	Cl	519	518,62	mg/l	
14-jun-11	MP09	110AA113	DOC	14.8	14,77	mg/l	24-mrt-11	MP13	110AA113	DOC	18.5	18,50	mg/l	
14-jun-11	MP09	410LS401	Fe nf	3.40	3,41	mg/l	24-mrt-11	MP13	410LS401	Fe nf	0.0420	0,04	mg/l	
14-jun-11	MP09	110AA052	N	ntb	-999	mg/l	24-mrt-11	MP13	110AA052	N	ntb	-999	mg/l	
14-jun-11	MP09	110AA400	NH4 N	3.40	3,40	mg/l	24-mrt-11	MP13	110AA400	NH4 N	1.50	1,50	mg/l	
14-jun-11	MP09	110AA400	NO2 N	<0.01	-0,02	mg/l	24-mrt-11	MP13	110AA400	NO2 N	<0.01	0,00	mg/l	
14-jun-11	MP09	110AA400	NO3 N	0.183	0,18	mg/l	24-mrt-11	MP13	110AA400	NO3 N	0.0810	0,08	mg/l	
14-jun-11	MP09	410LS401	P nf	7140	7140,13	ug/l	24-mrt-11	MP13	110AA400	PO4 P	50.9	50,92	ug/l	
14-jun-11	MP09	110AA400	PO4 P	5980	5978,56	ug/l	24-mrt-11	MP13	110AA400	SILI	8.93	8,93	mg/l	
14-jun-11	MP09	110AA400	SILI	17.5	17,46	mg/l	24-mrt-11	MP13	110AA400	SO4-S	105	35,12	mg/l	
14-jun-11	MP09	110AA400	SO4-S	92.9	31,04	mg/l	24-mrt-11	MP13	410LS401	Zn nf	4.43	4,43	ug/l	
14-jun-11	MP09	410LS401	Zn nf	7.20	7,20	ug/l	14-jun-11	MP13	410LS401	Al nf	<10	4,71	ug/l	
11-okt-11	MP09	410LS401	Al nf	<10	-12,31	ug/l	14-jun-11	MP13	110AA400	Cl	670	670,31	mg/l	
11-okt-11	MP09	110AA400	Cl	908	908,37	mg/l	14-jun-11	MP13	110AA113	DOC	10.9	10,89	mg/l	
11-okt-11	MP09	110AA113	DOC	19.0	19,03	mg/l	14-jun-11	MP13	410LS401	Fe nf	2.69	2,69	mg/l	
11-okt-11	MP09	410LS401	Fe nf	3.16	3,16	mg/l	14-jun-11	MP13	110AA052	N	ntb	-999	mg/l	
11-okt-11	MP09	110AA052	N		8,55	mg/l	14-jun-11	MP13	110AA400	NH4 N	1.12	1,12	mg/l	
11-okt-11	MP09	110AA400	NH4 N	5.41	5,41	mg/l	14-jun-11	MP13	110AA400	NO2 N	<0.01	-0,01	mg/l	
11-okt-11	MP09	110AA400	NO2 N	<0.01	-0,02	mg/l	14-jun-11	MP13	110AA400	NO3 N	0.161	0,16	mg/l	
11-okt-11	MP09	110AA400	NO3 N	<0.05	-0,01	mg/l	14-jun-11	MP13	410LS401	P nf	1150	1147,66	ug/l	
11-okt-11	MP09	410LS401	P nf	8120	8116,60	ug/l	14-jun-11	MP13	110AA400	PO4 P	956	955,78	ug/l	
11-okt-11	MP09	110AA400	PO4 P	7630	7625,64	ug/l	14-jun-11	MP13	110AA400	SILI	12.4	12,38	mg/l	
11-okt-11	MP09	110AA400	SILI	18.1	18,09	mg/l	14-jun-11	MP13	110AA400	SO4-S	116	38,60	mg/l	
11-okt-11	MP09	110AA400	SO4-S	20.0	6,69	mg/l	14-jun-11	MP13	410LS401	Zn nf	12.7	12,69	ug/l	
11-okt-11	MP09	410LS401	Zn nf	7.43	7,43	ug/l	11-okt-11	MP13	410LS401	Al nf	652	652,12	ug/l	
24-mrt-11	MP10	410LS401	Al nf	20.0	20,00	ug/l	11-okt-11	MP13	110AA400	Cl	693	692,74	mg/l	
24-mrt-11	MP10	110AA400	Cl	365	365,09	mg/l	11-okt-11	MP13	110AA113	DOC	8.95	8,95	mg/l	
24-mrt-11	MP10	110AA113	DOC	20.8	20,76	mg/l	11-okt-11	MP13	410LS401	Fe nf	1.33	1,33	mg/l	
24-mrt-11	MP10	410LS401	Fe nf	0.0120	0,01	mg/l	11-okt-11	MP13	110AA052	N		3,31	mg/l	
24-mrt-11	MP10	110AA052	N	ntb	-999	mg/l	11-okt-11	MP13	110AA400	NH4 N	1.87	1,87	mg/l	
24-mrt-11	MP10	110AA400	NH4 N	0.896	0,90	mg/l	11-okt-11	MP13	110AA400	NO2 N	<0.01	0,00	mg/l	
24-mrt-11	MP10	110AA400	NO2 N	0.0280	0,03	mg/l	11-okt-11	MP13	110AA400	NO3 N	<0.05	-0,02	mg/l	
24-mrt-11	MP10	110AA400	NO3 N	0.363	0,36	mg/l	11-okt-11	MP13	410LS401	P nf	2320	2318,95	ug/l	
24-mrt-11	MP10	410LS401	P nf	113	113,45	ug/l	11-okt-11	MP13	110AA400	PO4 P	1840	1838,01	ug/l	
24-mrt-11	MP10	110AA400	PO4 P	70.8	70,83	ug/l	11-okt-11	MP13	110AA400	SILI	13.1	13,05	mg/l	
24-mrt-11	MP10	110AA400	SILI	7.19	7,19	mg/l	11-okt-11	MP13	110AA400	SO4-S	118	39,27	mg/l	
24-mrt-11	MP10	110AA400	SO4-S	97.5	32,58	mg/l	11-okt-11	MP13	410LS401	Zn nf	10.1	10,09	ug/l	
24-mrt-11	MP10	410LS401	Zn nf	5.50	5,50	ug/l								

E Resultaten B-Ware

meetpunt	Analyse	Stofnaam	dg	waarde	eenheid	meetpunt	Analyse	Stofnaam	dg	waarde	eenheid
MP01	110AA400	Cl		354,71	mg/l	MP09	110AA400	Cl		1389,87	mg/l
MP01	110AA400	NH4 N		1,60	mg N/l	MP09	110AA400	NH4 N		3,20	mg N/l
MP01	110AA400	NO3 N		0,12	mg N/l	MP09	110AA400	NO3 N		0,01	mg N/l
MP01	110AA400	PO4 P		3564,37	ug/l	MP09	110AA400	PO4 P		5978,56	ug/l
MP01	110AA400	PO4 P in mg/l		0,55	mg P/l	MP09	110AA400	PO4 P in mg/l		1,52	mg P/l
MP01	110AA400	SILI		11,08	mg/l	MP09	110AA400	SILI		16,34	mg/l
MP01	410LS401	Al nf	<	10,00	ug/l	MP09	410LS401	Al nf		0,00	ug/l
MP01	410LS401	Alk.		4,24	meq/l	MP09	410LS401	Alk.		9,67	meq/l
MP01	410LS401	Ca nf		82,36	mg/l	MP09	410LS401	Ca nf		116,66	mg/l
MP01	410LS401	CO2		314,03	umol/l	MP09	410LS401	CO2		673,58	umol/l
MP01	410LS401	Fe nf		3,51	mg/l	MP09	410LS401	Fe nf		2,40	mg/l
MP01	410LS401	HCO3		4305,41	umol/l	MP09	410LS401	HCO3		9782,26	umol/l
MP01	410LS401	K		16,78	mg/l	MP09	410LS401	K		42,77	mg/l
MP01	410LS401	Mg nf		31,90	mg/l	MP09	410LS401	Mg nf		130,80	mg/l
MP01	410LS401	Mn nf		3050,00	ug/l	MP09	410LS401	Mn nf		4110,00	ug/l
MP01	410LS401	Na		198,29	mg/l	MP09	410LS401	Na		854,97	mg/l
MP01	410LS401	P nf		1490,00	ug/l	MP09	410LS401	P nf		4710,00	ug/l
MP01	410LS401	pH		7,52		MP09	410LS401	pH		7,54	
MP01	410LS401	S nf		11,99	mg/l	MP09	410LS401	S nf		17,52	mg/l
MP01	410LS401	Zn nf	<	20,00	ug/l	MP09	410LS401	Zn nf	<	20,00	ug/l
MP01	zoutextract	Al-zout		668,59	ug/kg	MP09	zoutextract	Al-zout		925,62	ug/kg
MP01	zoutextract	Ca-zout		1735282,95	ug/kg	MP09	zoutextract	Ca-zout		2107839,67	ug/kg
MP01	zoutextract	Fe-zout		0,00	ug/kg	MP09	zoutextract	Fe-zout		1265,14	ug/kg
MP01	zoutextract	K-zout		201196,82	ug/kg	MP09	zoutextract	K-zout		314427,77	ug/kg
MP01	zoutextract	Mg-zout		409743,79	ug/kg	MP09	zoutextract	Mg-zout		594476,47	ug/kg
MP01	zoutextract	Mn-zout		34970,04	ug/kg	MP09	zoutextract	Mn-zout		136193,58	ug/kg
MP01	zoutextract	NH4 N-zout		5058,79	ug/kg	MP09	zoutextract	NH4 N-zout		30640,58	ug/kg
MP01	zoutextract	NO3 N-zout		483,79	ug/kg	MP09	zoutextract	NO3 N-zout		173,68	ug/kg
MP01	zoutextract	P-zout		1306,74	ug/kg	MP09	zoutextract	P-zout		1392,42	ug/kg
MP01	zoutextract	Si-zout		54783,65	ug/kg	MP09	zoutextract	Si-zout		68084,99	ug/kg
MP01	zoutextract	S-zout		383114,70	ug/kg	MP09	zoutextract	S-zout		615238,45	ug/kg
MP01	zoutextract	Zn-zout		532,14	ug/kg	MP09	zoutextract	Zn-zout		956,89	ug/kg
MP01		Bulk density		0,38	kg/l	MP09		Bulk density		0,33	kg/l
MP04c	110AA400	Cl		386,73	mg/l	MP13	110AA400	Cl		663,09	mg/l
MP04c	110AA400	NH4 N		2,12	mg N/l	MP13	110AA400	NH4 N		1,23	mg N/l
MP04c	110AA400	NO3 N		0,01	mg N/l	MP13	110AA400	NO3 N		0,02	mg N/l
MP04c	110AA400	PO4 P		2,556	ug/l	MP13	110AA400	PO4 P		955,78	ug/l
MP04c	110AA400	PO4 P in mg/l		0,85	mg P/l	MP13	110AA400	PO4 P in mg/l		0,31	mg P/l
MP04c	110AA400	SILI		16,18	mg/l	MP13	110AA400	SILI		8,91	mg/l
MP04c	410LS401	Al nf	<	10,00	ug/l	MP13	410LS401	Al nf		0,00	ug/l
MP04c	410LS401	Alk.		5,72	meq/l	MP13	410LS401	Alk.		6,14	meq/l
MP04c	410LS401	Ca nf		90,59	mg/l	MP13	410LS401	Ca nf		90,89	mg/l
MP04c	410LS401	CO2		255,31	umol/l	MP13	410LS401	CO2		253,14	umol/l
MP04c	410LS401	Fe nf		4,89	mg/l	MP13	410LS401	Fe nf		0,75	mg/l
MP04c	410LS401	HCO3		4540,60	umol/l	MP13	410LS401	HCO3		5853,40	umol/l
MP04c	410LS401	K		17,92	mg/l	MP13	410LS401	K		30,21	mg/l
MP04c	410LS401	Mg nf		36,06	mg/l	MP13	410LS401	Mg nf		56,46	mg/l
MP04c	410LS401	Mn nf		4430,00	ug/l	MP13	410LS401	Mn nf		4640,00	ug/l
MP04c	410LS401	Na		217,89	mg/l	MP13	410LS401	Na		379,26	mg/l
MP04c	410LS401	P nf		2700,00	ug/l	MP13	410LS401	P nf		350,00	ug/l
MP04c	410LS401	pH		7,63		MP13	410LS401	pH		7,75	
MP04c	410LS401	S nf		17,50	mg/l	MP13	410LS401	S nf		9,80	mg/l
MP04c	410LS401	Zn nf	<	20,00	ug/l	MP13	410LS401	Zn nf	<	20,00	ug/l
MP04c	zoutextract	Al-zout		582,30	ug/kg	MP13	zoutextract	Al-zout		401,06	ug/kg
MP04c	zoutextract	Ca-zout		1419900,19	ug/kg	MP13	zoutextract	Ca-zout		410811,65	ug/kg
MP04c	zoutextract	Fe-zout		39,27	ug/kg	MP13	zoutextract	Fe-zout		0,00	ug/kg
MP04c	zoutextract	K-zout		315824,81	ug/kg	MP13	zoutextract	K-zout		66295,47	ug/kg
MP04c	zoutextract	Mg-zout		859375,35	ug/kg	MP13	zoutextract	Mg-zout		121764,78	ug/kg
MP04c	zoutextract	Mn-zout		29334,07	ug/kg	MP13	zoutextract	Mn-zout		1279,31	ug/kg
MP04c	zoutextract	NH4 N-zout		4643,16	ug/kg	MP13	zoutextract	NH4 N-zout		630,46	ug/kg
MP04c	zoutextract	NO3 N-zout		123,19	ug/kg	MP13	zoutextract	NO3 N-zout		420,14	ug/kg
MP04c	zoutextract	P-zout		750,71	ug/kg	MP13	zoutextract	P-zout		85,91	ug/kg
MP04c	zoutextract	Si-zout		33068,03	ug/kg	MP13	zoutextract	Si-zout		8081,16	ug/kg
MP04c	zoutextract	S-zout		936340,96	ug/kg	MP13	zoutextract	S-zout		138468,06	ug/kg
MP04c	zoutextract	Zn-zout		1026,34	ug/kg	MP13	zoutextract	Zn-zout		222,07	ug/kg
MP04c		Bulk density		0,39	kg/l	MP13		Bulk density		1,36	kg/l

F Bijlage F: berekeningen voor detritusvorming

Voor de berekening van de detritus is gebruik gemaakt van de volgende vergelijkingen:

P-detritusvorming ($\text{g/m}^3/\text{dag}$) = $0,65 \times M_k \times \text{P-alg}$, waarin:

$0,65$ = het deel dat als detritus bezinkt (35% komt weer vrij als P-opgelost)

$M_k = 0,04 \times 1,083^T$ (dag^{-1}) en

$\text{P-alg} (\text{g/m}^3) = \text{Chlorofyl} (\text{g/m}^3) / 1,65$

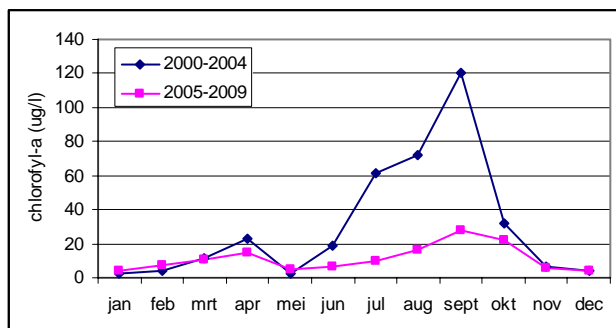
Voor de detritus vorming per m^2 wordt nog vermenigvuldigd met de diepte (5 m).

Tabel F.1 geeft de berekening stapsgewijs weer.

Tabel F.1 Berekening van detritusproductie in het Volkerak.

2005-2009	T-gemidd. °C	Mk ($0,04 \times 1,083^T$)	chlorofyl ($\mu\text{g/l}$)	P-alg (g/m^3)	Detritus ($\text{g P/m}^2/\text{maand}$)
jan	4	0,06	3,7	0,00	0,01
feb	5	0,06	7,3	0,00	0,02
mrt	7	0,07	10,8	0,01	0,05
apr	11	0,10	14,6	0,01	0,08
mei	15	0,13	5,0	0,00	0,04
juni	18	0,17	6,2	0,00	0,06
juli	19	0,18	10,2	0,01	0,11
aug	19	0,18	16,4	0,01	0,18
sept	17	0,16	27,8	0,02	0,25
okt	15	0,13	22,4	0,01	0,18
nov	11	0,10	5,4	0,00	0,03
dec	8	0,08	4,0	0,00	0,02
jaar					1,05

Zoals al geconstateerd door De Vries et al. (2011) zijn de chlorofyl-concentraties flink afgenomen. In de periode van 2000-2004 was de jaarproductie van detritus $3,3 \text{ g/m}^2$.



Figuur F.1 Gemiddelde chlorofylconcentraties per maand over de periodes 2000-2004 en 2005-2009.