

WaterBODEMbeheer in Nederland:

Maatregelen Baggeren en Nutriënten (BAGGERNUT) - Metingen Interne Nutriëntenmobilisatie en Decompositie (MIND-BAGGERNUT)



Eindrapportage 2012

Opdrachtgevers: Diverse waterschappen / Stowa • Projectnummer: PR-10.036
Rapportnummer: 2012.18 • Auteurs: MP, LvdB, GtH, RB, FS, NJ, BB, LL • Datum: 16 mei 2012

Titel rapport: WaterBODEMbeheer in Nederland:
Maatregelen Baggeren en Nutrienten (BAGGERNUT) - Metingen Interne
Nutrientenmobilisatie en Decompositie (MIND-BAGGERNUT)
Eindrapportage 2012

Auteurs: M.D.M. (Moni) Poelen, L.J.L. (Leon) van den Berg, G.N.J. (Gerard) ter Heerdt, R.
(Ronald) Bakkum, A.J.P. (Fons) Smolders, N.G. (Nico) Jaarsma, R.J. (Bob) Brederveld
en L.P.M (Leon) Lamers

Opdrachtgevers: Stowa, Hoogheemraadschap van Delfland, Waternet, Waterschap Hunze en Aa's,
Hoogheemraadschap van Rijnland, Hoogheemraadschap van Schieland en de
Krimpenerwaard, Waterschap Reest en Wieden, Waterschap Rivierenland,
Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden, Wetterskip Fryslân, Waterschap
Veluwe, Waterschap Brabantse Delta, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

Rapportnummer: 2012.18

Niets uit dit rapport mag worden gereproduceerd, opnieuw vastgelegd, vermenigvuldigd of uitgegeven door middel van druk, fotokopie, microfilm, langs elektronische of elektromagnetische weg of op welke andere wijze dan ook zonder schriftelijke toestemming van de auteurs.

Bezoekadres:
Onderzoekcentrum B-WARE
Mercator III
Toernooiveld 1
6525 ED Nijmegen
<http://www.b-ware.eu>

Postadres:
Onderzoekcentrum B-WARE
Postbus 6558
6503 GB Nijmegen

© B-WARE Research Centre, Nijmegen, 2012

Inhoudsopgave

Samenvatting

1. Inleiding	7
1.1 Aanleiding voor het onderzoeksprogramma	7
1.2 Achtergrond interne nutriëntenmobilisatie en baggervorming	8
1.3 Doel van het onderzoeksprogramma	15
1.4 Dankwoord	15
2. Onderzoeksopzet	17
2.1 Onderzoekslocaties	17
2.2 Veldwerkzaamheden	17
2.3 Analyses	19
2.4 Naleveringsexperimenten	21
2.5 Temperatuurafhankelijkheid	23
3. Resultaten	25
3.1 Algemeen	25
<i>Nalevering fosfor (P)</i>	25
<i>Bodemkarakteristieken</i>	28
<i>Nalevering stikstof (N)</i>	33
<i>Afbraaksnelheid (C)</i>	35
<i>Stagnant vs. gewerveld</i>	37
<i>Temperatuurafhankelijkheid P-nalevering</i>	41
3.2 Onderzoekslocaties 2010	43
<i>Haarvaten Westboezem</i>	43
<i>Karitaat Molensloot</i>	47
<i>Vlaardingervaart</i>	50
<i>Alde Feanen</i>	53
<i>Bleiswijkse Zoom</i>	57
<i>Oldambtmeer</i>	60
<i>Ackerdijkse plassen</i>	63
<i>Grote Wetering</i>	67
<i>Kanalen Westerwolde</i>	71
<i>Naardermeer</i>	74
<i>Grote Maarsseveense plas</i>	78
<i>Slotermeer</i>	81
<i>Schutsloterwijde</i>	84
<i>Hoefsven</i>	87

3.3 Onderzoekslocaties 2011	90
<i>Slinksloot</i>	90
<i>Zegveld</i>	93
<i>De Pleyt</i>	96
<i>Klein Vogelenzang</i>	99
<i>De Keulevaart</i>	102
<i>De Leijen</i>	105
<i>Honswijk</i>	108
<i>Zuidlaardermeer</i>	111
<i>Veenkoloniën</i>	114
<i>Sloene</i>	117
<i>De Vecht</i>	120
<i>Nieuwe Wetering</i>	123
<i>Grote Wetering</i>	126
<i>Loenderveense plas</i>	129
<i>Westbroekse Zodden</i>	132
4. Conclusies MIND-Baggernut	135
Literatuur	137
Bijlagen	

Samenvatting

De trofiegraad van oppervlaktewater is van grote invloed op de kwaliteit van het watersysteem en de daarmee samenhangende biodiversiteit en gezondheidsaspecten. In verband met opgelegde doelstellingen voor 2015 vanuit de Europese Kaderrichtlijn Water is het terugdringen van de nutriëntenconcentraties van groot belang voor waterbeheerders. In het verleden is gebleken dat niet alleen externe bronnen, maar ook interne bronnen in het watersysteem een grote rol kunnen spelen bij eutrofiëring. Het onderzoek in het voor u liggende rapport, als onderdeel van het programma Baggernut, gaat in op de rol van de onderwaterbodem en de mate waarin nalevering van nutriënten vanuit de onderwaterbodem naar de waterlaag plaatsvindt. Deze gegevens zijn verder uitgewerkt in het onderdeel Quicksan van het programma Baggernut.

Het doel van dit onderzoek was het ontwikkelen van een eenvoudige en goedkope *tool* waarmee de nalevering van nutriënten voorspeld kan worden, zodat waterbeheerders een inschatting hiervan kunnen maken voor nu, en eventueel de toekomst. Deze waarde kan gebruikt worden bij het opstellen van een water- en stoffenbalans, en als ondersteuning bij het kiezen van beheersmaatregelen.

Op 29 locaties verspreid over Nederland (sloten, vaarten en meren) zijn oppervlaktewater-, bodemvocht- en bodemmonsters verzameld en daarnaast kolomproeven uitgevoerd om de nalevering van nutriënten van de onderwaterbodem naar de waterlaag te meten. Er is een uitgebreid pakket aan parameters in het bodemvocht en in de onderwaterbodem gemeten. Daarnaast zijn de nalevering van fosfor, stikstof en de afbraaksnelheid experimenteel bepaald onder invloed van hoge en lage zwavelconcentraties in stagnante en gewervelde toestand. Daarnaast is de temperatuurafhankelijkheid van de P-nalevering bepaald, zodat de waarde omgerekend kan worden naar de verschillende temperaturen gedurende het jaar.

De concentratie totaal opgelost fosfor in het bodemvocht (eenvoudig te verzamelen met keramische cups) geeft de meest nauwkeurige voorspelling van de nalevering van fosfor. Deze waarde bij 15°C kan eenvoudig omgerekend worden naar andere temperaturen met behulp van de bijgeleverde correctiefactoren. Totaal-P in de bodem en Fe/P geven minder informatie. Voor de voorspelling van nalevering na baggeren kan het beste de concentratie Olsen-P in de onderlaag gebruikt worden. De nalevering van fosfor correleert goed met de nalevering van stikstof. Dit geeft dus de mogelijkheid om met een eenvoudige meting aan het bodemvocht zowel de fosfor- als de stikstofnalevering te voorspellen. De afbraaksnelheid van de onderwaterbodem bleek nauwelijks te correleren met gemeten sediment- en bodemvochtparameters. Ook diverse organische fracties (bepaald met kostbare organische fractionering) bleken niet voorspellend te zijn. Hiermee blijkt het dus lastig te zijn om de baggerproductie te voorspellen. Bij locaties met een alkaliniteit in het bodemvocht > 2.5 meq/l voorspelt de alkaliniteit voor 50% de afbraaksnelheid.

Geconcludeerd kan worden dat we binnen dit KRW-innovatieprogramma erin geslaagd zijn om deze *tool* te ontwikkelen. Met een eenvoudige meting is het voor waterbeheerders nu mogelijk om een inschatting te maken van de bijdrage van de onderwaterbodem in de totale stoffenbalans.

1. Inleiding

1.1 Aanleiding voor het onderzoeksprogramma

In de afgelopen jaren is door de waterbeheerders de opgave voor de Kaderrichtlijn Water (KRW) gebiedsgericht uitgewerkt. Landelijk en regionaal zijn doelen geformuleerd en bijbehorende maatregelen bepaald om deze doelen te bereiken. De Ex Ante Evaluatie Kaderrichtlijn Water (Ligtvoet & Cleij, 2008) laat echter zien dat bij het uitvoeren van alle haalbare en betaalbare maatregelen geen 100 % doelbereik wordt gerealiseerd. De belasting van het oppervlaktewater met nutriënten is één van de belangrijkste oorzaken voor het niet halen van de doelen in 2015. Zo worden de doelen voor fosfor in regionale wateren in veel gevallen niet gehaald. Dat heeft gevolgen voor de ecologische doelen. In bijna 50 % van de waterlichamen zullen de fytoplanktondoelen niet worden gehaald. Dat heeft ook een sterk negatief effect op de andere biologische kwaliteitselementen (Pot, 2005).

Om de KRW-doelen te halen moet dus de nutriëntenbelasting verder omlaag. Dit probleem heeft duidelijk raakvlakken met andere beleidsterreinen; denk hierbij aan het niet voldoen aan de Zwemwaterrichtlijn en het niet halen van Natura2000 beheerdoelen. De maatregelen om de nutriëntenbelasting terug te dringen zijn volgens de Ex Ante Evaluatie (Ligtvoet & Cleij, 2008) vooral gericht op de beperking van de externe bronnen. Nutriënten komen echter niet alleen van buiten; ook binnen een waterlichaam is een -potentieel- belangrijke bron van nutriënten aanwezig: de bodem. Ouder (Lijklema, 1985; Boers, 1986; Sas, 1989) en recenter (Lamers et al., 1998; 2002b; Jeppesen et al., 2005; Lamers et al., 2006; Smolders et al., 2006; Michielsen et al., 2007; Gulati et al., 2008; Lamers et al., 2010) onderzoek laat zien dat door bodemprocessen grote hoeveelheden nutriënten kunnen vrijkomen. Deze zogeheten interne eutrofiëring kan zo sterk zijn dat herstel van de natuurkwaliteit met meer dan tien jaar wordt vertraagd of zelfs geheel verhinderd. In die gevallen zal er gezocht moeten naar KRW-maatregelen om de interne eutrofiëring sterk te verminderen. Volgens voorlopige schattingen zal dat voor 50 % van de waterlichamen in Nederland nodig zijn (ter Heerdt; Klinge pers. med. Gebaseerd op Klinge, 2008).

Het probleem is dus bekend. Ook in alle vier de stroomgebiedbeheersplannen (SGBP's) wordt aangegeven dat de nalevering van nutriënten vanuit de waterbodems niet wordt gekwantificeerd, maar dat deze wel een belangrijke bron van verontreiniging vormt. Een andere beperking voor het halen van de KRW-doelen is de grote hoeveelheid bagger (slib) die in sloten, vaarten en meren aanwezig kan zijn (Lamers et al., 2006). Een dikke sliblaag heeft effect op diepte, temperatuur, troebelheid, zuurstof en de vestigingsmogelijkheden voor planten en daarmee op de scores op de KRW-maatlatten (Hovenkamp-Obbema & Bijlmakers, 2001; Pot, 2005; Evers & Knobben, 2007; Schreijer, 2008). De baggerlaag is bovendien een belangrijke bron van interne eutrofiëring (Lamers, 2006; Michielsen et al. 2007) en zelfs ver afgebroken bagger kan nog steeds veel naleveren (Geurts et al. 2010). De aanwezigheid van bagger wordt door waterbeheerders dan ook als groot probleem gezien, volgens de Ex Ante Evaluatie is er voor EUR 332.000.000,-- aan baggermaatregelen gepland. In het SGBP Rijn wordt gemeld dat naast het reguliere baggerwerk (dat niet is opgenomen in de KRW programmering) op een aantal plaatsen (ca 3660 ha) aanvullend baggerwerk nodig is voor het realiseren van een Goed Ecologisch Potentieel (GEP).

Interne eutrofiëring en baggervorming zijn het resultaat van vier (groepen) processen in en aan de bodem:

1. De interne nutriëntencyclus, aangejaagd door externe eutrofiëring;
2. Versnelde afbraak en turnover van organisch materiaal (afgestorven planten, veen, slib) onder invloed van alkaliniteit, sulfaat en andere waterkwaliteitsparameters;
3. Verminderde nutriëntenbinding in de bodem door ijzergebrek, sulfideproductie, verdringing;
4. Versnelde turnover onder invloed van planten, vissen etc.

Het project Baggernut, dat ingediend is binnen het programma Watermozaïek van Stowa, wordt gefinancierd door het Innovatieprogramma Kaderrichtlijn Water van het Agentschap NL. Het project beoogt deze processen beter in beeld te brengen en vooral ook te kwantificeren, waarbij het doel is om een zo eenvoudig mogelijke set van indicatieve en voorspellende metingen te definiëren die door waterbeheerders uitgevoerd kan worden.

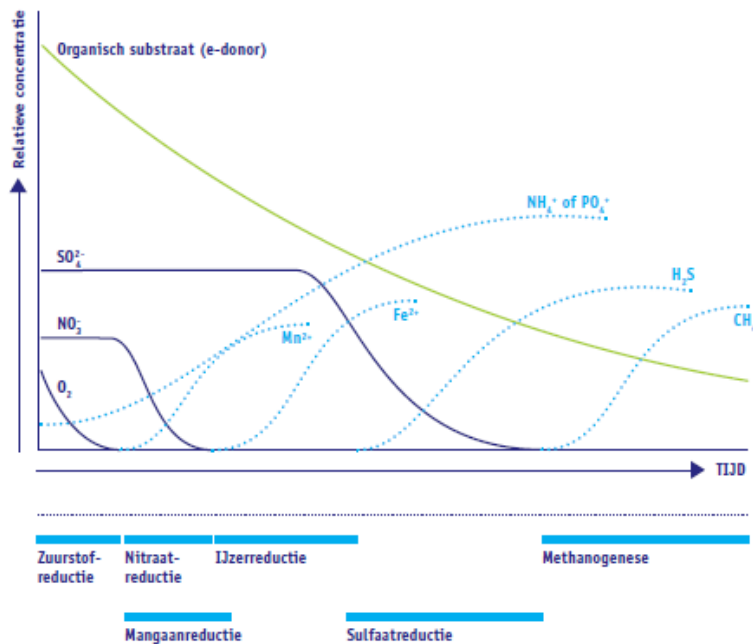
1.2 Achtergrond interne nutriëntenmobilisatie en baggervorming

Correlaties en processen die van belang zijn voor de nutriëntenmobilisatie

Een belangrijke bron van nutriënten is het organisch materiaal in de bodem waar na afbraak veel nutriënten uit vrijkomen. Deze afbraak vindt in de waterbodem plaats onder zuurstofarme of zuurstofloze omstandigheden (anaëroob). Voor de afbraak van het organisch materiaal onder anaërobe omstandigheden is een voldoende hoge zuurbuffering (hoge alkaliniteit) van belang en tegelijkertijd ook de aanwezigheid van alternatieve elektronenacceptoren. Dit komt omdat de laatste stap in de afbraak van organisch materiaal in wezen een redoxreactie is waarbij uitwisseling van elektronen plaatsvindt tussen een reductor (electrondonor) die deze afstaat en een oxidator (electronacceptor) die ze opneemt. Schimmels en bacteriën gebruiken deze redoxreacties om stoffen om te zetten of af te breken waarbij de energie die hierbij vrijkomt wordt gebruikt voor groei. Welke oxidator met welke reductor een reactie aangaat hangt af van de mate waarin elektronen gebonden zijn, de elektronenactiviteit. Een maat voor de elektronenactiviteit is de redoxpotentiaal E_h (uitgedrukt in mV). Hoe sterker elektronen gebonden zijn hoe minder energie ze leveren voor de groei van bacteriën en schimmels. Zuurstof (O_2) is een zeer sterke oxidator (electronacceptor) en zal daarom indien het aanwezig is, altijd als zodanig optreden. In afwezigheid van zuurstof zullen achtereenvolgens o.a. nitraat (NO_3^-), mangaan (Mn^{4+}), ijzer (Fe^{3+}), sulfaat (SO_4^{2-}) en koolstofdioxide (CO_2) als alternatieve oxidatoren optreden (Tabel 1.1, Figuur 1.1). Hierbij worden ze gereduceerd tot respectievelijk stikstofgas (N_2), stikstofoxide (N_2O) of ammonium (NH_4^+), mangaan (Mn^{2+}), gereduceerd ijzer (Fe^{2+}), waterstofsulfide (H_2S) en methaan (CH_4).

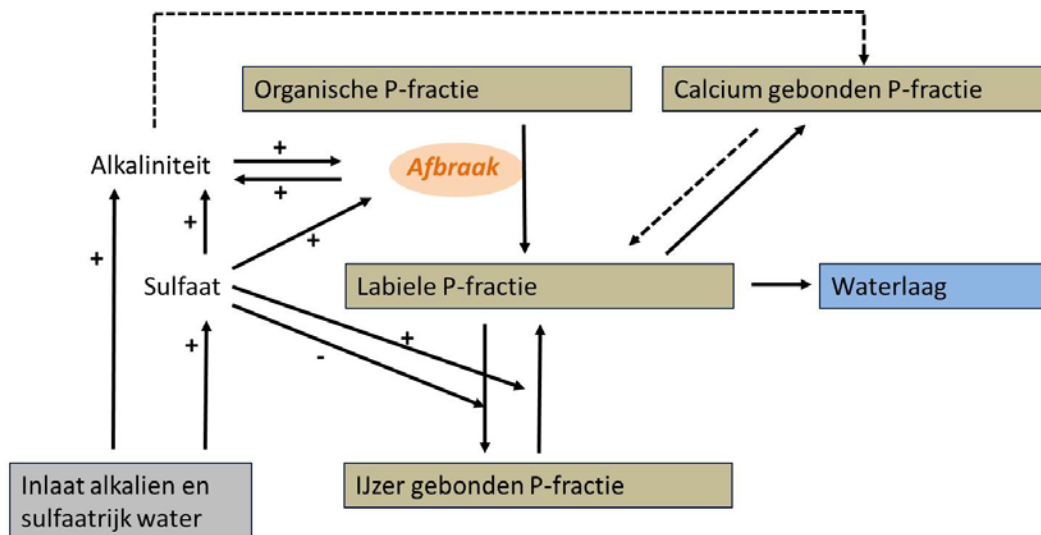
Tabel 1.1: De volgorde van reacties gaat van de hoogste redoxpotentiaal naar de laagste (naar Mitsch & Gosselink, 1993), waarbij steeds minder energie gegenereerd wordt. De aangegeven waarden voor de redoxpotentiaal zijn richtwaarden; ijzer- en sulfaatreductie kunnen bijvoorbeeld ook tegelijk voorkomen.

<i>reactie</i>		<i>redoxpotentiaal (E_h)</i>
$O_2 + 4e^- + 4H^+$	$\rightarrow 2H_2O$	400 tot 600 mV
$2NO_3^- + 10e^- + 12H^+$	$\rightarrow N_2 + 6H_2O$	250 mV
$MnO_2 + 2e^- + 4H^+$	$\rightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$	225 mV
$Fe(OH)_3 + e^- + 3H^+$	$\rightarrow Fe^{2+} + 3H_2O$	120 mV
$SO_4^{2-} + 8e^- + 10H^+$	$\rightarrow H_2S + 4H_2O$	-75 tot -150 mV
$CO_2 + 8e^- + 8H^+$	$\rightarrow CH_4 + 2H_2O$	- 250 mV



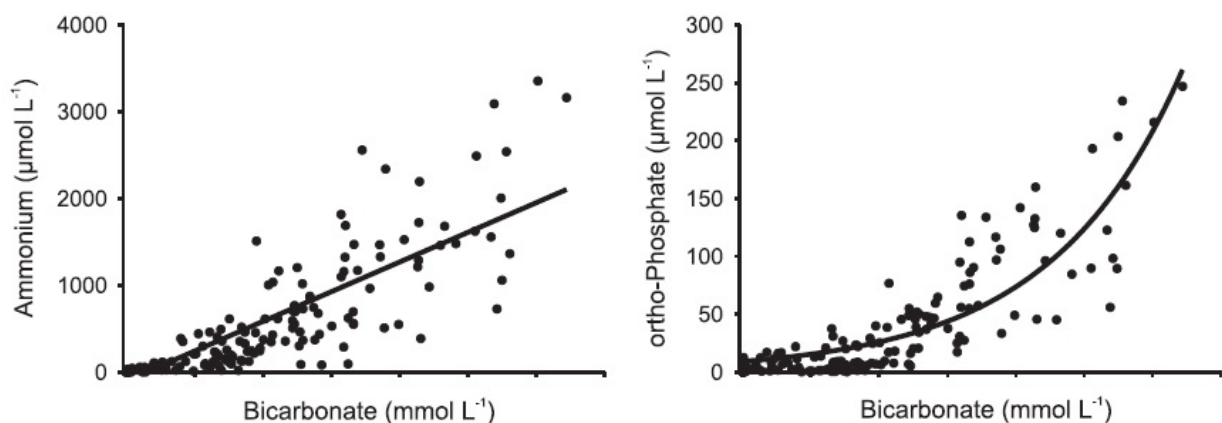
Figuur 1.1: Reductieprocessen die bij afbraak van organisch materiaal kunnen optreden (Mitsch en Gosselink, 1993)

De reductieprocessen kunnen op verschillende wijzen effect hebben op de nutriëntenmobilisatie uit de bodem. De afbraak van organisch materiaal (groene lijn in figuur 1.1) kan direct leiden tot het vrijkomen van nutriënten. Dit proces heet mineralisatie. Reductieprocessen kunnen echter ook de binding van nutriënten (in het bijzonder P) aan complexen, voornamelijk ijzer(hydr)oxiden, verstoren. Dit proces heet desorptie. Een en ander is uiteraard afhankelijk van de vorm waarin P aanwezig is in de bodem. Fosfaat kan bijvoorbeeld in organische stof aanwezig zijn maar ook gebonden zijn aan calcium (vooral co-precipitatie van calciumcarbonaten met fosfaat) en ijzerverbindingen. Figuur 1.2 laat globaal zien welke processen een positieve (aangegeven met een +) of negatieve (aangegeven met een -) rol spelen bij de overgang van fosfaten naar de diverse fracties. De labiele fractie P, waaronder het P in het bodemvocht, vormt hierbij een doorgeefluik naar de waterlaag. Duidelijk is dat de inlaat van sulfaatrijk, en in zwakgebufferde en zure systemen ook de inlaat van alkaliën (hard) water, een kettingreactie op gang brengt waarbij positieve koppelingen naar afbraak en de overgang van ijzergebonden P naar de labiele P fractie een grote rol spelen.



Figuur 1.2: Schematische weergave van de effecten van de inlaat van alkalien en sulfaatrijk water op wateren met een organische bodem (aangepast naar Smolders et al 2006).

Als we globaal de Nederlandse onderwaterbodems bekijken dan zien we dat er een correlatie bestaat tussen de alkaliniteit en de ammonium- en fosfaatconcentraties in het bodemvocht. We kunnen dit verklaren door aan te nemen dat de afbraak van organisch materiaal leidt tot het vrijkomen van anorganisch koolstof (alkaliniteit in de vorm van bicarbonaat), stikstof (ammonium) en fosfor. Naarmate er meer organisch materiaal wordt afgebroken zal het bodemvocht dan ook rijker zijn aan zowel bicarbonaat, ammonium als fosfaat, waardoor de gevonden verbanden weergegeven in Figuur 1.3 kunnen worden verklaard (Van der Heide e.a. 2010). Deze productie van alkaliniteit kan vervolgens de mineralisatie verder stimuleren, door organische zuren te neutraliseren.



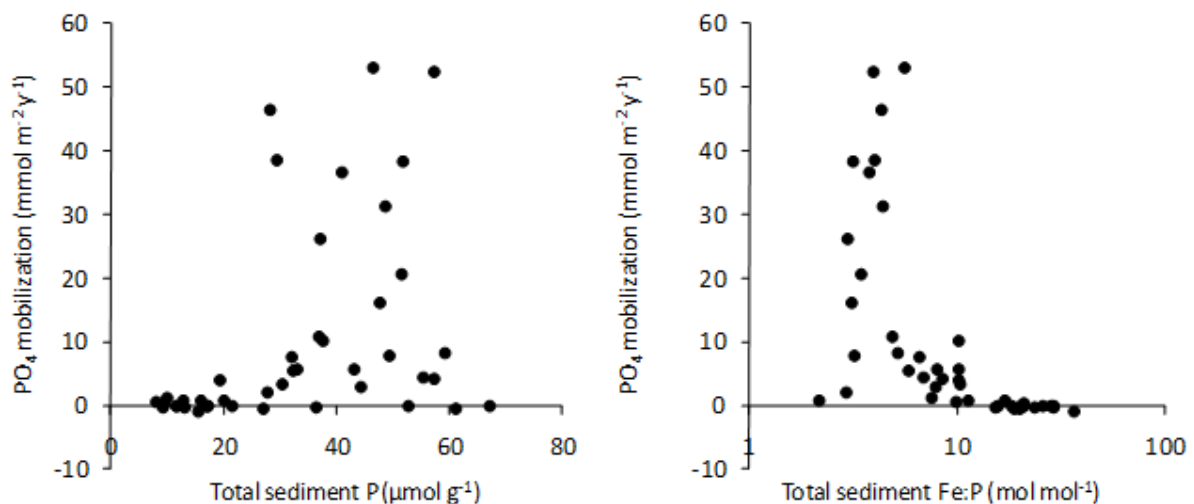
Figuur 1.3: Het verband tussen alkaliniteit, en ammonium (links) en PO_4^{3-} (rechts) in het bodemvocht voor een groot aantal oppervlaktewateren (naar van der Heide et al 2010).

Indicatoren voor fosformobilisatie

Deze indicatoren zijn onder te verdelen in een aantal parameters in het bodemvocht of (als totaalwaarde) in de bodem:

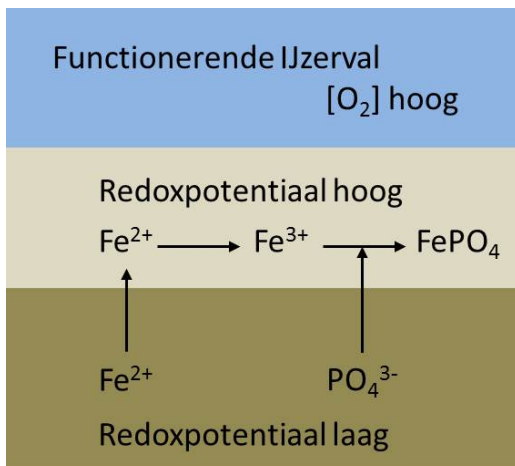
P
Fe/P
 $\text{Fe}/\text{PO}_4^{3-}$
 PO_4^{3-}
Alkaliniteit
Fe
S

Zoals gezegd kan P in verschillende fracties in de bodem voorkomen. Het totaal aan P in de bodem is derhalve niet direct een geschikte indicator voor de mobilisatie van fosfaten naar de waterlaag, met name voor veen- of slibbodems waarin een groot deel organisch gebonden is en pas na mineralisatie vrijkomt (figuur 1.4). De voorspellende waarde van het totaal P gehalte van de bodem is te verbeteren door het totaalgehalte aan ijzer in de formule te betrekken. De ratio totaal ijzer: totaal P blijkt al een veel betere indicator te zijn voor de mobilisatie van fosfaat naar de waterlaag (figuur 1.4)



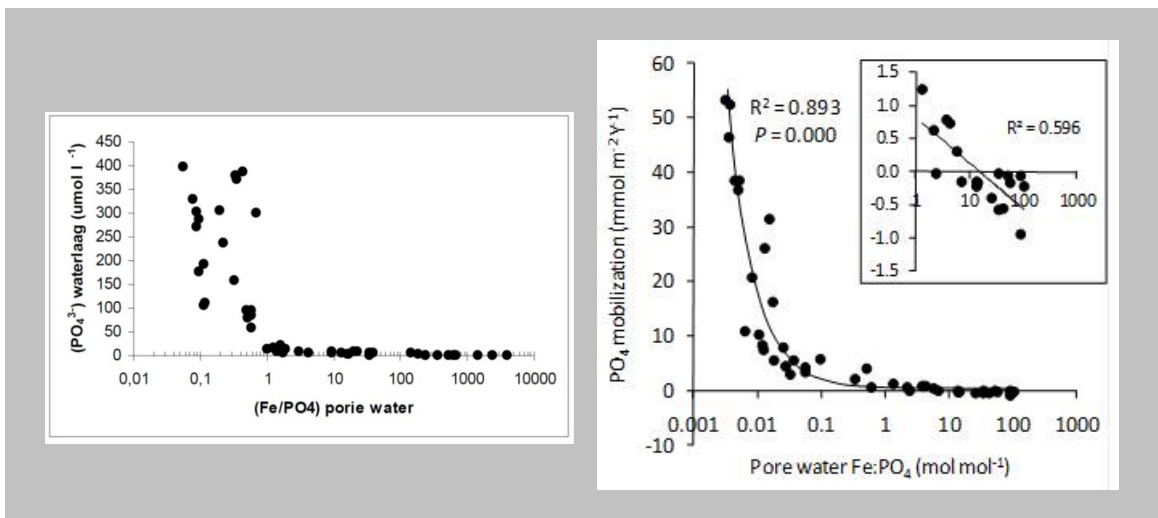
Figuur 1.4: Verband tussen het totaal aan P in de bodem en de fosfaat mobilisatie naar de waterlaag (links). Rechts is getoond de relatie tussen de totaal ijzer: totaal P ratio en de fosfaat mobilisatie naar de waterlaag (naar Geurts et al 2010).

IJzer speelt een belangrijke rol bij de immobilisatie van fosfaat in de bodem. Het fosfaat vormt met ijzer verbindingen zoals $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ en FePO_4 . Verder wordt een deel van het fosfaat geadsorbeerd aan ijzer(hydr)oxiden. Hoge ijzerconcentraties in het poriewater gaan ook de nalevering van fosfaat naar de waterlaag tegen omdat ijzer en fosfaat gezamenlijk neerslaan op de overgang van de anaërobe bodem naar de aërobe waterlaag (Figuur 1.5). Dit wordt de ijzerval genoemd. Bij sterke anaërobie van de bovenste bodemlaag, of bij anaërobie van de waterlaag door een hoge organische belasting of door afsluiting met een laag kroos of kroosvaren, werkt deze ijzerval niet meer. De mobilisatie van P vanuit de bodem wordt dan sterk verhoogd. Dit treedt bijvoorbeeld ook op bij plotselinge temperatuurstijgingen in wateren met weinig zuurstof. De zuurstofconsumptie neemt dan toe, en de oplosbaarheid van het gas neemt af. Door de daling van de redoxpotential komt dan massaal fosfaat vrij.



Figuur 1.5: Functionering van de ijzerval in zuurstofrijke wateren, in blauw de waterlaag in bruintinten (licht: aërobe laag) de bodem.

De relatie tussen ijzer: fosfaat (Fe/PO₄³⁻) ratio van het bodemvocht en de nalevering van fosfaat naar de waterlaag is al meerdere keren vastgesteld voor diverse wateren. Gebleken is dat de ijzer:fosfaat ratio in het bodemvocht, verzameld door het anaëroob met keramische cups onder vacuüm uit de bodem te zuigen, een goede indicator is voor de mobilisatie van fosfaat naar de waterlaag (zie trends in figuur 1.6, naar Smolders et al 2001 en Geurts et al 2010).



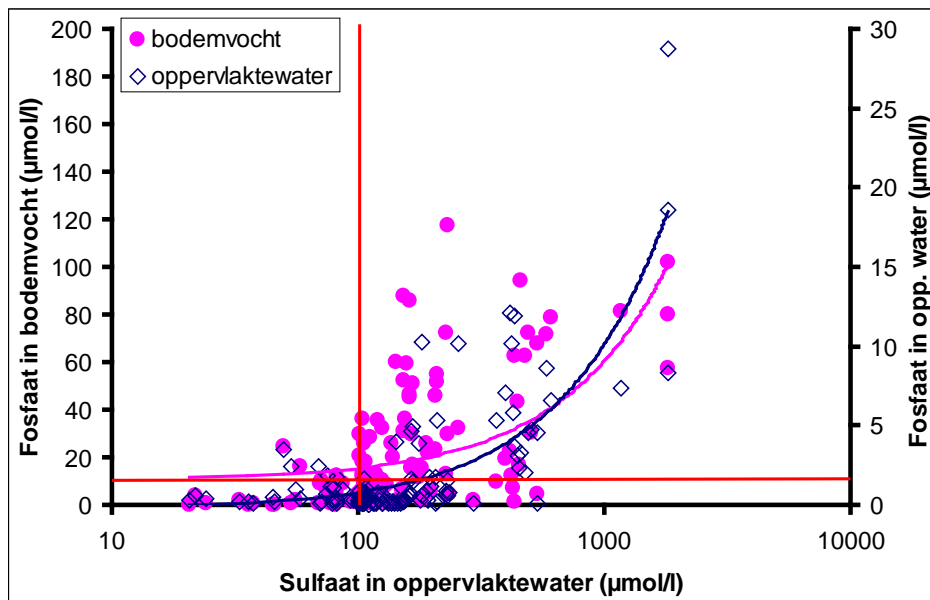
Figuur 1.6: Fosfaatconcentraties in de waterlaag (links) en de fosfaatmobilisatie (rechts) als functie van de ijzer: fosfaat ratio in het bodemvocht van verschillende veenplassen (naar Smolders et al., 2001 en Geurts et al., 2010)

Op basis van deze grafieken kan men een drempelwaarde voor de ijzer:fosfaat ratio in het bodemvocht aanhouden van 1-10 (mol:mol), waar beneden de mobilisatie plotseling sterk toeneemt. Boven een waarde van 10 is er in veenplassen over het algemeen voldoende ijzer beschikbaar om fosfaten te binden.

Sulfaat zal in anaëroobe bodems fungeren als alternatieve elektronenacceptor waardoor het de afbraak van organisch materiaal kan versnellen. Het bij de sulfaatreductie gevormde waterstofsulfide (dat ruikt naar rotte eieren) reageert verder met in de bodem aanwezig

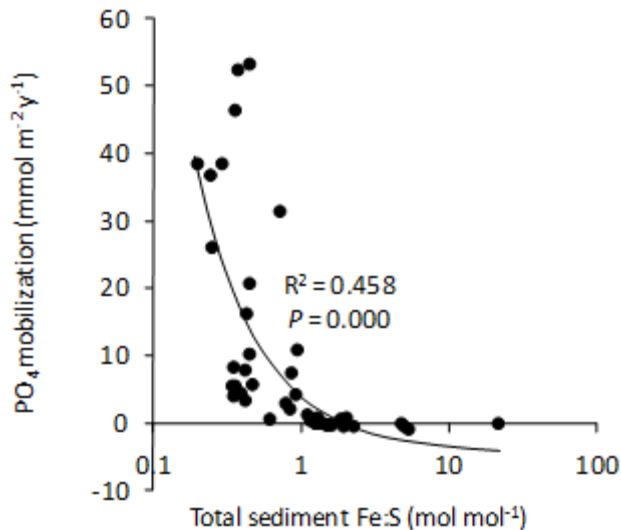
ijzercomplexen waarbij ijzersulfiden worden gevormd. Op deze wijze kan uiteindelijk het overgrote deel van het in de bodem aanwezige ijzer worden gebonden als ijzersulfide (Lamers et al. 1998; 2002a; Smolders et al 2006). Het aan sulfide gebonden ijzer zal niet beschikbaar zijn voor de binding van fosfaten en in dergelijke bodems spreekt men van een gebrekkige of niet functionerende ijzerval. De fosfaatconcentraties in het bodemvocht kunnen hierdoor sterk toenemen en door de lage ijzerconcentraties zal de fosfaatmobilisatie naar de waterlaag stijgen. Als alle ijzer in de bodem gebonden is aan sulfide kan er bij verdergaande sulfaatreductie, waterstofsulfide ophopen in het poriewater. Dit sulfide is giftig voor vele wortelende waterplanten en voor fauna.

Uit onderzoek van Geurts et al. (2008) in laagveenwateren is gebleken dat voor sulfaat in het oppervlaktewater een grenswaarde van $100 \mu\text{mol L}^{-1}$ als ecologisch veilig kan worden aangehouden. Bij waarden hoger dan $100 \mu\text{mol L}^{-1}$ is het risico op sulfaat gestuurde eutrofiëring aanwezig (figuur 1.7) terwijl boven een grenswaarde van $200 \mu\text{mol L}^{-1}$ de diversiteit aan soorten sterk kan teruglopen. Of deze sulfaatgestuurde eutrofiëring optreedt, hangt echter sterk af van het bodemtype.



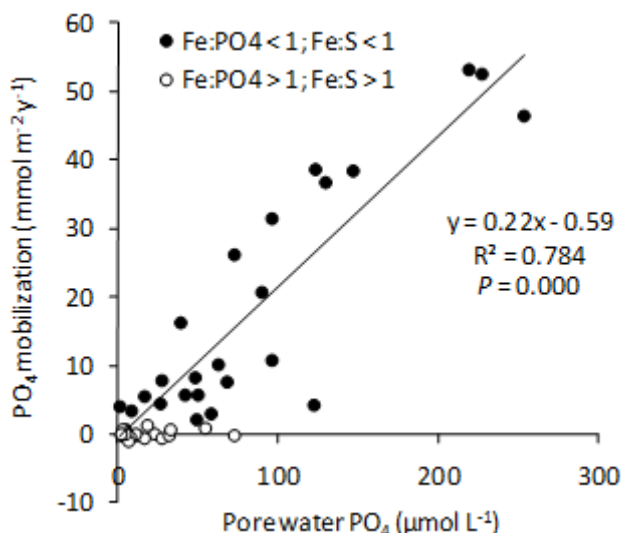
Figuur 1.7: Fosfaatconcentraties in het bodemvocht (bolletjes) en in het oppervlaktewater (ruitjes) als functie van de sulfaatconcentraties in het oppervlaktewater.

Aangezien sulfaat in de bodem met ijzer tot FeS en FeS_2 (pyriet) kan neerslaan, is er gekeken naar ijzersulfide als indicator voor de mobilisatie van fosfaat. Uit onderzoek van Geurts e.a (2010) blijkt dat de totaal ijzer:zwavel ratio een goede indicator is voor de hoeveelheid ijzer die beschikbaar is voor de immobilisatie van fosfaten. Bij ijzer:zwavel ratio's onder 1 (mol:mol) neemt de hoeveelheid ijzer(hydr)oxiden sterk af waardoor de fosfaatmobilisatie en daarmee de fosfaatconcentratie toeneemt in de waterlaag (figuur 1.8).



Figuur 1.8: De relatie tussen de fosfaatmobilisatie en de totaal ijzer:zwavel ratio in de bodem (Geurts et al 2010).

Het belang van ijzer wordt nogmaals onderstreept door de relatie die bestaat tussen de ratio's van ijzer:zwavel (totaalwaarden) en ijzer:fosfaat (bodemvocht) en de relatie tussen fosfaat in het bodemvocht en de fosfaatmobilisatie naar de waterlaag. In plassen met een lage ijzer:fosfaat en lage ijzer:zwavel ratio (donkere bolletjes in figuur 1.9) is een lineair verband waar te nemen tussen de fosfaatconcentraties in het bodemvocht en de fosfaatmobilisatie naar de waterlaag. Echter, in bodems waar voldoende ijzer aanwezig is zijn de ijzer:zwavel en ijzer:fosfaat ratio's beneden de 1 (mol:mol) en is een dergelijk lineair verband niet waar te nemen. Deze bodems blijken niet of nauwelijks fosfaat te mobiliseren, ook niet bij hogere fosfaatconcentraties, en de fosfaatconcentratie in het bodemvocht is geen goede indicator voor de fosfaatmobilisatie (figuur 1.9).



Figuur 1.9: Relatie tussen fosfaatconcentraties in het bodemvocht en fosfaatmobilisatie voor bodems met veel beschikbaar ijzer (hoge ijzer:zwavel en ijzer:fosfaat ratio's) en bodems met weinig ijzer (lage ijzer:zwavel en ijzer:fosfaat ratio's) naar Geurts et al 2010.

1.3 Doel van het onderzoeksprogramma

Het doel van het project BAGGERNUT is om de processen die samenhangen met de interne mobilisatie van nutriënten en baggerproductie, inzichtelijk te maken en op een eenvoudige wijze te kunnen kwantificeren. Het achterliggende doel daarbij is om waterbeheerders handvatten aan te reiken om vanuit de waterkwaliteit een oordeel te kunnen geven over de wenselijkheid van het aanpakken van de waterbodem.

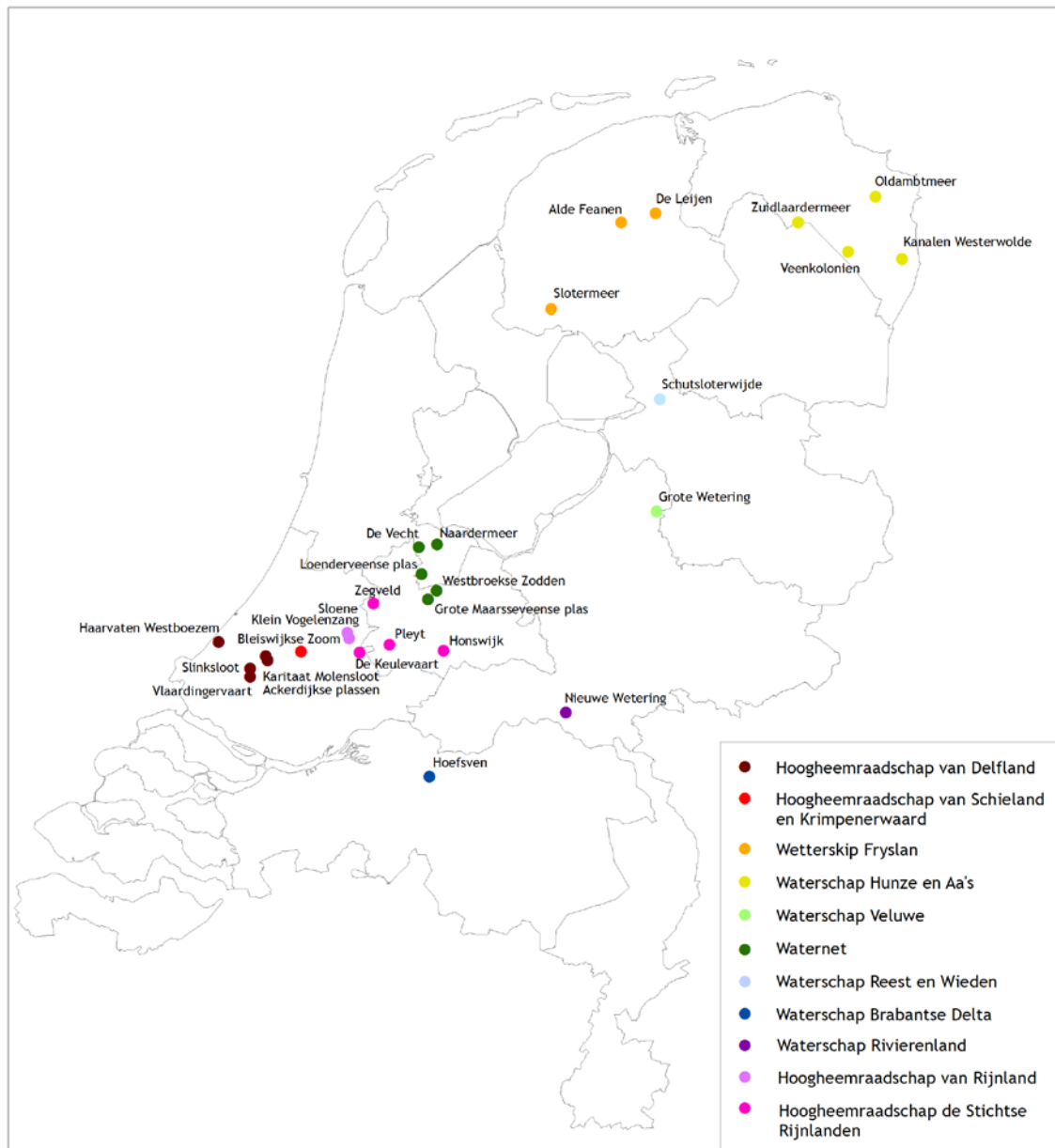
1.4 Dankwoord

We willen graag de volgende mensen van het kernteam bedanken: Sophie Boland, Hans Aalderink, Renée Talens en Rikje van der Weerd (Arcadis), Leonard Osté (Deltares) en Tessa van der Wijngaart (Stowa) voor de goede samenwerking en zinvolle discussies. Verder willen we alle betrokken waterbeheerders (en Stichting Waterproef) hartelijk bedanken voor hun hulp, input en discussies, enthousiasme en interesse: Yora Tolman, Joep de Koning, Sameh Saad en Ester den Draak (Hoogheemraadschap van Delfland), Peter Paul Schollema (Waterschap Hunze en Aa's), Bruce Michielsen (Hoogheemraadschap van Rijnland), Jack Hemelraad (Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard), Dwight de Vries (Waterschap Reest en Wieden), Ronald Gylstra, Bjorn Prudon en Myra Kremer (Waterschap Rivierenland), Peter Heuts (Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden), Theo Claassen, Roelof Veeningen en Froukje Grijpstra (Wetterskip Fryslân), Jan van Kempen (Waterschap Veluwe), Guido Waaijen en Jaap Oosthoek (Waterschap Brabantse Delta), Ben Eenkhoorn (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier), Emile Nat (Stichting Waterproef) en overige waterbeheerders. Verder bedanken we Jeroen Graafland en Paul van der Ven (B-Ware), Jelle Eygensteyn en Liesbeth Pierson (RU), Deef van Houdt, Rick Kuiperij en de andere labtechnici, José van Diggelen, Emiel Brouwer, Fannie van Uden, Roland Bobbink en Hilde Tomassen (B-Ware), Jeroen Geurts en Martin Versteeg (RU) die een onmisbare bijdrage hebben geleverd.

2. Onderzoeksopzet

2.1 Onderzoekslocaties

In 2010 en 2011 zijn er in totaal 29 locaties in Nederland onderzocht, waarvan de ligging in figuur 2.1 is weergegeven.



Figuur 2.1: De ligging van de 29 onderzoeklocaties van MIND-Baggernut. De locaties hebben per water- of hoogheemraadschap een overeenkomstige kleur.

2.2 Veldwerkzaamheden

Verdeeld over twee jaar, in juni en juli 2010 en 2011, is de monsternamete uitgevoerd voor het project Baggernut. Per plas is, met behulp van een 6 centimeter dikke zuigerboor, sediment verzameld voor de naleveringsproeven (figuur 2.2) en voor aanvullende bodemanalyses. De zuigerboor bestaat uit een transparante kunststof steekbuis waaraan verlengstangen kunnen worden bevestigd. De steekbuis

wordt middels het stangenstelsel in de bodem gedrukt. De zuiger in de steekbuis zorgt voor een onderdruk, waardoor het monster gemakkelijker in de buis wordt opgenomen. Met deze methode is het mogelijk een intact bodemprofiel te bemonsteren en direct in een passende glazen cilinder aan te brengen. Per plas of watergang zijn er steeds twaalf cilinders maximaal voor de helft met bodem gevuld en afgevuld met gebiedswater om de anaërobie van de onderwaterbodem intact te houden. Verder zijn er in totaal vijf bodemmonsters en drie oppervlaktewatermonsters verzameld¹. Mede afhankelijk van het watertype zijn in principe de cilinderkernen en de drie bodemmonsters in het zuidwesten verzameld (binnen een straal van 50 meter) en twee bodemmonsters in een raai van ZW naar NO, beginnende bij de 3 monsterpunten. Deze monsterpunten liggen verder uit elkaar (+50m). In kanalen is ervoor gekozen monsterpunten enkele tientallen meters van elkaar te nemen. De exacte monsterlocaties zijn te vinden in de locatiespecifieke beschrijving van de resultaten. Een bodemmonster bestaat steeds uit vijf submonsters afkomstig van de bovenste 5-10 centimeter van de onderwaterbodem. Op drie locaties, waar ook de bodemmonsters genomen zijn, is een watermonster verzameld in een 1L glazen fles, waarnaast op de cilinderlocatie de pH, het EGV, het zuurstofgehalte en de redoxpotentiaal zijn bepaald met behulp van HQ40d multimeter. Alle locaties zijn met behulp van een GPS (Garmin 60 CX) vastgelegd, het bodemprofiel is beschreven en de diepte van het water is genoteerd. Bodems en water zijn gekoeld getransporteerd. Van de waterbodemonsters is dezelfde dag, na handmatige anaërobe homogenisatie en onder gekoelde omstandigheden, anaëroob bodemvocht verzameld met behulp van teflon rhizons (Eijkelkamp Agrisearch) en vacuüm 60 ml spuiten. Bij terugkomst is de concentratie waterstofsulfide in het bodemvocht gemeten en de rest van het watermonster is bewaard bij 4°C voor verdere analyse. De cilinders zijn direct in de klimaatcel geplaatst, in het donker en bij een temperatuur van 15°C.



Figuur 2.2: Het bemonsteren van onderwaterbodem met behulp van de zuigerboor, ten behoeve van de naleveringsexperimenten en overige analyses, is zowel vanaf de kant als vanuit een boot uitgevoerd.

¹ Op een aantal locaties zijn meer bodemmonsters en of watermonsters verzameld dan in eerste instantie afgesproken. Deze extra monsters gaven extra informatie die wij zelf nodig achtten om een compleet beeld van de situatie te krijgen.

2.3 Analyses

Water

Aan de oppervlaktewater- en bodemvochtmonsters zijn de volgende analyses uitgevoerd:

- Sulfide (alleen op de bodemvochtmonsters)
- pH
- Alkaliniteit (zuurbufferend vermogen)
- Totaal opgelost anorganisch koolstof
- Concentraties van geselecteerde ionen en elementen in oplossing (*N.B. totaal P is totaal opgelost P, dus na filtratie)

* Let op: dit is dus anders dan bij de waterschappen, waar oppervlaktewatermonsters ongefiltreerd na destructie gemeten worden (dus inclusief plankton en seston). De oppervlaktewatermonsters in dit onderzoek geven slechts een indicatie van de oppervlaktewaterkwaliteit op dat moment, de meetreeksen van waterschappen geven veel meer informatie.

Van het verzamelde bodemvocht werd voor iedere locatie 9,5 ml bodemvocht gefixeerd met Sulfide Anti Oxidant Buffer (SAOB) om oxidatie van sulfide te voorkomen. De sulfideconcentratie werd dezelfde dag nog gemeten met een Orion sulfide elektrode en een Consort ionmeter (type P914). De alkaliniteit werd bepaald middels een titratie met verdund zoutzuur 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. De oppervlaktewatermonsters zijn vooraf gefiltreerd over een Whatman GF/C filter.

Bodem

Vochtpercentage, 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 gloeiverlies, loss on ignition) 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 destrueren 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). Bij de bodemdestructie werd 0,2 gram gedroogde en gemalen bodem afgewogen in een teflon cup. Vervolgens werd het samen met 4 ml salpeterzuur en 1 ml waterstofperoxide in gesloten teflon cups gedestruëerd in een magnetron. Hierbij werd stapsgewijs energie toegediend waarbij alle verweerbare bodemdeeltjes oplossen. Vervolgens worden de monsters verdund tot 100 ml. 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 supernatant onder vacuüm werd verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars. Het extract is bij 4°C bewaard tot verdere analyse.

Zoutextractie:

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 bodemadsorbtiecomplex 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 supernatant werd onder vacuüm verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars en bewaard bij 4°C.

P-fractionering:

De sequentiële P-fractionering (uitgevoerd volgens Golterman, 1996) is uitgevoerd om te bepalen aan welke bodemfractie het fosfor gebonden is. Hierbij kan de hoeveelheid Fe/Al-gebonden, Ca-gebonden, organisch gebonden en labiel gebonden fosfor bepaald worden. De P-binding is (afhankelijk van de grondwaterkwaliteit) van invloed op de mate waarin fosfor vrij kan komen door verschillende processen. 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 het volgende extractant. Achtereenvolgens zijn gebruikt: NH_4Cl (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.

Oxalaatextractie:

IJzer en aluminiumgebonden fosfor 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 supernatant onder vacuüm werd verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars. Het extract werd bij 4°C bewaard tot verdere analyse.

Lactaat-acetaatextractie:

Met behulp van een ammoniumlactaat oplossing wordt fosfor onder zure omstandigheden uitgeschud waarna de concentratie bepaald kan worden. Er wordt aan 35 gram vers bodemmateriaal (afhankelijk van de bulk density) 100 ml extractievloeistof toegevoegd. De extractievloeistof bestaat uit een mengsel van melkzuur, azijnzuur en ammoniak met een pH van 3,75. Gedurende 4 uur werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (100 r.p.m.) waarna het supernatant onder vacuüm werd verzameld met behulp van teflon poriewater-bemonsteraars. Het extract werd bij 4°C bewaard tot verdere analyse.

C/N analyse:

Het totale gehalte aan stikstof en koolstof in een bodem werd bepaald door de bodem te verhitten tot 1800°C in een Carlo Erba CNS analyser. Alle stikstof en koolstof verbrandt hierbij en wordt in gasvorm gescheiden op een Poropak QS-kolom waarna het door een warmtegeleidbaarheidsdetector (TCD) gedetecteerd werd.

Organische fractionering:

Er is een sequentiële destructie uitgevoerd (naar Goering & van Soest (1972) om de verschillende fracties aan organisch stof te schatten. Parallel daaraan is ook Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) gebruikt om te testen of hiermee ook een schatting van deze fracties uitgevoerd kan worden.

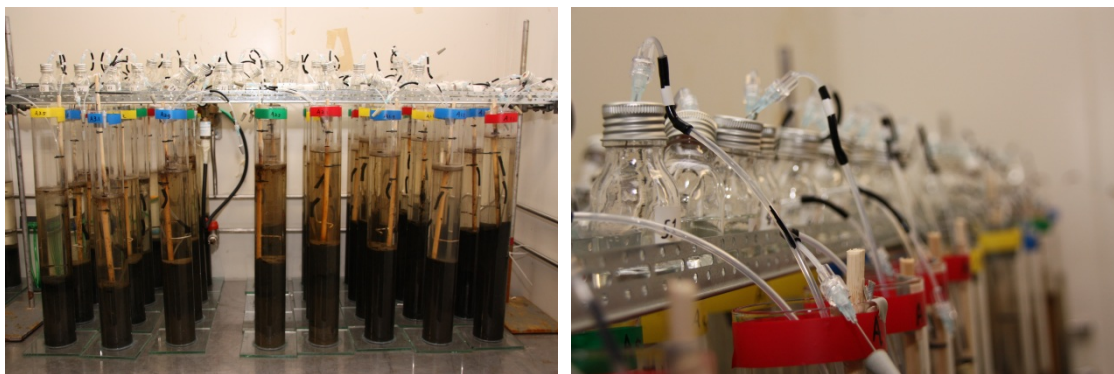
Kalkgehalte:

Om het kalkgehalte (CaCO_3) in de bodem te bepalen is 5 gram droog bodemmateriaal afgewogen, waar 10 ml 1 M HCl-oplossing aan is toegevoegd. Na menging en het drogen van het materiaal gedurende 24 uur bij 70°C is de bodem nogmaals gewogen. Aan de hand van de gewichtsafname kan het percentage kalk in de bodem bepaald worden.

Verdere analyse

De concentraties calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), ijzer (Fe), mangaan (Mn), fosfor (P), zwavel (S) als maat voor sulfaat, silicium (Si) en zink (Zn) werden bepaald met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP Thermo Electron corporation IRIS Intrepid II XDL). De concentraties nitraat (NO_3^-) en ammonium (NH_4^+) werden colorimetrisch bepaald met een Braun en Luebbe auto-analyzer II met behulp van resp. salicylaatreagens en hydrazinesulfaat. Chloride (Cl^-) en fosfaat (PO_4^{3-}) 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 Photometer IV Control.

2.4 Naleveringsexperimenten



Figuur 2.3: Weergave van de cilinderexperimenten in de klimaatcel.

Per locatie zijn er twaalf glazen cilinders (50 centimeter hoog, diameter 6 centimeter) gevuld met ongestoord bodemmateriaal en gebiedseigen water. De intacte profielen zijn gestoken met behulp van een 6cm zuigerboor vanaf een boot of, bij smalle watergangen, met een waadbroek in het water. De 12 kolommen zijn gestoken binnen een oppervlakte van 4 vierkante meter. De locaties van de monsternamen voor de cilinders zijn dezelfde als die van de 3 bodemmonsters voor de bodemkarakterisering.

Korte tijd na het veldwerk is het gebiedseigen water boven de bodemkernen vervangen door een behandeling met water van bekende samenstelling. In totaal zijn er twee verschillende behandelingen toegepast (donker en 15°C), met drie replica's per behandeling (figuur 2.3). Er is gekozen voor behandelingen met een hoge en lage sulfaatconcentratie, gecombineerd met een hoge alkaliniteit (zie tabel 2.1). In het eerste jaar (2010) was er daarnaast nog een extra behandeling met een lage alkaliniteit. Er werd echter geen verschil gevonden tussen de hoge en de lage alkaliniteitsbehandeling, vandaar dat de behandeling met een lage alkaliniteit in 2011 niet meer is opgenomen. De cilinders zijn aangevuld met 0,57 liter van de betreffende behandeling (20 centimeter in de cilinder), met minimale verstoring van de sliblaag. Om het effect van windwerking en het 'omwoelen' door vissen na te bootsen zijn er, behalve zes stagnante cilinders per locatie, gelijktijdig ook metingen uitgevoerd aan zes gewervelde cilinders per locatie.

Tabel 2.1: De samenstelling van de vier behandelingen in het experiment.

	Na ₂ SO ₄	CaCl ₂	NaHCO ₃
S hoog / Alk hoog	2000	2000	4000
S laag / Alk hoog		2000	4000

Na het aanvullen zijn er zorgvuldig Rhizon bodemvochtmonsters (rhizons) aangebracht ten behoeve van het bemonsteren van het bodemvocht in de bovenste laag van de bodem en van de waterlaag. Eén rhizon bevindt zich 1 centimeter in de bodem en één in de waterlaag, vijf centimeter boven de bodem. Een dag later is het experiment gestart en is week 0 bemonsterd. De waterlaag is in totaal vijf keer bemonsterd, het bodemvocht drie keer. Voor het bodemvocht werd de alkaliniteit tweemaal en sulfide eenmaal bepaald (zie tabel 2.2). Na de bemonstering werd het volume in de cilinders op peil gebracht door het water aan te vullen met dezelfde hoeveelheid van de betreffende behandeling. Om het effect van verdamping te compenseren is er tussentijds met demiwater aangevuld tot oorspronkelijk niveau.

Tabel 2.2: Overzicht van het aantal metingen aan zowel oppervlaktewater als bodemvocht.

	week 0	week 1	week 2	week 4	week 8
Oppervlaktewater:					
<i>pH, CO₂ en HCO₃</i>	x	x	x	x	x
<i>ICP en Auto Analyzer</i>	x	x	x	x	x
Bodemvocht:					
<i>pH, CO₂ en HCO₃</i>	x			x	x
<i>ICP en Auto Analyzer</i>	x			x	x
<i>Alkaliniteit</i>	x				x
<i>Sulfide</i>					x

De naleveringssnelheden van P en N (ammonium plus nitraat) naar de waterlaag werden bepaald door regressie van het lineaire gedeelte van de concentratiestijgingen in de waterlaag. Ook bij hoge naleveringssnelheden bleek deze nalevering lineair te verlopen, waarmee correctie voor een verandering van de diffusieweerstand niet nodig bleek te zijn. Bij de berekeningen werd gecorrigeerd voor de bemonsterde volumina. Voor de correlatiegrafieken in de resultaten zijn alleen de behandelingen met een lage sulfaatconcentratie gebruikt. Zowel aan het einde van de stagnante als de gewervelde periode is de productie van CO₂ en CH₄ in de cilinders bepaald om de potentiële afbraak en dus slibproductie van de bodem in te kunnen schatten. Gedurende 24 uur zijn in de cilinders 60 ml cuvetten op de waterlaag geplaatst, waaruit vervolgens na 1, 2, 5 en 24 uur zeer voorzichtig een luchtmonster is genomen. De concentraties van CO₂ en CH₄ werden direct na bemonstering bepaald met behulp van infrarood gas analyse (ABB Advance Optima IRGA).

2.5 Temperatuurafhankelijkheid

De temperatuurafhankelijkheid van de nalevering van nutriënten is onderzocht voor sedimenten met verschillende P-naleveringssnelheden. Hiervoor werden drie locaties gebruikt waarvan op grond van eerder opgedane kennis de P-nalevering bekend was (Poelen et al., 2011a). Het betreft de locaties: Vlaardingervaart, Ackerdijkse plassen en het Naardermeer. Voor elk van deze locaties werden vijftien glazen cilinders (50 centimeter hoog, diameter 6 centimeter) gevuld met ongestoord bodemmateriaal en gebiedseigen water. De intacte profielen werden gestoken met behulp van een 6cm zuigerboor binnen een oppervlakte van 4 vierkante meter.

Direct na het veldwerk is het gebiedseigen water boven de bodemkernen vervangen door een behandeling met water met dezelfde samenstelling als de S hoog / Alk hoog behandeling zoals in de vorige paragraaf beschreven. De cilinders werden op vijf verschillende temperaturen in donkere klimaatcellen geplaatst waarbij elke behandeling drie keer herhaald is. De temperaturen van de klimaatcellen waren: 4, 10, 15, 20 en 25 °C. Monsternamen en opzet zijn verder volgens de normale procedure binnen Baggernut. Een dag na inzetten is het experiment gestart (T=0). De waterlaag is in totaal vijf keer bemonsterd, het bodemvocht drie keer. Telkens na bemonstering werd het volume in de cilinders op peil gebracht door het water aan te vullen met dezelfde hoeveelheid van de behandeling. Om het effect van verdamping te compenseren is er tussentijds met demiwater aangevuld tot oorspronkelijk niveau.

Temperaturen werden automatisch ingesteld middels de thermostaten van de betreffende klimaatcellen. De temperatuur werd elk uur gedurende het experiment en in elke klimaatcel tussen de cilinders ter hoogte van de sediment/waterlaag gemeten met behulp van temperatuur loggers (*i-buttons*, *1-wire*). De temperatuur metingen vertoonden geen ($\pm 0,2$ °C) afwijkingen met de ingestelde temperatuur gedurende het experiment. De naleveringssnelheden van P en N (ammonium plus nitraat) naar de waterlaag werden bepaald door regressie van het lineaire gedeelte van de concentratiestijgingen in de waterlaag. Bij de berekeningen werd gecorrigeerd voor de bemonsterde volumina. Voor een correcte nalevering is gebruik gemaakt van het lineaire deel van de concentratiestijgingen in de waterlaag omdat ervan uit wordt gegaan dat een afvlakking in de lineaire stijging van P concentraties wordt veroorzaakt door een uitputting van de bodem. Dit betekent dat de tijdstippen waarna de lineaire stijging in P en PO_4^{3-} concentraties afvlakken niet zijn meegenomen in de schatting van de nalevering. Zuurstofconcentraties zijn in de cilinders op drie diepten in de waterlaag bepaald.

3. Resultaten

3.1 Algemeen

In 2010 en 2011 zijn er in totaal 29 locaties in het kader van het project Baggernut uitgebreid onderzocht. De metingen van het eerste jaar gaven veelbelovende resultaten, die met de aanvulling van nog 15 locaties uit 2011 in een breder perspectief geplaatst kunnen worden. Omdat we ons hier richten op algemene correlaties en niet op inzichten voor de individuele jaren, zijn de data van alle 29 locaties (van 2010 en 2011) in de figuren opgenomen. Alleen de behandelingen met een lage zwavelconcentratie, in een stagnante situatie zijn weergegeven. De uitgebreide set aan metingen van zowel bodemvocht als bodemparameters geeft de mogelijkheid een link te leggen tussen gemeten P- en N-nalevering in experimenten en gemeten parameters in het veld. Hiermee kan op een eenvoudige manier vanuit *concentratie*metingen in het veld een inschatting van de interne *flux* vanuit de bodem naar de waterlaag gemaakt worden. Indien er problemen zijn met de eenheden in dit rapport (het uitdrukken in mol en per liter verse bodem), is het met behulp van de conversietabellen in bijlage I en II mogelijk om te rekenen naar mg/L en, indien gewenst, naar kilogram droog sediment.

Nalevering fosfor (P)

In figuur 3.1 is de P-nalevering uitgezet tegen de diverse gemeten parameters van het bodemvocht. Hieruit blijkt, in overeenstemming met het eerste jaar (Poelen et al., 2011ab), dat de P-nalevering het beste correleert met opgelost P in het bodemvocht. Er is in deze grafiek te zien dat er geen enkele reden is om aan te nemen dat er een consequent verschil is ontstaan tussen de bemonsteringen in 2010 en 2011 met betrekking tot de correlatie, wat erg gunstig is.

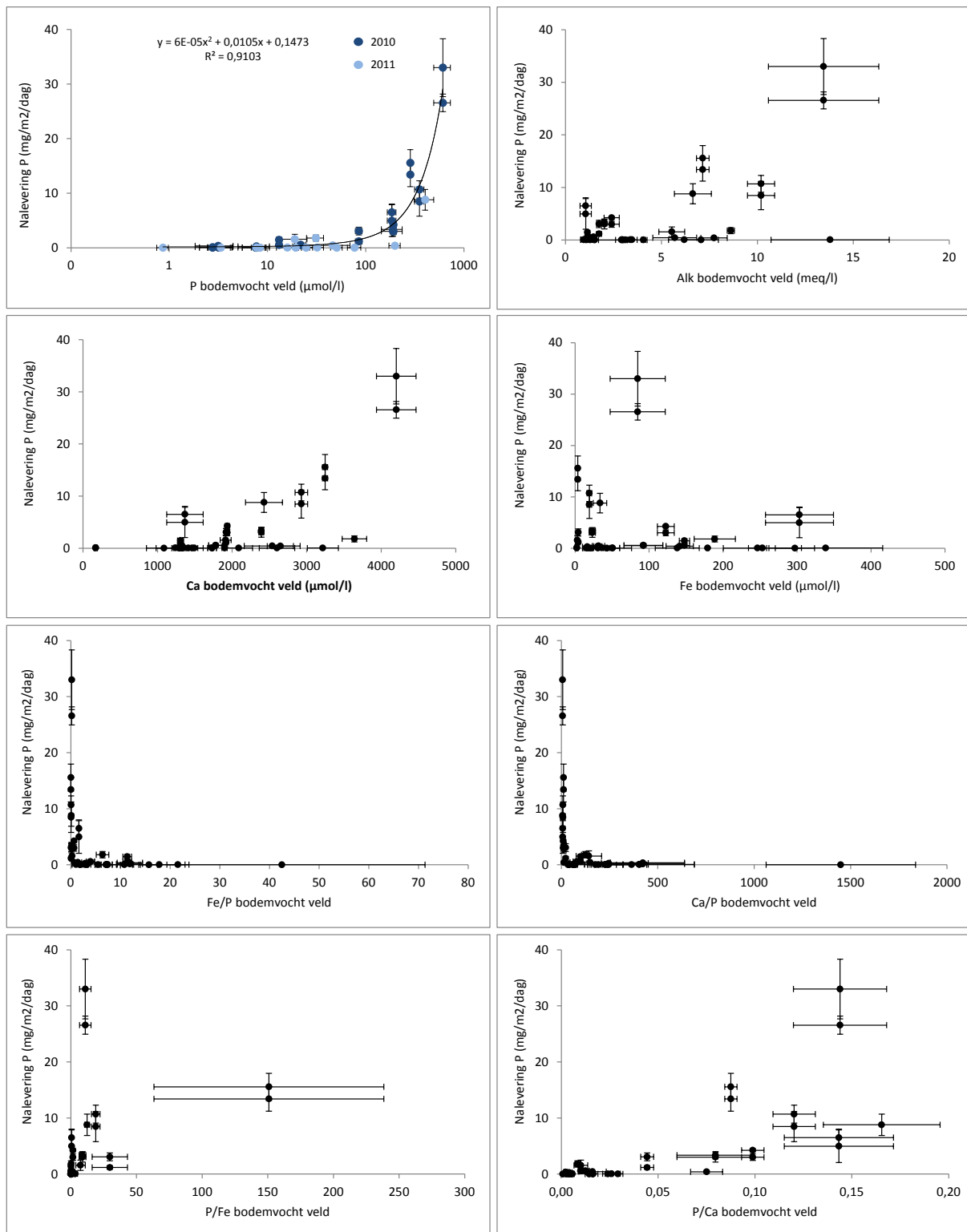
Uit de grafiek (linksboven) blijkt dat bodemvocht P-concentraties > 100 $\mu\text{mol/l}$ een duidelijke toename in nalevering opleveren. Een ander duidelijk resultaat is dat indien de P-concentratie in het bodemvocht lager is dan 10 $\mu\text{mol/l}$, de nalevering laag blijft, met een maximum van 0,4 $\text{mg/m}^2/\text{dag}$. Het bereik tussen 10 en 100 $\mu\text{mol/l}$ P is echter onzeker: de nalevering varieert hier van 0,01 en 3,1 $\text{mg/m}^2/\text{dag}$ en is moeilijk voorspelbaar aan de hand van de bodemvocht P-concentratie. Een hogere Fe/P en Fe/S ratio garanderen in dit onderzoek niet dat de nalevering per definitie laag is. Dit betekent dat er drie categorieën zijn:

Totaal opgelost P in bodemvocht	P flux bij 15°C *
< 10 $\mu\text{mol/l}$ (<0.3 mg P/l)	lage nalevering (0-0.4 $\text{mg/m}^2/\text{dag}$)
10 - 100 $\mu\text{mol/l}$ (0.3-3 mg P/l)	0-3 $\text{mg/m}^2/\text{dag}$; voor exacte waarden zijn fluxmetingen nodig
> 100 $\mu\text{mol/l}$ (>3 mg P/l)	te berekenen met formule

*Zie pag. 42 voor omrekening naar fluxen bij andere temperaturen (seizoensafhankelijkheid)

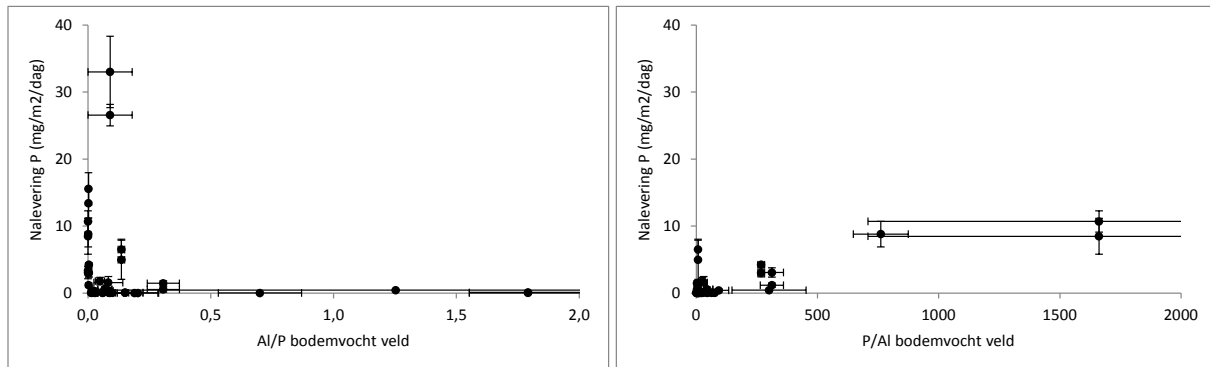
Ortho-fosfaat correleerde minder goed dan totaal opgelost fosfor en is daarom niet weergegeven in figuur 3.1. Aangezien bij ijzerrijke bodemvochtmonsters opgepast moet worden voor artefacten (binding aan Fe in het monster door oxidatie van het anaerobe monster tijdens meting), is het ook beter om totaal opgelost P te meten (gefilterd door rhizon bij bemonstering).

Calcium in het bodemvocht lijkt nog in redelijke mate voorspellend te zijn; de alkaliniteit en de concentratie ijzer in het bodemvocht geven echter een minder goed beeld. De correlaties Fe/P, Ca/P en Al/P geven alle ongeveer eenzelfde (logaritmische) verdeling. De voorspellende waarde van deze functies is echter door de ligging niet goed te zien. De ratio P/Ca is het meest duidelijk, al is de variatie vrij hoog bij hoge ratio's en daarmee de voorspellende waarde voor de nalevering vrij



laag. Het voornaamste dat deze grafiek weergeeft is dat de nalevering echt laag blijft als er 20 keer meer calcium dan fosfor in het bodemvocht aanwezig is (P/Ca = 0,05).

Figuur 3.1: De correlatie tussen de nalevering van fosfor uit de cilinderexperimenten en enkele parameters uit het bodemvocht van de onderwaterbodems van 29 Baggernut-locaties.

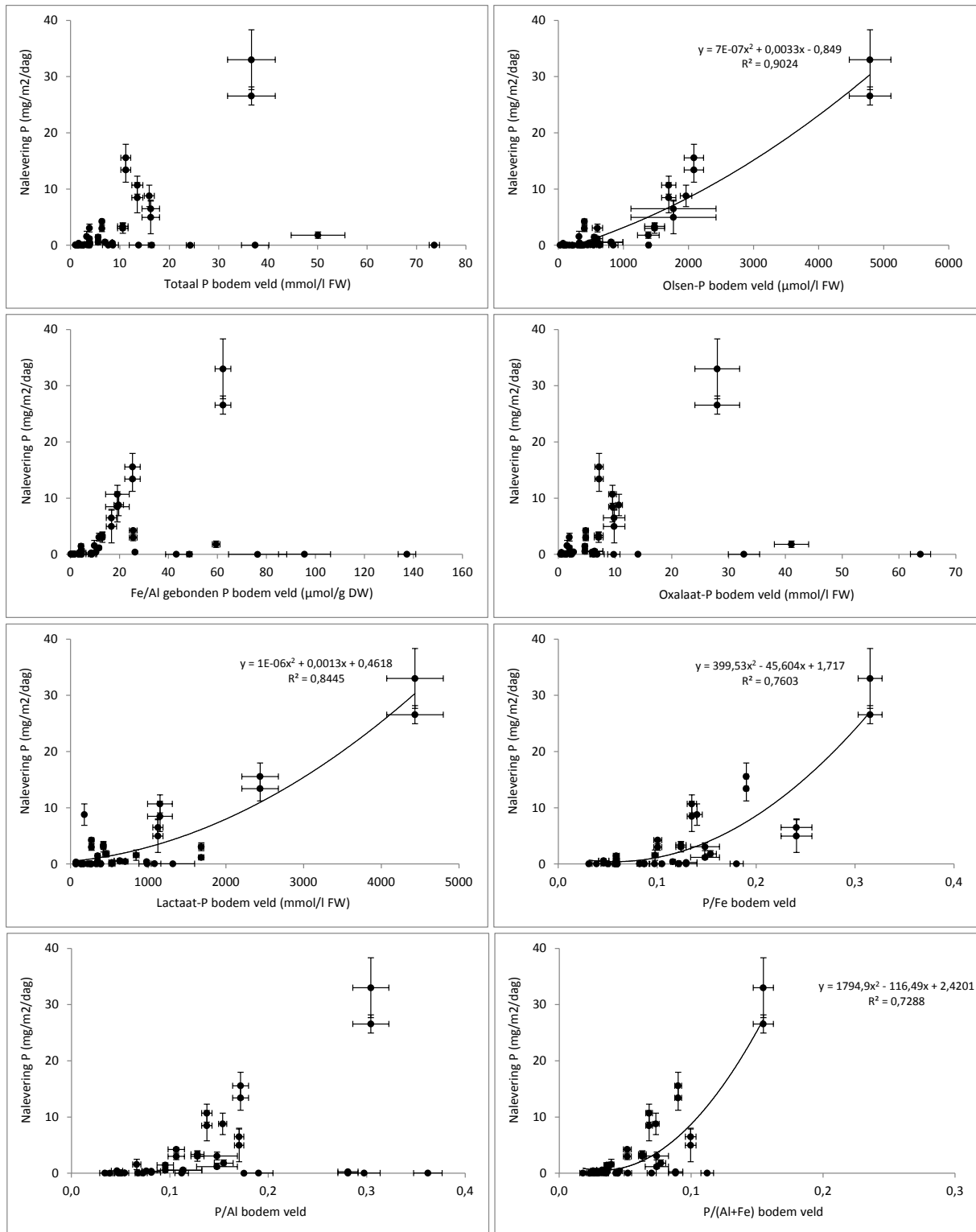


Vervolg Figuur 3.1

De fosfaatbeschikbaarheid van de onderwaterbodems is met behulp van verschillende extracties en een destructie bepaald. De locatie Haarvaten Westboezem heeft de hoogste P-nalevering en heeft daarmee een grote invloed op de correlaties, waarmee de kans op een fout toeneemt. Van de verschillende extracten laat Olsen-P de beste correlatie zien, daarnaast correleren Lactaat-P en totaal-P/totaal-Fe (totaalgehalten bepaald na destructie van bodemmateriaal) ook redelijk goed (figuur 3.2). Bij het alleen bemonsteren van bodem (en geen bodemvocht), kan Olsen-P, en in mindere mate totaal P/Fe, gebruikt worden voor een grove inschatting van de nalevering. Totaal opgelost P in het bodemvocht verdient echter de voorkeur. Totaal-P/(totaal-Al+totaal-Fe) correleert ook vrij goed, maar het aan aluminium gebonden P is zeer immobiel vergeleken met ijzergebonden P.

Voor het inschatten van de nalevering na baggeren is de meting van Olsen-P in de onderliggende bodemlaag de beste optie. Metingen aan het porievocht geven geen informatie, aangezien de laag niet aan de oppervlakte ligt en de samenstelling van het porievocht zal veranderen na baggeren.

De overige grafieken vertonen een tweedeling: bij een deel van de locaties is bij een toenemend P-gehalte in de bodem ook de nalevering van P hoger, bij een ander deel blijft de nalevering zeer laag, ondanks hoge P-gehalten. De locaties met een hele lage P-nalevering en toch een hoge totaal-P, ijzer- en aluminium gebonden P en oxalaat-P (in de bodem) bevatten allemaal hoge concentratie totaal aluminium, totaal calcium en totaal ijzer in de bodem. Het betreft hier de locaties Honswijk, De Vecht en de Nieuwe Wetering. De hoge gehalten aan Al, Ca en Fe zorgen ervoor dat fosfor beter gebonden blijft in de bodem en nauwelijks naar het bodemvocht en waterlaag kan diffunderen. Ondanks de redelijk goede correlaties tussen P in bodemextracten/destructie en de P nalevering, blijft P-bodemvocht de belangrijkste (best voorspellende) factor om de P-nalevering in te schatten.

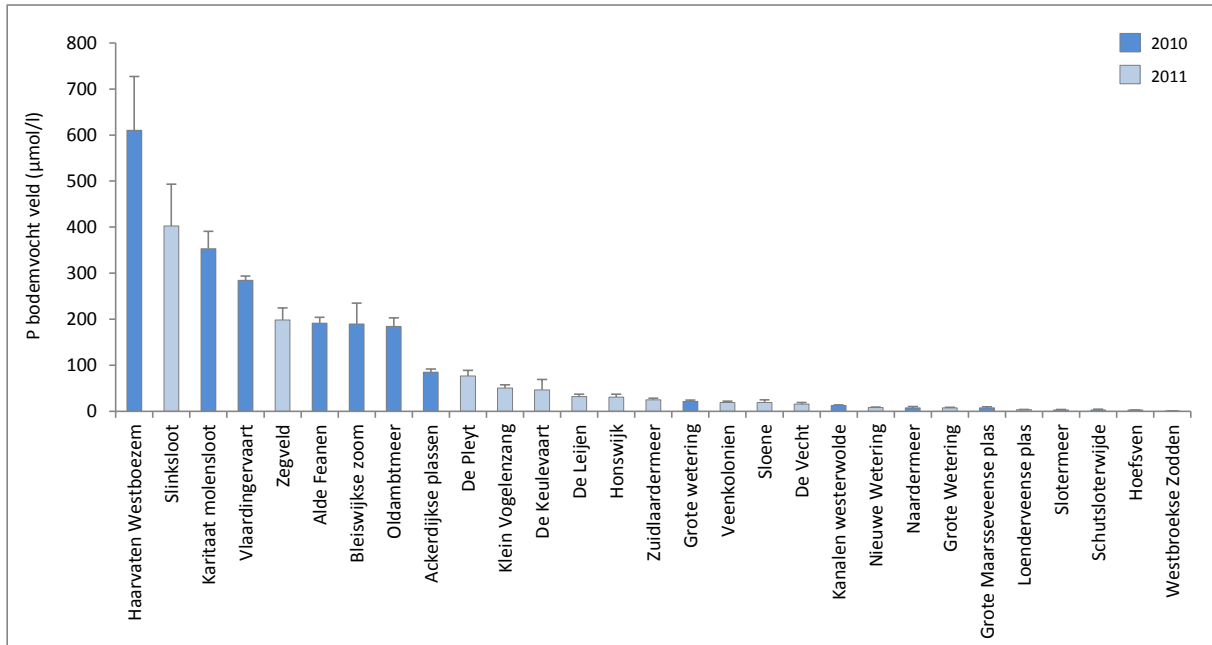


Figuur 3.2: Correlatie tussen de nalevering van fosfor bepaald door middel van cilinder-experimenten en fosfaatbeschikbaarheid in de onderwaterbodem, bepaald via destructie en diverse extractiemethoden.

Bodemkarakteristieken

In figuur 3.3 is voor iedere locatie deze concentratie totaal opgelost fosfor in het bodemvocht weergegeven, in volgorde van hoog naar laag. Er is veel verschil tussen de verschillende locaties,

het gehalte P varieert van 610 $\mu\text{mol/l}$ in het slib van Haarvaten Westboezem tot 0,86 $\mu\text{mol/l}$ in de Westbroekse Zodden. De figuur is gebaseerd op het berekende gemiddelde van in drievoud verzamelde bodemonsters (bovenste 10 centimeter) op de locatie waar de bodemkernen verzameld zijn. In het hogere bereik, hoger dan 100 $\mu\text{mol/l}$ P, zijn er slechts twee locaties van 2011 en 6 locaties van 2010 vertegenwoordigd. Bij een dermate hoog gehalte aan P in het bodemvocht is er, zoals vermeld, een grote kans op een hoge P-nalevering.



Figuur 3.3: De concentratie fosfor in het bodemvocht in $\mu\text{mol/l}$ in de 29 onderzoekslocaties, in volgorde van hoog naar laag.

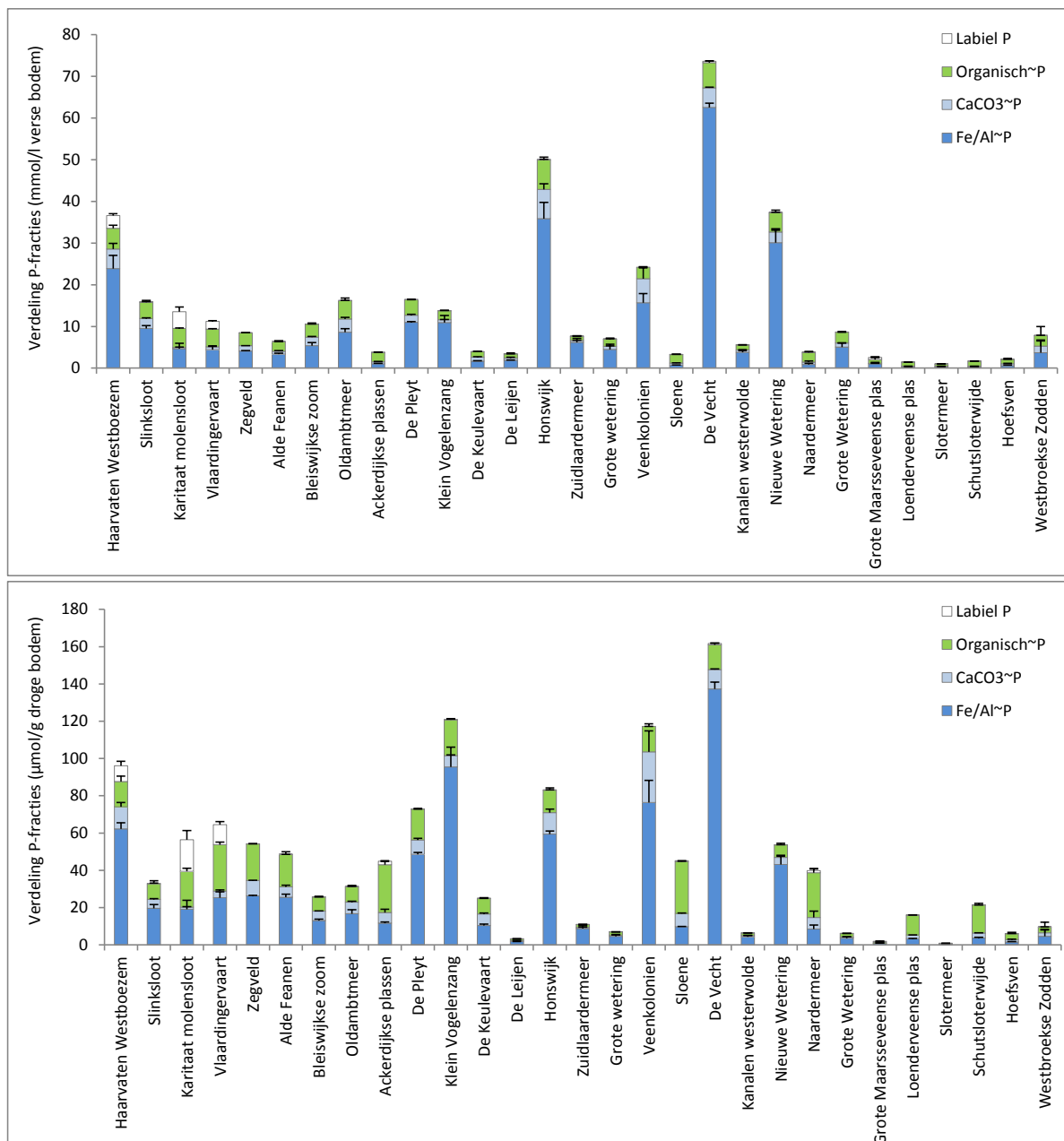
Naast de verhouding tussen fosfor en ijzer in het bodemvocht is ook de manier waarop het fosfor in de bodem gebonden zit van belang voor de nalevering. Fosfor in de bodem is te verdelen over 4 fracties: organisch gebonden, calcium(carbonaat)gebonden, ijzer/aluminium-gebonden en een labiele fractie. In figuur 3.4 is weergegeven op welke manier de verschillende fracties per gebied zijn verdeeld. In de figuur is de concentratie op twee manieren uitgedrukt: boven in mmol per liter verse bodem en daaronder in μmol per gram droge bodem. Bij vergelijking tussen verschillende bodemtypen is het uitdrukken per gram droge bodem problematisch: een liter veenbodem bevat immers veel minder gram dan een liter kleibodem. Voornamelijk voor locaties met een organische waterbodem (zoals de Akerdijkse plassen, het Naardermeer, Klein Vogelenzang en Sloene) geeft dit, zoals verwacht, een aanzienlijk verschil in de grafische weergave. Voor de beschikbaarheid van P voor plantenwortels en voor de nalevering per oppervlakte-eenheid ligt een vergelijking per volume dan ook meer voor de hand.

Wat opvalt is dat de locaties met hoge P concentraties in het bodemvocht (de linkerkant van figuur 3.4,dezelfde volgorde als figuur 3.3), die dus in potentie het meeste fosfor naleveren, ook de grootste labiele fractie hebben. De labiele fractie is vrij aanwezig en direct uitwisselbaar met de waterlaag. Het is ook deze fractie die dus een grote rol speelt in de nalevering. Opvallend is echter wel dat in de bodem van de Slinksloot bijna geen labiel P is teruggemeten; de nalevering wordt hier dus niet door beïnvloed. Ondanks een grote hoeveelheid totaal P in de locaties Honswijk, De Vecht en de Nieuwe Wetering bevatten deze locaties weinig labiel P. Het overgrote deel van het aanwezige P is gebonden aan ijzer (o.a. strengiet) en aluminium (o.a. varasciet). Dit verklaart ook mede de geringe P-nalevering op deze locaties.

Bij vrijwel alle bodem is de hoeveelheid aan ijzer en aluminium gebonden P de grootste fractie. Verder is op bijna alle locaties de fractie gebonden aan calciumcarbonaten relatief klein, deze

fractie vormt zich onder andere door precipitatie met calciumcarbonaat (co-precipitatie) en calcium (o.a. apatiet) vanuit de waterlaag (zie ook figuur 1.2 in de inleiding). De fractie fosfor die aan ijzer gebonden is, en over het algemeen een groot aandeel betreft in de meeste bodems, is het als enige gevoelig voor verandering van de redoxpotentiaal, aluminium kan niet gereduceerd worden. Onder anaërobie, gereduceerde omstandigheden heeft ijzer minder bindingskracht, waardoor fosfor gemakkelijker gemobiliseerd kan worden. Dit treedt ook op indien er sprake is van hoge sulfaatreductiesnelheden in het bodemvocht, waarbij er FeS_x verbindingen ontstaan en extra fosfor gemobiliseerd kan worden. Hoe groter deze fractie, des te groter de kans dat bij de aanvoer van sulfaat, fosfor gemobiliseerd wordt.

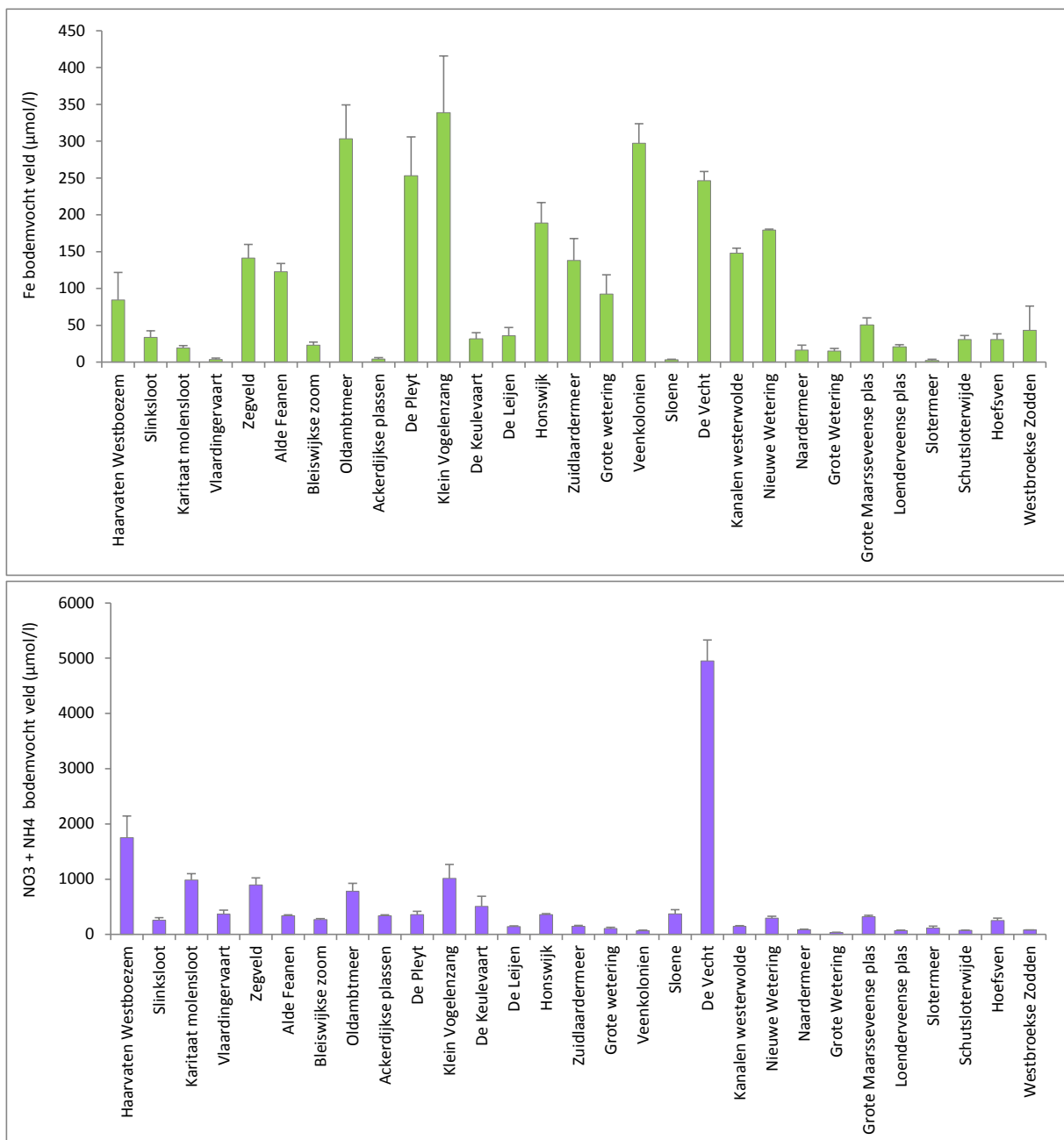
De fractie die gebonden zit aan organisch materiaal is de fractie die pas vrijkomt bij afbraak van organisch materiaal. Deze afbraak kan ook gestimuleerd door een hoge sulfaatconcentratie. De organisch gebonden fractie is logischerwijs het grootst in venige gebieden, maar hoeft geen probleem op te leveren indien de afbraaksnelheden laag liggen.



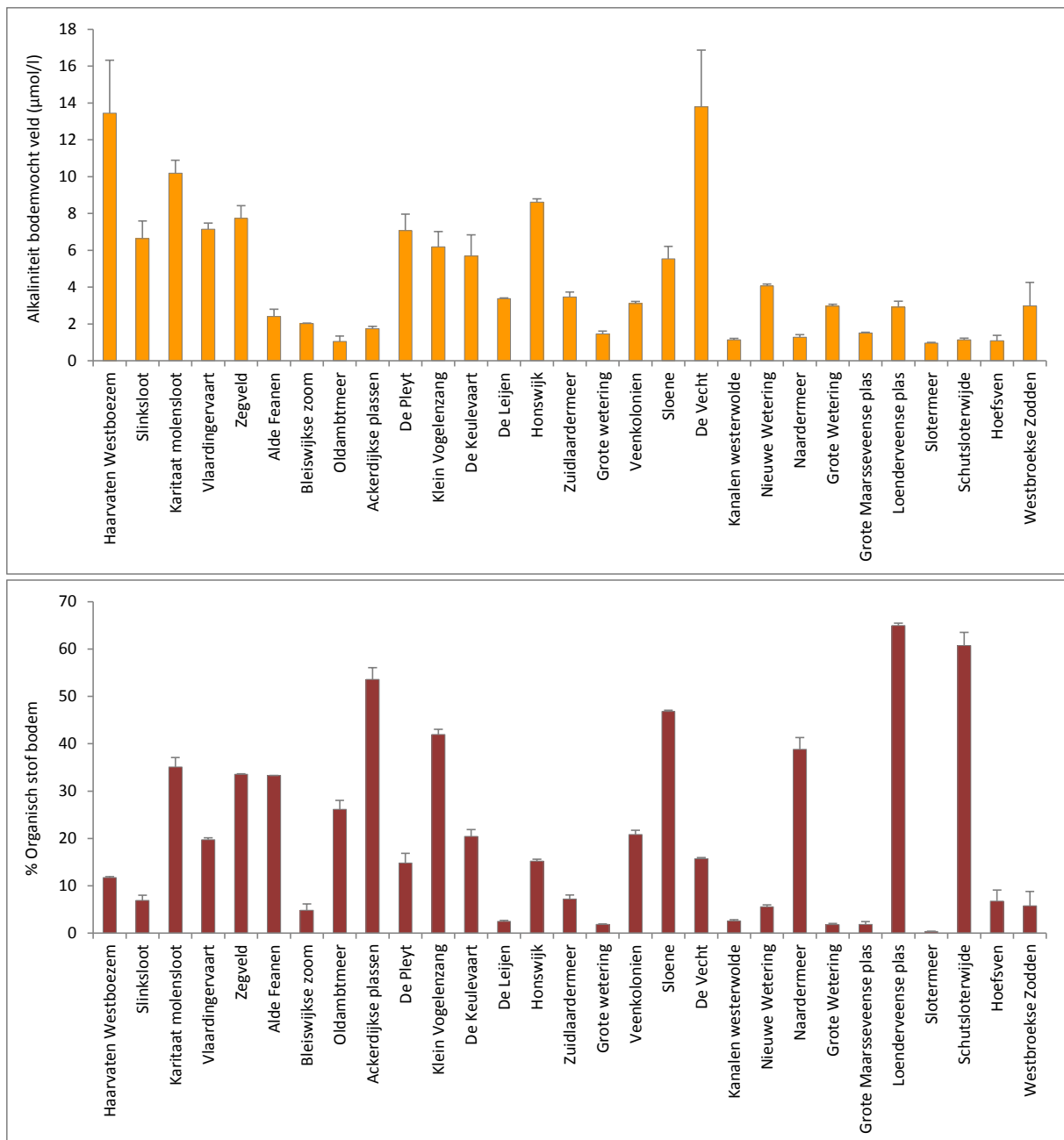
Figuur 3.4: De verdeling van de verschillende fosforfracties per locatie in mmol/l verse bodem (boven) en µmol/g droge bodem (beneden).

In figuur 3.5 en 3.6 zijn achtereenvolgens de concentraties aan ijzer, nitraat + ammonium, en alkaliniteit van het bodemvocht weergegeven, en het percentage organisch stof van de bodem, in dezelfde volgorde als voorgaande figuren. Direct zichtbaar is dat de concentratie opgelost ijzer zeer variabel is met lage concentraties voor enkele locaties die hoge P concentraties hebben. De Fe/P ratio in het bodemvocht is dus zeer ongunstig voor deze locaties.

Het poriewater van de Vecht bevat gemiddeld bijna 5000 $\mu\text{mol/l}$ stikstof (nitraat + ammonium), hetgeen extreem hoog is. De concentratie in het poriewater van Haarvaten Westboezem ($\pm 1750 \mu\text{mol/l}$) is ook zeer hoog. De concentratie totaal anorganisch stikstof (nitraat + ammonium) in het bodemvocht volgt enigszins het patroon van de concentratie P, op de extreme uitschieter, De Vecht, na.



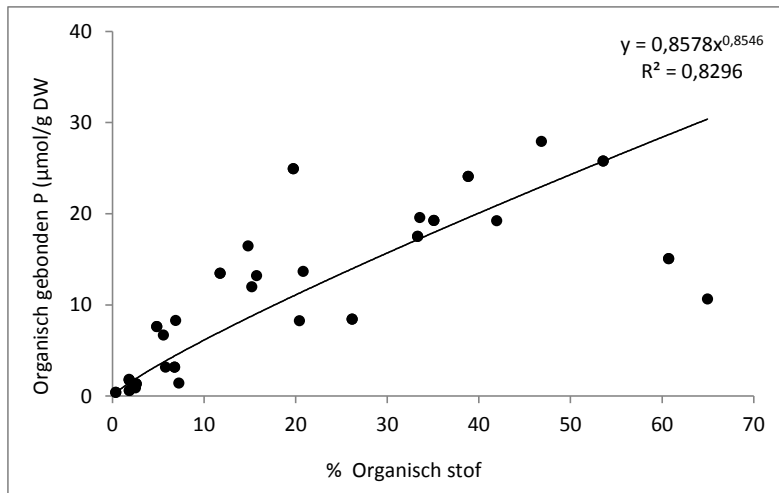
Figuur 3.5: De concentratie ijzer (boven) en nitraat + ammonium (beneden) in $\mu\text{mol/l}$ in het bodemvocht van alle onderzoekslocaties van 2010 en 2011.



Figuur 3.6: Het percentage organisch materiaal in de bodem (boven) en de alkaliniteit van het bodemvocht in meq/l (beneden) van alle onderzoekslocaties van 2010 en 2011.

De alkaliniteit van de locaties met hoge P concentraties in het bodemvocht (de linkerkant van de figuur 3.6) is gemiddeld (De Vecht uitgezonderd) hoger dan die van de locaties met lage P bodemvocht concentraties (rechterzijde van de grafiek). Overigens is het opvallend dat er maar weinig locaties zijn met een lage alkaliniteit. De meest locaties zijn sterk tot zeer gebufferd door afbraakprocessen waarbij bicarbonaat en kooldioxide gevormd worden.

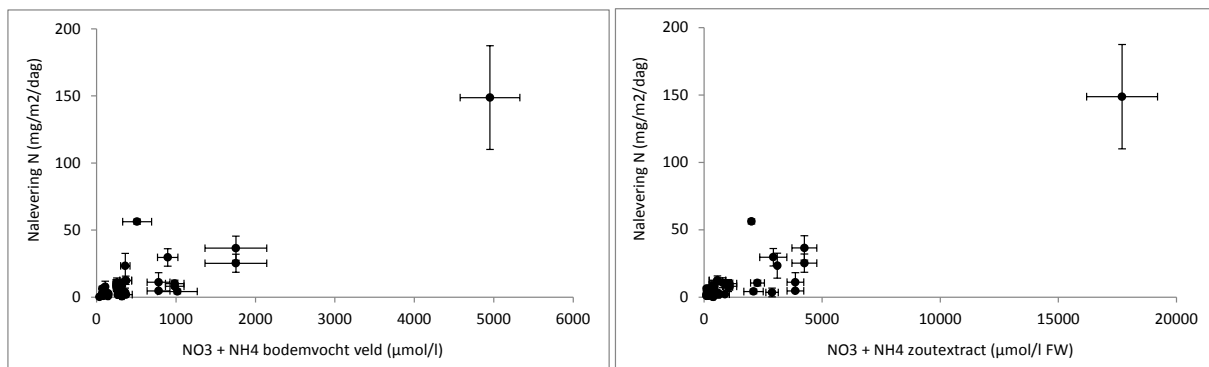
De concentratie P volgt niet hetzelfde patroon als het percentage organisch stof, wat betekent dat het percentage organische stof dus niet de belangrijkste bepalende factor is voor de hoogte van de fosforconcentratie in het poriewater. Locaties met hoog organisch stofgehalte kunnen toch een lage nalevering hebben, zie bijvoorbeeld de Loenderveense plas en Schutsloterwijde. De concentratie organisch gebonden P is, zoals verwacht kan worden, wel gecorreleerd met het % organisch stof (figuur 3.7).



Figuur 3.7: De correlatie tussen organisch gebonden P (via een P-fractionering bepaald) en het % organisch stof in de bodem.

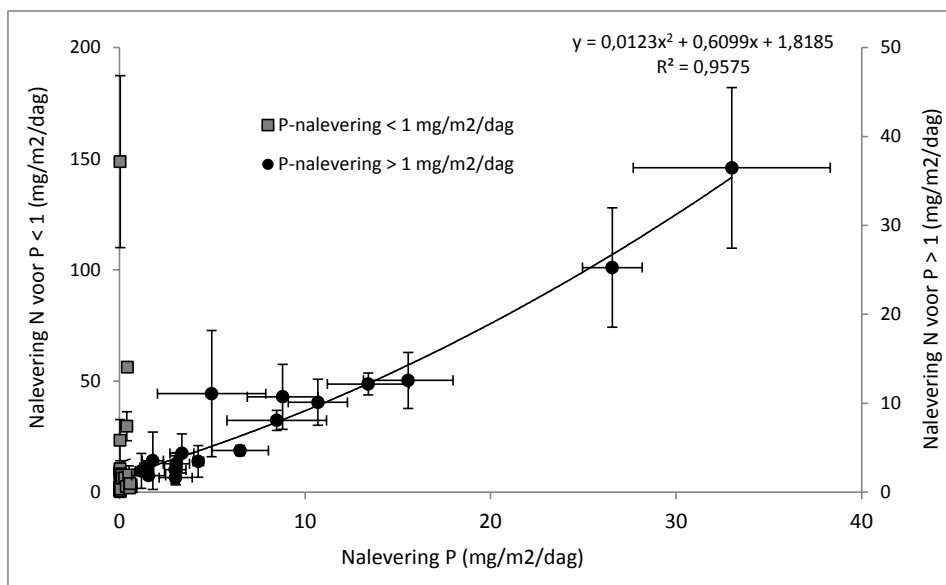
Nalevering stikstof (N)

Daar waar in 2010 de N-mobilisatie (nitraat + ammonium) nog relatief goed voorspelbaar bleek te zijn aan de hand van poriewaterconcentraties voor anorganisch N, is de correlatie met de additie van de locaties uit 2011 minder sterk geworden (zie figuur 3.8). De locatie de Vecht heeft uiteraard een zeer grote invloed op de grafiek, met extreme waarden van ca. 5000 µmol/l in het bodemvocht en ca. 17000 µmol/l verse bodem in het zoutextract. Echter, ook zonder deze uitschieter is er geen significante correlatie van de nalevering van N in de cilinderexperimenten met de concentratie anorganisch N in het bodemvocht. Hoewel de anaerobe bodems over het algemeen vrijwel geen nitraat bevatten, zal een deel van het ammonium uit de bodem in de aerobe waterlaag genitrificeerd worden, afhankelijk van de activiteit van de ammonium-oxiderende gemeenschap en de zuurstofconcentratie in de waterlaag. Zoals op pagina 37 beschreven, zijn de waterkolommen in dit experiment aëroob. Er is een aanzienlijk stikstofverlies vanuit de bodem naar de atmosfeer via denitrificatie (en via anaërobe ammonium oxidatie, anammox), dat in dit onderzoek niet gekwantificeerd is. Dit stikstof hoort dus niet op in de waterlaag. De netto stikstofnalevering naar de waterlaag is dus de resultante van de bruto stikstofnalevering minus het stikstofverlies naar de atmosfeer. Daarmee bepaalt de snelheid van denitrificatie (en anammox) dus ook in belangrijke mate de N-nalevering naar de waterlaag.



Figuur 3.8: De nalevering van stikstof uitgezet tegen stikstof in het bodemvocht (links) en stikstof in het zoutextract (rechts), waarbij nitraat en ammonium steeds bij elkaar zijn opgeteld.

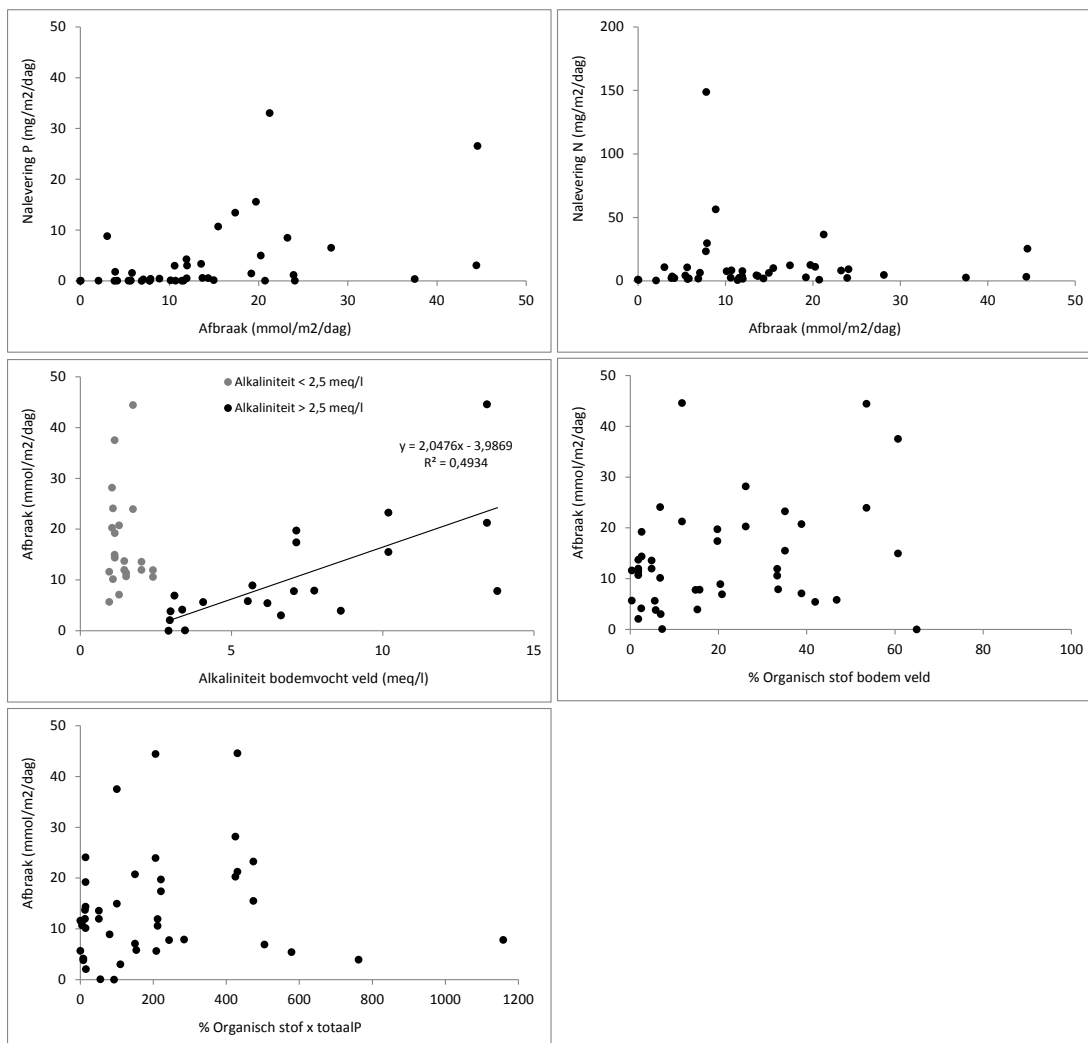
Het uitzetten van de N-mobilisatie naar de waterlaag tegen de P-mobilisatie levert voor een deel van de locaties een duidelijke correlatie op ($R^2 = 0,96$, figuur 3.9). De zwarte punten in de grafiek vertegenwoordigen de locaties met een P-nalevering hoger dan $1 \text{ mg/m}^2/\text{dag}$, waarbij de N-nalevering naar de waterlaag maximaal $36,5 \text{ mg/m}^2/\text{dag}$ is. De N-nalevering van bodems met een P-nalevering hoger dan $1 \text{ mg/m}^2/\text{dag}$ kan dus goed voorspeld worden door de P-nalevering. De grijze vierkantjes in de grafiek vertegenwoordigen de locaties met een P-nalevering lager dan $1 \text{ mg/m}^2/\text{dag}$, bij deze reeks is er geen correlatie tussen P- en N-nalevering. De N-nalevering loopt op tot bijna $150 \text{ mg/m}^2/\text{dag}$, terwijl de nalevering van fosfor nihil is. De aanwezigheid van zeer nitraatrijk grondwater (zoals in de Vecht, tevens de hoogste gemeten N-nalevering) veroorzaakt vermoedelijk remming op de P-nalevering, waardoor deze heel laag blijft (Lucassen, 2003). Dit wordt veroorzaakt door de remming van ijzerreductie door stikstofreducerende micro-organismen (o.a. denitrificeerders). Het is bovendien bekend dat stikstofverlies naar de atmosfeer verlaagd wordt onder minder eutrofe omstandigheden (lage P-beschikbaarheid; Downing & McCauley 1992), waarmee de relatieve nalevering naar de waterlaag verhoogd wordt.



Figuur 3.9: De correlatie tussen de nalevering van stikstof naar de waterlaag en de nalevering van fosfor, gegeven in $\text{mg per m}^2 \text{ per dag}$. Er is onderscheid gemaakt tussen P-nalevering lager dan $1 \text{ mg/m}^2/\text{dag}$ (■) en hoger dan $1 \text{ mg/m}^2/\text{dag}$ (●).

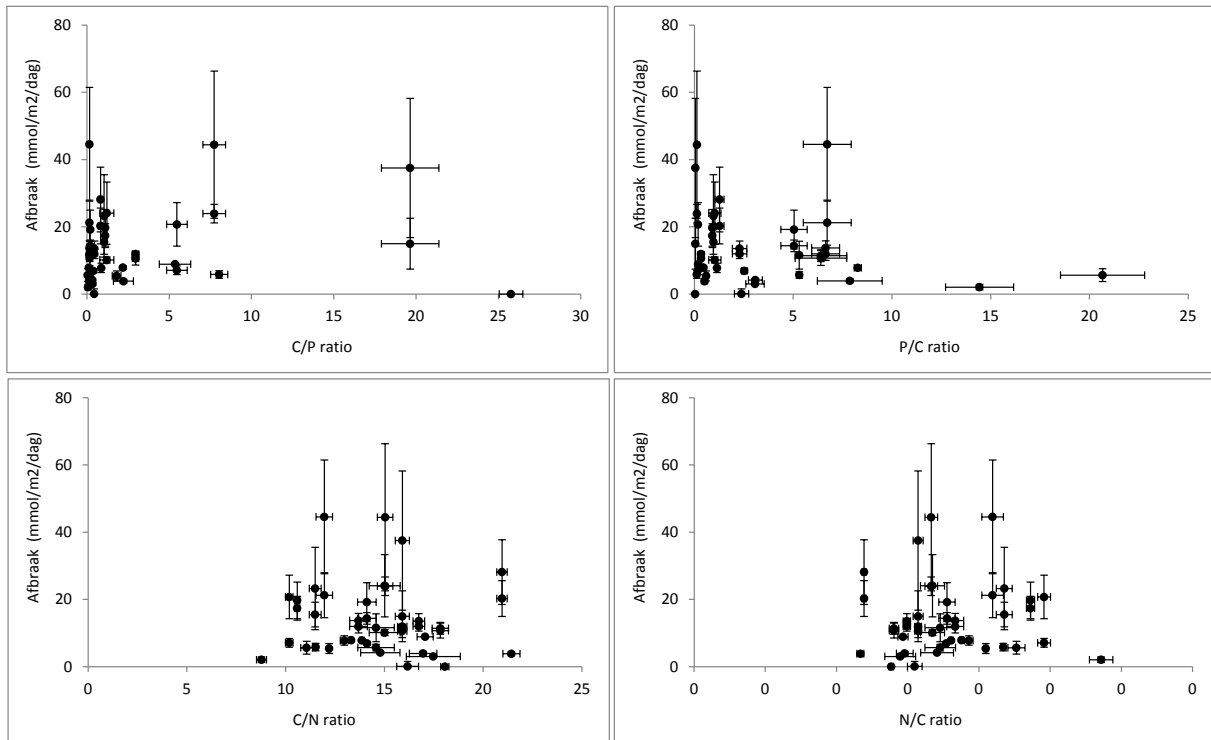
Afbraaksnelheid (C)

Als de nalevering van P en N naar de waterlaag voor het grootste deel direct door de afbraak van organisch stof gestuurd zou worden, zouden deze parameters een sterke correlatie moeten laten zien met de afbraaksnelheid. Dit is echter niet het geval, zie figuur 3.10. Daarnaast laten de afbraaksnelheden, gemeten als de productie van CO₂ en CH₄, geen correlatie zien met de alkaliniteit en het percentage organisch stof. Dit betekent dat de afbraak, en daarmee eventueel indirect de slibproductie, niet voorspeld kan worden met deze parameters. De afbraaksnelheid correleert ook niet met organisch stof x totaal P. Wanneer alleen gekeken wordt naar locaties met een alkaliniteit van het bodemvocht groter dan of gelijk aan 2,5 meq/l, blijkt er wel een correlatie te zijn ($R^2=0,49$). Hiermee kan een hoge alkaliniteit als indicatieve schatting voor de afbraaksnelheid gebruikt worden.



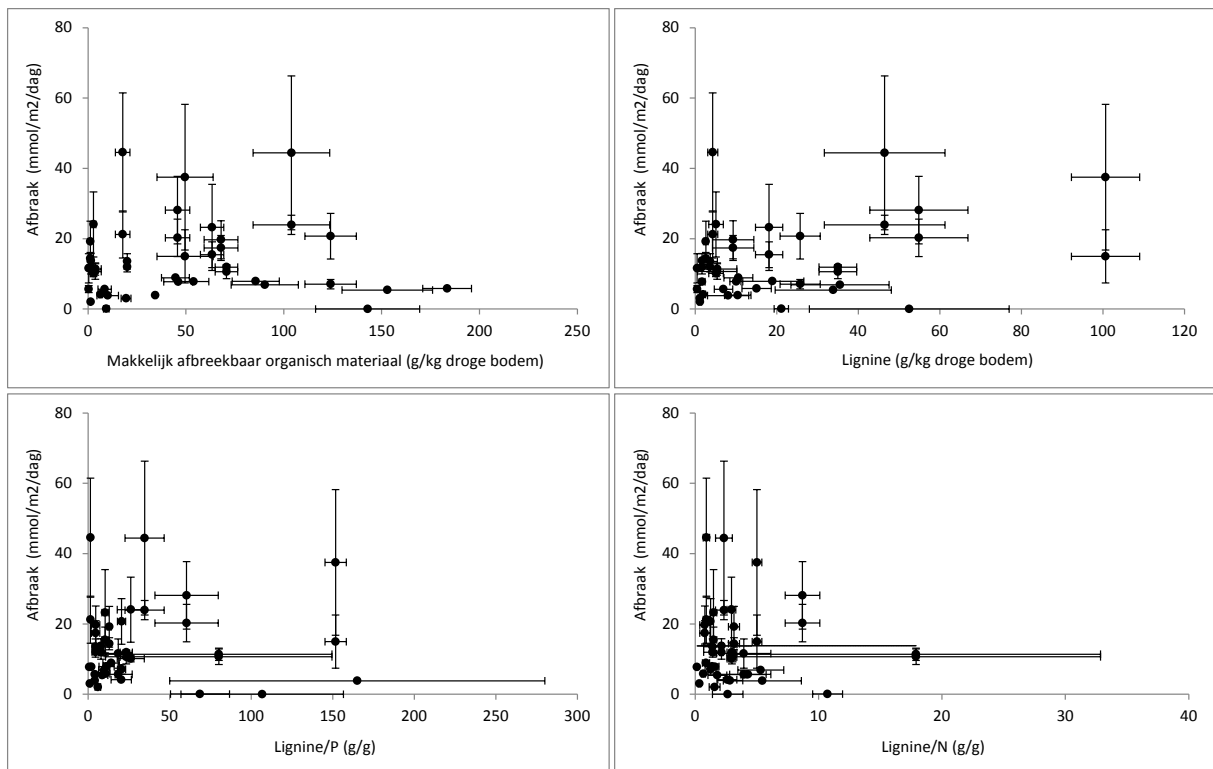
Figuur 3.10: Correlatie tussen de nalevering van P, N naar de waterlaag en de afbraaksnelheid in de bodem (in mmol/m²/dag), en tussen de afbraaksnelheid en de alkaliniteit, het organisch stof% en organisch stof%*P.

De C/N- en C/P-ratio van de bodem, die in de literatuur vaak gebruikt worden voor een ruwe indicatie van de afbreekbaarheid, blijken ook geen voorspellende waarde te hebben voor de afbraaksnelheid (zie figuur 3.11).



Figuur 3.11: Correlatie tussen afbraaksnelheid in de bodem (in mmol/m²/dag) en de C/P, P/C, C/N en N/C ratio.

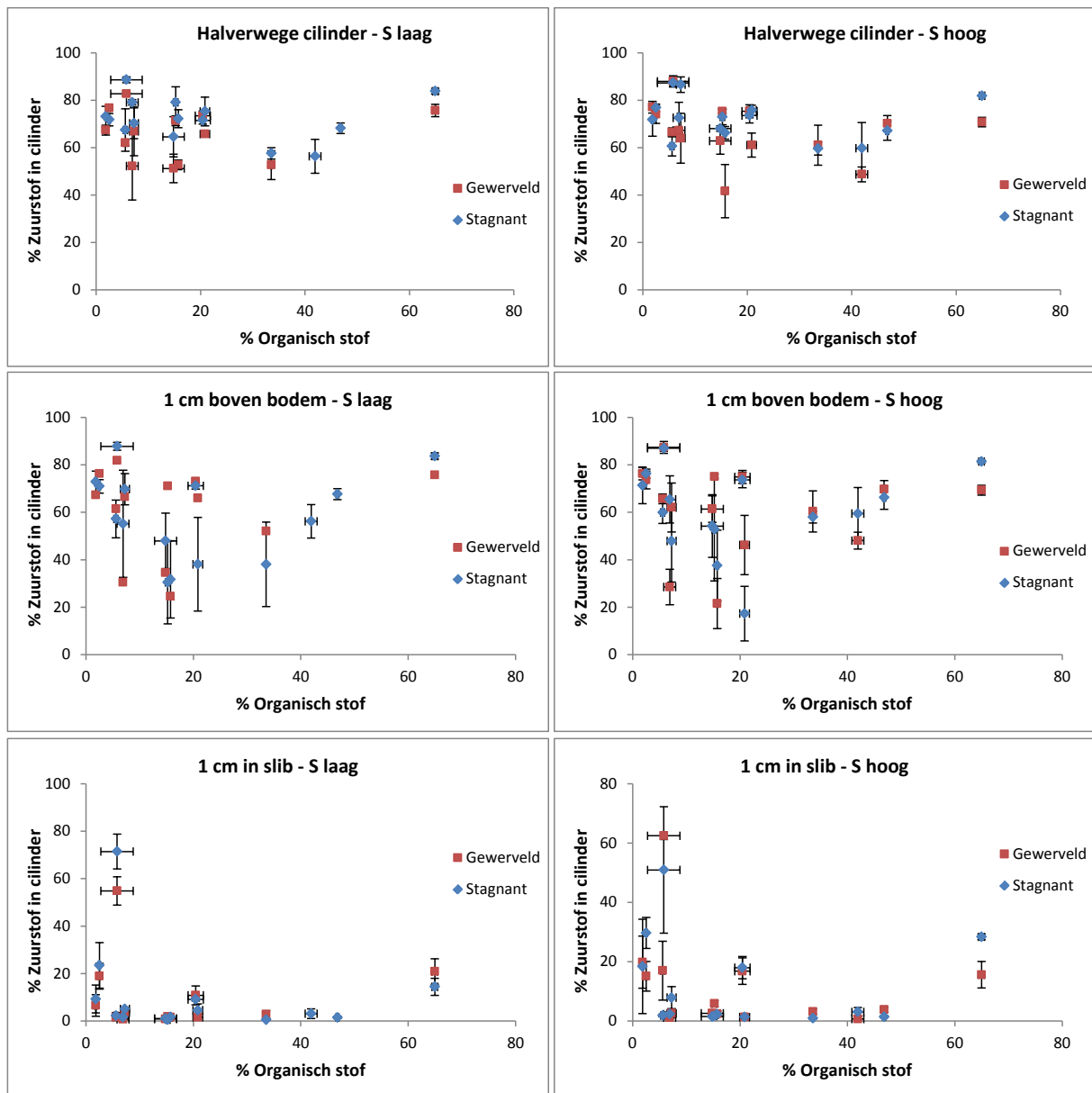
In figuur 3.12 is de afbraaksnelheid uitgezet tegen zowel de gemakkelijk afbreekbare fractie (celoplosbaar materiaal, celwandeiwitten en hemicellulose) als de moeilijk afbreekbare fractie (lignine) uit het organisch materiaal. Uit deze resultaten blijkt dat er geen correlatie is tussen de afbraak en deze fracties uit het sediment. Ook lignine/P (combinatie van sturing door nutriënten en remming door lignine) en lignine/N (idem) geven geen verband. Dit betekent dus dat we de afbraaksnelheid niet kunnen voorspellen aan de hand van bodemkarakteristieken, zelfs niet met geavanceerde organisch-stoffractioneringen.



Figuur 3.12: De correlatie tussen de afbraaksnelheid ($\text{mmol}/\text{m}^2/\text{dag}$) en diverse parameters bepaald via een organische fractionering.

Stagnant vs. gewerveld

Zuurstofgehalten in de cilinders zijn gemeten op drie verschillende diepten: 1 cm in het slib, 1 cm boven het slib en halverwege de waterlaag. Het zuurstofgehalte correleert echter op geen van de drie onderzochte diepten met het percentage organisch stof (figuur 3.13). Er werd ook geen verschil gevonden tussen de cilinders onder hoge of lage sulfaat concentraties in de waterlaag. Het zuurstofgehalte van de waterlaag blijkt zowel voor de stagnante als voor de gewervelde tussen 50 en 90% te liggen, wat aangeeft dat er geen anaërobie optrad. In de bodem is het gehalte laag en treed vaak wel anaërobie op, zeker wanneer het % organisch stof hoger is.



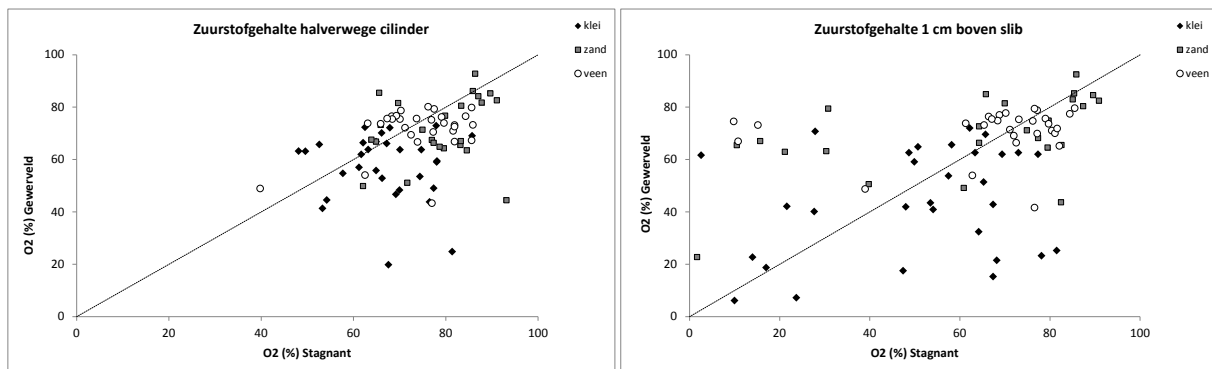
Figuur 3.13: Zuurstofgehalten in de waterlaag in de gewervelde en de stagnante cilinders uitgezet tegen het percentage organisch stof in de bodem, waarbij drie diepten in de cilinder zijn weergegeven en zowel de behandeling zonder zwavel (links) als de behandeling met zwavel (rechts).

In het tweede jaar van Baggernut is de experimentopzet in overleg met de stuurgroep aangepast, waardoor de stagnante en gewervelde situatie parallel aan elkaar konden worden uitgevoerd. Hierdoor is het dus ook mogelijk om een vergelijking te maken tussen de nalevering onder stagnante en de nalevering onder gewervelde omstandigheden. In tabel 3.1 zijn de statistische resultaten weergegeven van de vergelijking tussen gewerveld en stagnant, voor de 15 locaties die onderzocht zijn in 2011. Uit de tabel blijkt dat het zuurstofgehalte op 10 cm in de cilinder (halverwege $df=77$, $t=4.329$, $p<0.001$) significant lager en het DOC-gehalte ($df=53$, $t=-2.116$, $p=0.039$) significant hoger was bij de gewervelde situatie. Voor zuurstofconcentraties dieper in de kolommen werd geen verschil waargenomen. Lagere zuurstofgehalten in de gewervelde situatie (zie ook figuur 3.14) kunnen verklaard worden door een hogere zuurstofconsumptie in deze cilinders als gevolg van een hoge hoeveelheid zwevende stof en daarmee een grote hoeveelheid beschikbaar organische stof voor afbraak met een relatief groot oppervlak. Dit is een interessant gegeven, aangezien dit

aangeeft dat een hogere zuurstofaanvoer vanuit de lucht door menging niet vanzelfsprekend leidt tot een hoger zuurstofgehalte in de waterlaag. Bij de overige parameters, zoals de P-nalevering, N-nalevering en de afbraaksnelheid is er geen significant verschil aangetoond tussen de gewervelde en de stagnante cilinders.

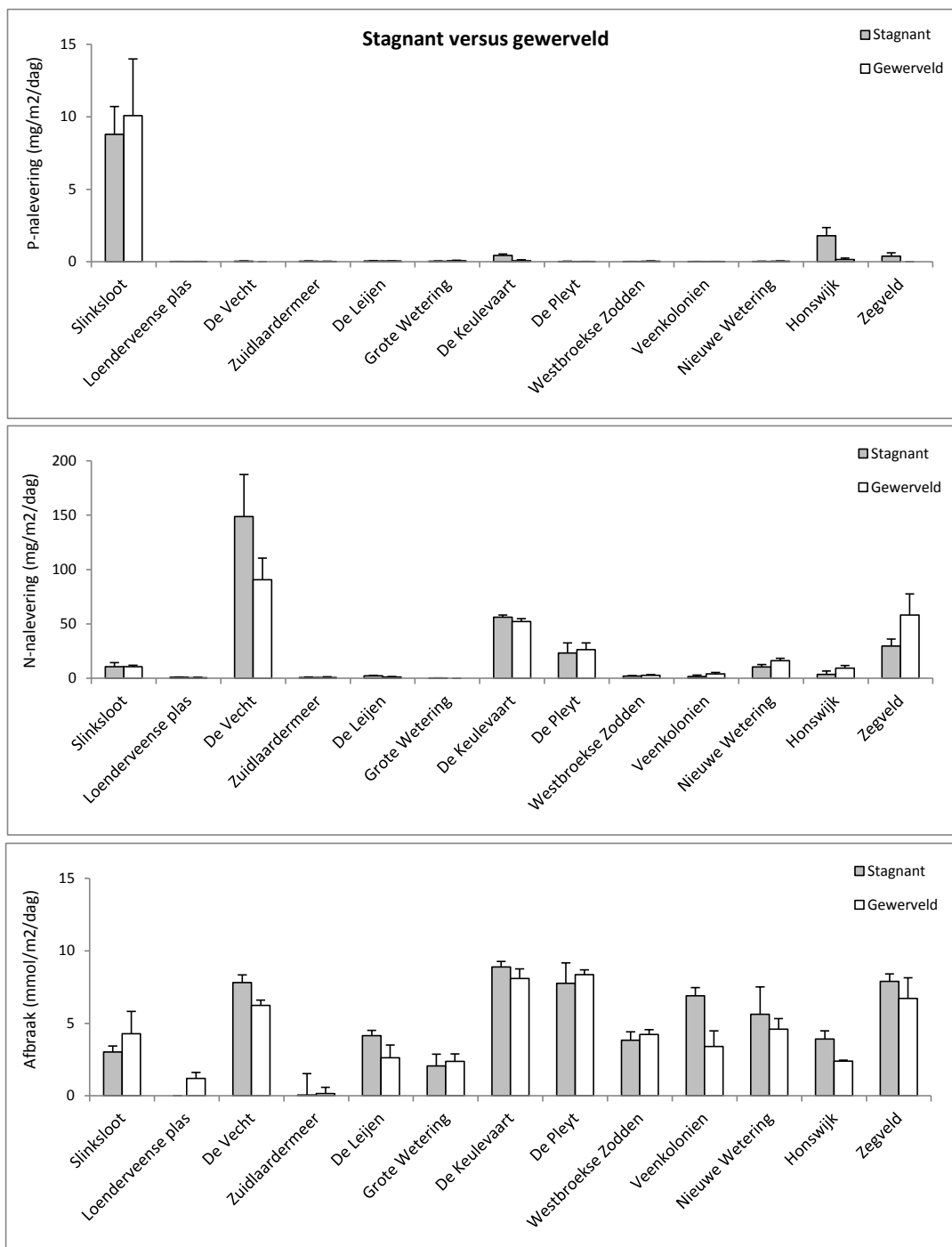
Tabel 3.1: Resultaten van vergelijking met behulp van een gepaarde t-toets van stagnante kolommen met gewervelde kolommen. Gemiddelde, standaard deviatie van stagnante en gewervelde kolommen en significantie (2-tailed) zijn weergegeven.

	Stagnant		Gewerveld		p
	Gemiddelde	Std. Dev.	Gemiddelde	Std. Dev.	
P-nalevering (mg/m2/dag)	1,04	0,71	3,28	2,70	0,067
NO3-nalevering (mg/m2/dag)	19,19	21,11	33,79	35,67	0,470
NH4-nalevering (mg/m2/dag)	1,03	0,10	6,02	0,86	0,184
Afbraaksnelheid (mmol C/m2/dag)	5,40	5,20	3,88	3,55	0,708
O2 in waterkolom 10cm (%)	73,42	66,78	10,09	13,25	0,000
O2 boven slib 1cm (%)	59,14	60,88	24,99	20,55	0,537
DOC (mg/L)	4,49	4,72	1,27	1,41	0,039



Figuur 3.14: Het zuurstofgehalte in de gewervelde cilinders uitgezet tegen het zuurstofgehalte in de stagnante cilinders, waarbij onderscheid is gemaakt tussen de verschillende bodemtypen (onderlaag). De gestippelde lijn geeft een 1:1 verhouding weer.

In figuur 3.15 is de P-nalevering, N-nalevering en de afbraaksnelheid weergegeven voor de onderzoekslocaties van 2011, waarbij onderscheid is gemaakt tussen de gewervelde en de stagnante situatie. Hierbij wordt direct duidelijk dat er op alle drie parameters geen eenduidig effect is van werveling. Daar waar de stagnante situatie een hogere stikstof nalevering geeft bij locatie De Vecht, is bij Zegveld juist de gewervelde situatie hoger. Ook bij de afbraak (beneden) is er geen eenduidig effect te ontdekken, hetgeen aansluit bij de resultaten van de gepaarde t-toets.



Figuur 3.15: Overzicht van de in 2011 gemeten locaties waarbij de stagnante en gewervelde metingen naast elkaar zijn weergegeven voor de P-nalevering, N-nalevering naar de waterlaag en de afbraaksnelheid. Door een afwijkende experimentopzet zijn Klein Vogelenzang en Sloene niet opgenomen in de figuur.

Temperatuurafhankelijkheid P-nalevering

Berekening van generale temperatuurafhankelijkheid functie:

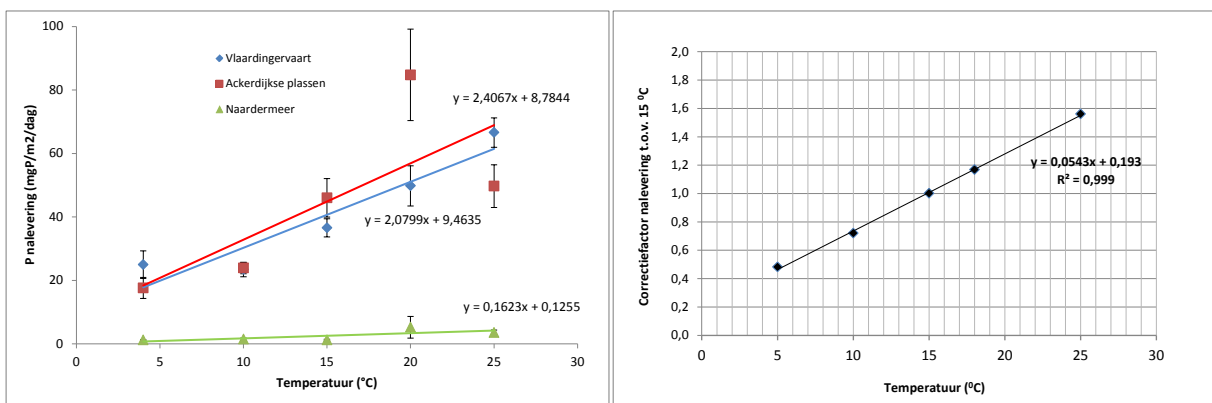
Alle naleveringsproeven zijn uitgevoerd bij de gestandaardiseerde temperatuur van 15 °C. Om de naleveringswaarde te corrigeren voor de temperatuur gedurende het jaar (bijvoorbeeld in een waterbalans), is het dus noodzakelijk om een temperatuurcorrectiefactor te bepalen voor de gestandaardiseerde naleveringswaarde.

De nalevering (in mg/m²/dag) werd daarom experimenteel voor elk van de drie testlocaties bij elke temperatuur in 3-voud bepaald. Vervolgens zijn voor elke locatie en bij elke temperatuur deze fluxen gemiddeld. De verkregen gemiddelde nalevering voor de 3 locaties werd vervolgens gestandaardiseerd door de naleveringswaarden te delen door de waarde bij 15 °C. Hierdoor wordt de nalevering bij 15 °C op 1 gesteld en worden de naleveringswaarden bij de andere temperaturen relatieve waarden ten opzichte van 15 °C. Vervolgens zijn deze relatieve naleveringswaarden uitgezet tegen de temperatuur waarna de relatie tussen temperatuur en de relatieve nalevering is onderzocht.

Om de individuele functies te kunnen generaliseren zijn alle punten gebruikt om een nieuwe lineaire temperatuurafhankelijkheid te definiëren. Deze functie (lijn $y = ax + b$) geeft een schatting van de relatieve nalevering (relatief ten opzichte van de nalevering bij 15 °C) voor elke temperatuur. Om deze waarde nuttig te maken dienen de temperatuurgegevens van het betreffende water en de nalevering bij 15°C bekend te zijn. Deze waarden kunnen worden ingevuld in de **bijbehorende Excel spreadsheet**. Hierbij kan de nalevering bij 15 °C worden berekend op basis van de meest recente vergelijking die wordt gegeven in figuur 3.1 op pagina 26.

Resultaten:

De P-nalevering van de drie locaties bij de verschillende temperaturen is weergegeven in figuur 3.16 (links). Op grond van de regressies werd voor iedere locatie de relatieve nalevering (ten opzichte van 15 °C) berekend. Deze waarden bleken voor de drie locaties erg goed overeen te komen. Daarom kon er, binnen dit temperatuurbereik, één lineaire functie berekend worden voor de correctiefactor ten opzichte van 15 °C (figuur 3.16, rechts). De functie die de relatieve P nalevering voorspelt wordt gegeven door $y = 0.543x + 0.193$.



Figuur 3.16: P-nalevering (mg P/m²/dag) van de drie locaties bij verschillende temperaturen (links) en de op grond hiervan berekende correctiefactor voor verschillende temperaturen ten opzichte van de P-nalevering bij 15 °C.

Op basis van deze functie werd een factor berekend voor de correctie voor de P-nalevering per seizoen. Veldmetingen van Hoogheemraadschap van Delfland en Waternet (n=21) werden gebruikt voor een schatting van de gemiddelde seizoentemperaturen. Onderstaande tabel geeft deze temperaturen en bijbehorende factor.

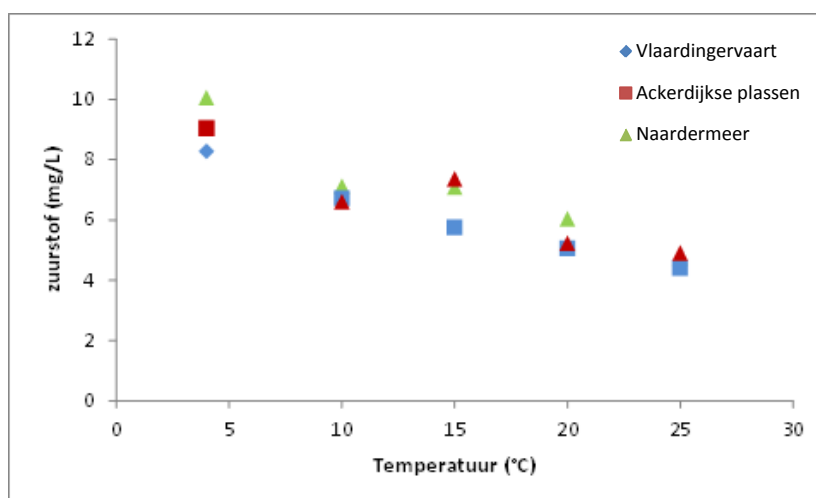
Tabel 3.2. Correctiefactor voor de P-nalevering ten opzichte van de P-nalevering bij de standaardtemperatuur van 15°C. Bij 5°C is de nalevering dus maar de helft hiervan. Zie bijgeleverd Excel-file voor de berekening bij elke temperatuur.

	Temperatuur ° C	Correctiefactor
Voorjaar	10	0,74
Zomer	18	1,17
Herfst	15	1
Winter	5	0,46

Bovenstaande correctiefactoren (tabel 3.2) geven een globaal beeld van de P-nalevering als functie van de temperatuur maar zullen voor specifieke locaties mogelijk minder geschikt zijn, zeker als er betere temperatuurgegevens voorhanden zijn.

Om de temperatuurfunctie en de schatting van P-nalevering op basis van P-totaal of P-bodemvocht te integreren is een kleine spreadsheet in Excel gemaakt. In deze spreadsheet kunnen de werkelijke waarden van P-bodemvocht worden ingevoerd welke een schatting geven van de P-nalevering bij 15 °C. Vervolgens kunnen temperaturen van een locatie worden ingegeven waarna de P-nalevering voor die temperaturen wordt berekend.

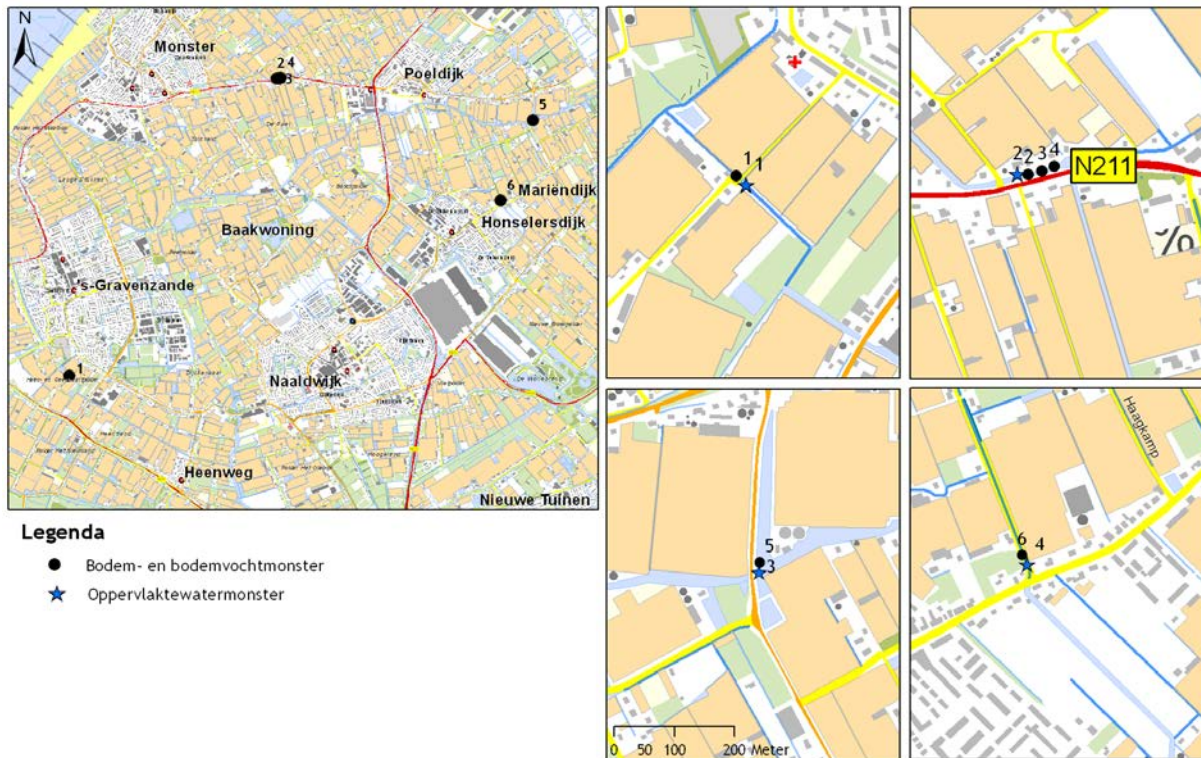
Zuurstofconcentraties bleken zoals verwacht af te nemen met toenemende temperatuur door een lagere oplosbaarheid en hogere consumptie. Er werd geen verschil tussen de verschillende locaties geconstateerd (figuur 3.17). Waarden bij de hoogste temperaturen bleken nog steeds boven 4 mg/L O₂ waardoor geconcludeerd kan worden dat zuurstofloze situaties niet werden bereikt.



Figuur 3.17: de zuurstofconcentratie (mg/l) in de cilinders gemeten bij verschillende temperaturen.

3.2 Onderzoekslocaties 2010

Haarvaten Westboezem



Figuur 3.18: Ligging van de bemonsterde locaties voor onderwaterbodem en oppervlaktewater in Haarvaten Westboezem (uitgevoerd op 21-06-2010).

De bemonsterde locaties van Haarvaten Westboezem variëren in bodemsamenstelling: aan- of afwezigheid van slib, kleiig zand tot zandige bodem en op een enkele locatie is er puin aangetroffen. In tabel 3.3 zijn dan ook zeer wisselende resultaten te zien. De bodem is kalkrijk. De totale fosforconcentraties in de bodem zijn hoog, maar er is ook redelijk wat ijzer aanwezig in de bodem. Er is in totaal echter maar net iets meer Fe in de bodem dan S. De (Fe-S)/P ratio, die aangeeft of er in theorie genoeg ijzer aanwezig is om fosfaat vast te leggen, is laag maar niet negatief. Voor een goede binding van P is echter een totaal Fe/P ratio nodig van 10 of hoger.

Tabel 3.3: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van Haarvaten Westboezem in mmol/L verse bodem tenzij anders aangegeven, ratio's in mol/mol.

	% org.stof	% vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
1	5,6	51,5	0,70	5,1	380	131	41	52	3,2	2,5	1,9
Gem. 2, 3, 4	11,8	69,5	0,39	6,5	325	115	37	67	3,2	1,7	1,3
s.e.m. 2, 3, 4	0,2	3,2	0,05	0,2	34	10	5	7	0,1	0,0	0,1
5	4,2	39,9	1,01	5,5	769	178	50	48	3,6	3,7	2,6
6	54,2	58,6	0,58	19,4	365	118	22	40	5,5	3,0	3,6

Het bodemvocht van de bemonsterde slibbodems heeft een pH van ongeveer 7,5 terwijl de alkaliniteit varieert van 6,3 tot 13,5 meq/l (tabel 3.4). Deze zeer hoge alkaliniteit correleert met de hoge concentratie ammonium. Bij afbraak van organisch materiaal wordt ammonium gevormd en onder anaerobe omstandigheden genereert deze afbraak meer buffercapaciteit (interne alkalisering). Het is zeer waarschijnlijk dat deze hoge concentraties ammonium ook de groei van waterplanten belemmeren, mocht er voldoende licht zou zijn. Vanaf 100 $\mu\text{mol/l}$ is ammonium al toxisch voor de meest gevoelige soorten (Lamers et al 2010). Zwavel is in behoorlijk hoge concentraties aanwezig, maar gevormd sulfide wordt voldoende gebonden aan ijzer in de bodem. Hierdoor is het niet toxisch is planten en macrofauna. De verhouding tussen ijzer en fosfaat in het bodemvocht is zeer ongunstig in de bodems van de Haarvaten Westboezem. Er is gebleken dat waarden lager dan 1 een sterke mobilisatie van fosfaat naar de waterlaag veroorzaken, bij waarden hoger dan 10 is deze mobilisatie gering (Lamers et al., 2010). Daarbij komt nog de hoge concentratie zwavel in het bodemvocht, waardoor onder anaerobe omstandigheden ijzersulfides (FeS_x) gevormd worden en ijzergebonden fosfaat extra gemobiliseerd kan worden (Smolders et al., 2006).

Tabel 3.4: Bodemvochtmetingen in het slib van de Haarvaten Westboezem. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

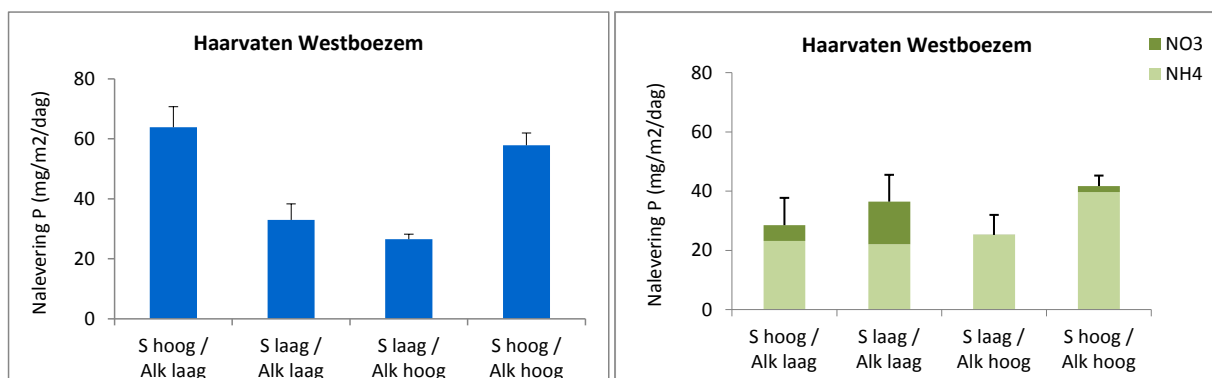
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
1	7,65	7,95	3,47	174,72	86,83	499,84	3480,54	80,72	0,91	559,93	0,46
Gem. 2, 3, 4	7,56	13,45	2,38	610,16	216,54	493,91	4201,60	84,63	2,09	1751,95	0,18
s.e.m. 2, 3, 4	0,04	2,87	0,52	116,68	33,47	376,73	266,07	37,28	0,45	388,83	0,12
5	7,48	6,30	1,12	216,79	77,64	594,64	2453,34	43,10	0,97	452,99	0,20
6	7,51	10,34	0,95	193,03	103,12	93,98	3480,54	91,21	2,70	1398,47	0,47

Het oppervlaktewater, gegeven in tabel 3.5, heeft over het algemeen een hoge tot zeer hoge pH en hoge alkaliniteit, wat duidt op sterk gebufferde omstandigheden. Dit is ook af te lezen aan de hoge calciumconcentraties in het oppervlaktewater. Tevens is de concentratie zwavel (als maat voor sulfaat) hoog; mede door de ongunstige verhouding tussen ijzer en fosfaat wordt hiermee fosfaatmobilisatie in het bodemvocht gestimuleerd. De waterlaag bevat op drie van de vier locaties veel nitraat, waarschijnlijk afkomstig uit externe bronnen.

Tabel 3.5: Oppervlaktewatarmetingen in de Haarvaten Westboezem waarbij de alkaliniteit is gegeven in meq/l, en de overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

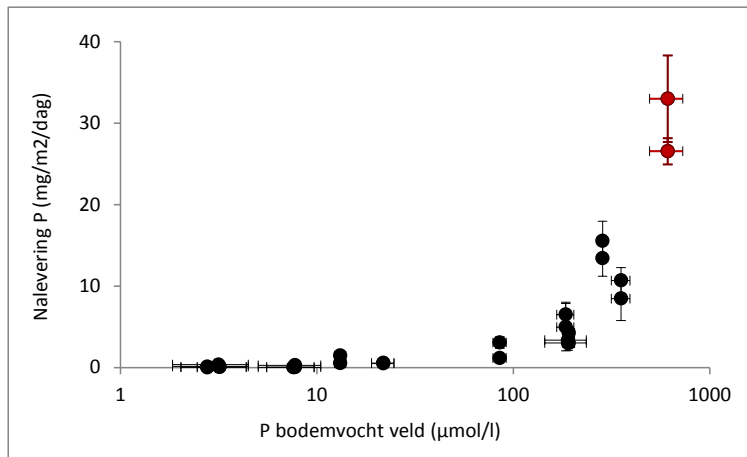
	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	8,39	3,17	9,32	4,74	776,43	1860,03	2,19	255,72	8,07
2	10,01	4,41	19,62	19,61	1164,33	2165,42	0,60	427,53	10,40
3	9,16	4,53	22,56	16,40	985,97	2244,26	0,62	108,53	10,30
4	9,06	3,45	14,59	9,91	724,98	1790,42	0,69	54,61	6,16

De nalevering zoals berekend in de cilinders over een periode van acht weken is in figuur 3.19 links weergegeven. Met een maximum van meer dan 60 mg P/m²/dag is de fosfaatalevering van de bodems van Haarvaten Westboezem extreem hoog. In vergelijking tot ander onderzoek: in Geurts et al. (2010) is een maximum P-nalevering van 4,5 mg/m²/dag gevonden (diverse veenplassen in Nederland) en in het spaarbekken de Braakman (waar in de zomer regelmatig algenbloei optreedt) is de maximum nalevering van het slib ongeveer 10 mg P/m²/jaar (Lucassen et al, 2008). De twee behandelingen met een hoge sulfaatconcentratie laten een tweemaal zo hoge nalevering zien dan de behandelingen met een lage sulfaatconcentratie, wat betekent dat sulfaatrijk water hier inderdaad zal leiden tot flinke extra interne P-mobilisatie. Het effect van de verschillende alkaliniteitsbehandelingen in de waterlaag is nihil, wat te verwachten was aangezien de alkaliniteit van het bodemvocht al zeer hoog is. Opmerkelijk is, dat dit sulfaateffect niet te zien was in de totale decompositie (figuur 3.12), wat impliceert dat de extra mobilisatie via ijzer-sulfide interacties plaatsvond. De concentratie sulfide in de cilinders is echter niet hoger opgelopen in de hoge zwavelbehandelingen dan in de lage zwavelbehandelingen, doordat er voldoende ijzer was (data niet weergegeven). De netto nalevering van stikstof (figuur x, rechts) naar de waterlaag (dus zonder N-verliezen naar de atmosfeer) is ook hoog met naleveringssnelheden van 25 tot 42 mg/m²/dag. In onderzoek van Geurts et al, 2010 is een stikstofnalevering van maximaal 51 mg/m²/dag gevonden. Het zwaveleffect van het oppervlaktewater, waar bij de fosfaatalevering wel sprake van is, is bij de stikstofnalevering niet zichtbaar. Dit komt overeen met de effecten op decompositie.



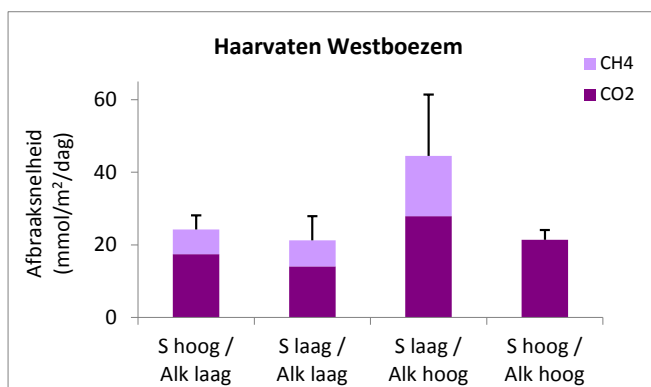
Figuur 3.19: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in mg/m²/dag van de bodems van Haarvaten Westboezem onder invloed van vier verschillende oppervlaktewater-behandelingen.

In figuur 3.20 is de correlatie te zien tussen de nalevering van fosfaat en fosfaat in het bodemvocht. De rode punten in de grafiek vertegenwoordigen de bodems van Haarvaten Westboezem. Zowel de concentratie fosfaat in het bodemvocht als de mate waarin fosfaat nageleverd wordt is zeer hoog, en daarmee de meest naleverende locatie van de Baggernutlocaties tot nog toe.



Figuur 3.20: Correlatie tussen de nalevering van fosfor uit de cilinderexperimenten en fosfor in het bodemvocht van de onderwaterbodems. De rode punten vertegenwoordigen de bodems uit Haarvaten Westboezem.

De berekende afbraaksnelheid van de bodems van Haarvaten Westboezem is gegeven in figuur 3.21. De afbraaksnelheid is hoog voor een bodem met een dergelijk laag organisch-stofgehalte, in dezelfde orde van grootte als bij venige onderwaterbodems. Wat opvalt is dat er ondanks de hoge zwavelconcentraties in het bodemvocht toch nog methaan geproduceerd wordt, behalve bij S hoog / Alk hoog. De waterkwaliteit heeft, zoals gezegd, geen effect op de afbraaksnelheid (hoge spreiding bij S laag / Alk hoog).



Figuur 3.21: De afbraaksnelheid in $\text{mmol C/m}^2/\text{dag}$ van de bodems van Haarvaten Westboezem onder invloed van vier verschillende oppervlaktewaterbehandelingen.

Karitaat Molensloot



Figuur 3.22: Ligging van de bemonsterde locaties voor onderwaterbodem en oppervlaktewater in de Karitaat Molensloot (uitgevoerd op 18-06-2010).

De bovenste 20 centimeter van de bodem van de Karitaat Molensloot bestaat uit dun slib, met een organisch stofgehalte van 20-40 % en een vochtgehalte hoger dan 60% (zie tabel 3.6). De concentratie fosfaat in deze slibbodems is hoog, zeker aangezien het dun slib betreft, maar daarnaast is de verhouding tussen ijzer en zwavel zeer ongunstig. De totaal Fe/S ratio ligt tussen 0,5 en 0,9 en op basis daarvan is de nalevering naar verwachting hoog (drempelwaarde 1 voor totaalwaarden). Dit blijkt ook uit de hoge concentratie P in de labiele fractie, die direct gemobiliseerd kan worden. Bovendien ligt de ratio (Fe-S)/P beneden nul. Onder anaerobe omstandigheden is het daarom zeer waarschijnlijk dat het overgrote deel van het ijzer in de bodem door zwavel bezet wordt (vorming van ijzersulfiden), waardoor fosfaat gemakkelijk gemobiliseerd wordt. De totaal S concentratie is inderdaad hoog voor dit dunne slib. Het fosfor is gelijk verdeeld over de labiele fractie, de organische fractie, en de Fe/Al-gebonden fractie. Hoewel het CaCO_3 -gehalte 3-8% is en daarmee relatief hoog, is de Ca-gebonden fractie verwaarloosbaar.

Tabel 3.6: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van de Karitaat Molensloot in mmol/L verse bodem tenzij anders aangegeven, ratio's in mol/mol.

	% org.stof	% vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO_3	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1, 2, 3	35,1	78,2	0,24	7,6	284	101	14	147	7,4	0,7	-3,3
s.e.m. 1, 2, 3	2,0	2,0	0,03	0,1	31	11	1	21	0,3	0,0	0,4
4	33,8	69,6	0,38	8,2	290	125	20	174	6,1	0,7	-2,4
5	19,7	60,1	0,55	3,0	425	111	27	129	4,1	0,9	-0,7
6	40,8	73,9	0,31	8,3	430	104	12	197	8,4	0,5	-7,5

De concentratie fosfaat in het bodemvocht (tabel 3.7) is zeer hoog en ook de alkaliniteit en ammoniumconcentratie zijn extreem hoog. De concentratie ijzer in het bodemvocht is te laag om P-mobilisatie te voorkomen; bij een Fe/P ratio in het bodemvocht lager dan 1 zal fosfaat vrijkomen en naar de waterlaag diffunderen. De Fe/P ratio in de Karitaat Molensloot is met 0,03 tot 0,08 veel te laag. Er is wat sulfide teruggemeten in het bodemvocht, maar niet in dermate hoge concentraties dat het toxisch is.

Tabel 3.7: Bodemvochtmetingen in het slib van de Karitaat Molensloot. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

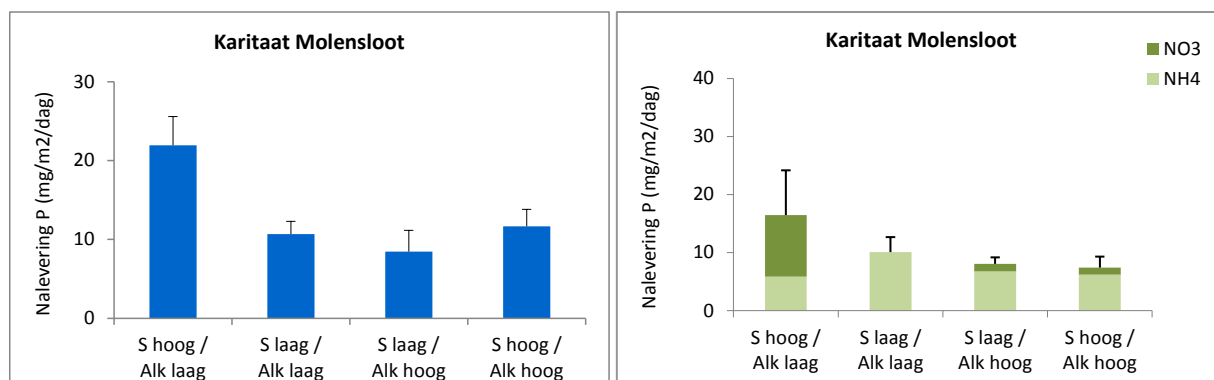
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1, 2, 3	7,56	10,19	3,10	352,95	214,98	239,60	2928,31	19,30	0,56	983,96	0,06
s.e.m. 1, 2, 3	0,15	0,71	0,73	38,24	16,49	51,08	84,31	3,05	0,04	116,84	0,01
4	7,25	10,50	5,36	227,93	192,44	349,55	3208,58	17,21	0,52	976,98	0,08
5	7,37	10,17	3,52	433,97	287,42	216,90	3171,16	35,99	0,46	799,62	0,08
6	7,75	10,37	3,83	381,34	198,91	286,09	3051,40	11,77	0,96	669,73	0,03

Aansluitend bij de kwaliteit van het bodemvocht is ook de alkaliniteit van het oppervlaktewater hoog (4,6 - 5,1 meq/l) en de concentratie fosfaat extreem hoog voor oppervlaktewater (tabel 3.8). Bij een PO₄ concentratie hoger dan 1 $\mu\text{mol/l}$ is er sterk verhoogde kans op algenbloei. De sulfaatconcentratie is ook hoog (circa 1000 $\mu\text{mol/l}$) waardoor interne eutrofiering door sulfaatreducerende processen aannemelijk wordt. Wat betreft stikstof in het water is ammonium overheersend, wat duidt op anaerobe omstandigheden in de waterlaag.

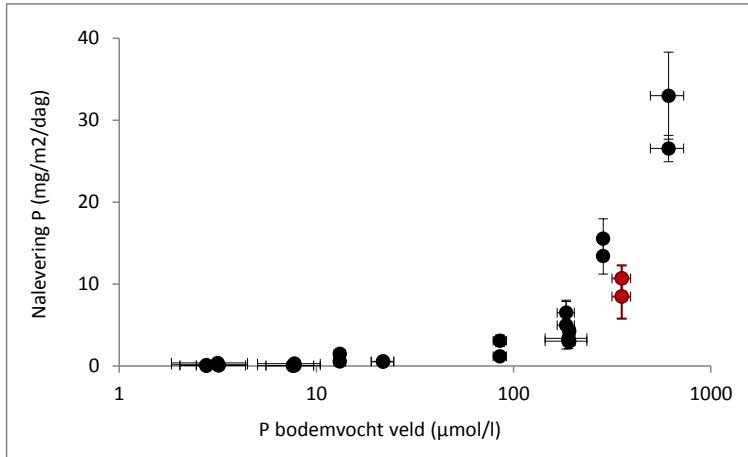
Tabel 3.8: Oppervlaktewatervoltingen in de Karitaat Molensloot waarbij de alkaliniteit is gegeven in meq/l, en de overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	8,48	5,12	36,29	28,69	1005,30	2569,86	1,42	6,79	17,40
2	8,16	5,03	42,27	28,81	973,50	2559,88	1,49	4,17	30,16
3	8,39	4,59	49,98	44,26	1063,92	2495,01	0,85	30,09	35,13
4	8,76	4,89	43,24	31,71	1070,16	2494,01	0,50	0,81	19,04

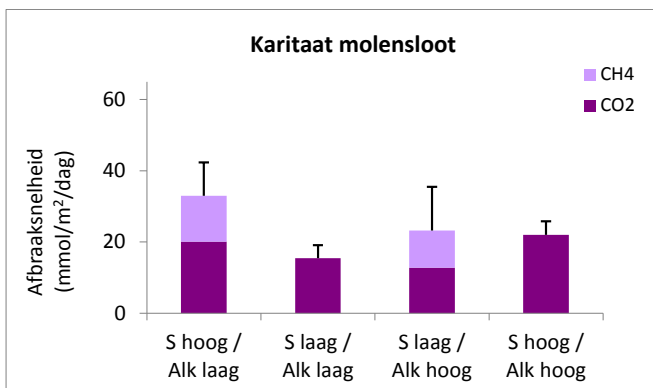
In cilinders met een hoge sulfaatbehandeling zijn hogere sulfideconcentraties gemeten; gemiddeld 30 $\mu\text{mol/l}$ sulfide versus 10 $\mu\text{mol/l}$ (data niet weergegeven). De effecten van sulfaatadditie op de P-nalevering zijn echter niet eenduidig (figuur 3.23); maar in een van beide groepen trad een verdubbeling van de nalevering op. Toename van de alkaliniteit had, zoals verwacht, geen effect. Ondanks de extreem hoge ammoniumconcentraties was de N-nalevering relatief laag. Ook de decompositiesnelheid (figuur 3.25) van dit fijne organische slib was relatief laag.



Figuur 3.23: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in mg/m²/dag van de bodems van de Karitaat Molensloot onder invloed van vier verschillende oppervlaktewater-behandelingen.



Figuur 3.24: Correlatie tussen de nalevering van fosfor uit de cilinderexperimenten en fosfor in het bodemvocht van de onderwaterbodems. De rode punten vertegenwoordigen de bodems uit de Karitaat Molensloot



Figuur 3.25: De afbraaksnelheid in $\text{mmol C/m}^2/\text{dag}$ van de bodems van de Karitaat Molensloot onder invloed van vier verschillende oppervlaktewaterbehandelingen.

Vlaarderingervaart



Figuur 3.26: Ligging van de bemonsterde locaties voor onderwaterbodem en oppervlaktewater in de Vlaarderingervaart (uitgevoerd op 21-06-2010).

De bemonsterde bodem (gegeven in tabel 3.9) van de Vlaarderingervaart bestaat over het algemeen uit 5 tot 10 centimeter kleilig slib waarvan het totaal P-gehalte gezien de lage bulk density vrij hoog is, en ook het calciumgehalte hoog is. De aanwezigheid van ijzer en daarmee de mogelijke binding van P wordt teniet gedaan door hoge concentraties zwavel in de bodem (lage Fe/S waarden, negatieve (Fe-S)/P waarden). Voornamelijk locatie vijf is zeer ongunstig met bijna twee keer zoveel zwavel als ijzer, maar ook de overige locaties hebben een negatieve (Fe-S)/P ratio. Snelle mobilisatie van fosfaat is hierdoor aannemelijk.

Tabel 3.9: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van de Vlaarderingervaart in mmol/L verse bodem tenzij anders aangegeven, ratio's in mol/mol.

	% org.stof	% vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
1	37,8	80,4	0,22	8,2	351	86	15	117	5,9	0,7	-2,1
Gem. 2, 3, 4	19,8	84,2	0,17	8,7	328	59	11	85	5,3	0,7	-2,3
s.e.m. 2, 3, 4	0,4	0,6	0,01	0,2	24	5	1	8	0,0	0,0	0,1
5	19,1	81,8	0,20	8,6	481	87	10	153	8,7	0,6	-6,5

De alkaliniteit van het bodemvocht van de de Vlaarderingervaart (tabel 3.10) is zeer hoog. Ook de concentratie sulfide is op twee locaties hoog. Voornamelijk locatie vijf is hierbij opvallend; sulfide heeft waarschijnlijk op kunnen hopen doordat ijzer nauwelijks beschikbaar is en zwavel niet gebonden kan worden in de vorm van ijzersulfiden. De concentratie P in het bodemvocht is hoog en de concentratie ijzer is laag (Fe/P ratio zeer laag). P is dus voornamelijk als labiele fractie in het

bodemvocht aanwezig, waardoor P-nalevering gestimuleerd wordt. Ook de concentratie ammonium is erg hoog.

Tabel 3.10: Bodemvochtmetingen in het slib van de Vlaardingervaart. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

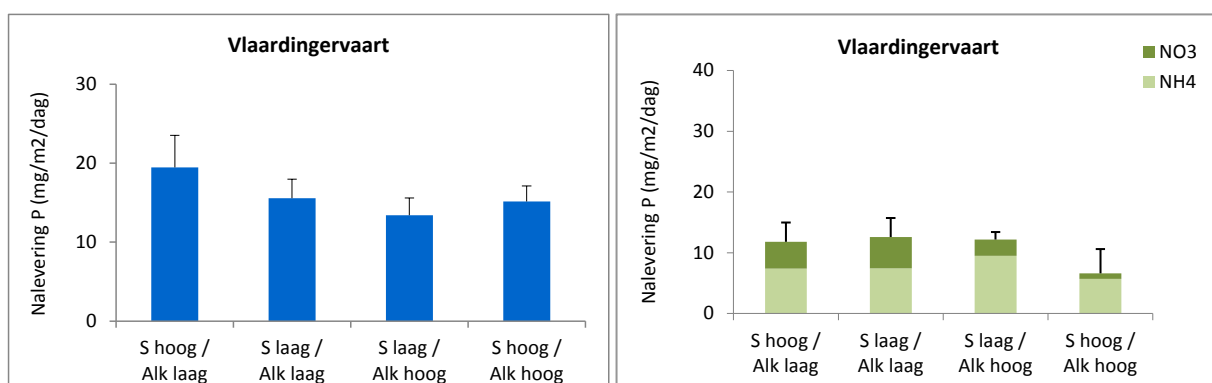
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
1	7,74	8,59	6,62	209,98	75,30	986,59	3398,20	4,78	0,48	588,05	0,02
Gem. 2, 3, 4	7,67	7,15	10,59	284,26	111,08	1203,41	3246,84	3,74	1,14	365,96	0,01
s.e.m. 2, 3, 4	0,09	0,33	5,12	9,36	9,59	95,16	33,30	1,86	0,38	75,90	0,01
5	7,63	8,82	63,54	160,57	136,16	1212,04	3338,32	0,45	0,00	593,23	0,00

Het oppervlaktewater in de Vlaardingervaart kenmerkt zich door een hoge alkaliniteit en een zeer hoge sulfaatconcentratie (zie tabel 3.11). Het stikstof-gehalte in de waterlaag is laag.

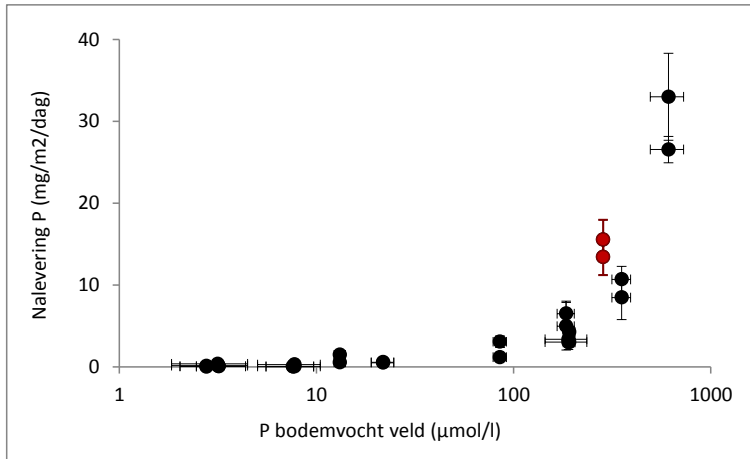
Tabel 3.11: Oppervlaktewaterringingen in de Vlaardingervaart waarbij de alkaliniteit is gegeven in meq/l, en de overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	9,15	5,01	19,69	15,78	1729,34	2909,18	0,45	25,91	7,99
2	8,89	4,50	17,74	11,06	1841,60	3033,93	0,51	0,21	14,83
3	8,75	4,85	15,42	6,74	1925,79	3136,23	0,30	1,23	10,34

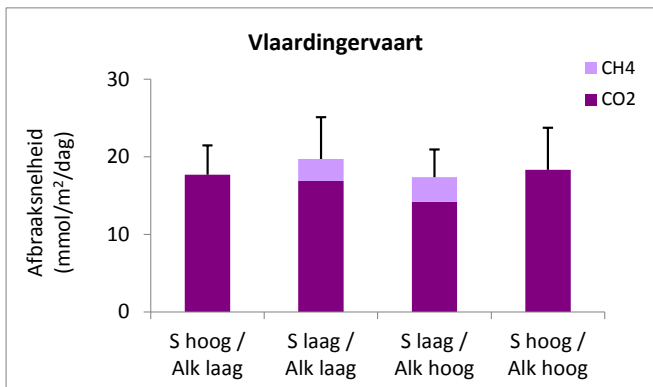
De P-nalevering is hoog, maar neemt niet verder toe door sulfaat (figuur 3.27). De N-nalevering is, ondanks de hoge ammoniumconcentraties in het bodemvocht, laag. Zoals verwacht, heeft een verhoging van de hardheid van het water geen effect op de nalevering van P en N. De afbraaksnelheden liggen op gemiddeld niveau voor organische bodems (figuur 3.29). Wat opvalt, is dat de methaanverliezen met sulfaatadditie sterk teruggebracht worden.



Figuur 3.27: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in $\text{mg/m}^2/\text{dag}$ van de bodems van de Vlaardingervaart onder invloed van vier verschillende oppervlaktewater-behandelingen.



Figuur 3.28: Correlatie tussen de nalevering van P uit de cilinderexperimenten en P in het bodemvocht van de onderwaterbodems. De rode punten vertegenwoordigen de bodems uit de Vlaardingervaart.



Figuur 3.29: De afbraaksnelheid in mmol C/m²/dag van de bodems van de Vlaardingervaart onder invloed van vier verschillende oppervlaktewaterbehandelingen.

Alde Feanen



Figuur 3.30: Ligging van de bemonsterde locaties voor oppervlaktewater en bodem in de Alde Feanen (uitgevoerd op 13-07-2010).

De slibbodem van de Alde Feanen is circa 20 centimeter dik en bevat zoals verwacht een organisch stofgehalte 31 tot 46% (tabel 3.12) en is venig. De concentratie calcium in de bodem is gemiddeld te noemen voor laagveenbodems, maar de totaal P concentratie is relatief hoog voor veenbodems. IJzer is op de meeste plaatsen net in evenwicht met zwavel, op locatie 6,7 en 8 is er echter twee keer zoveel zwavel als ijzer. De negatieve (Fe-S)/P ratio in de bodem kan een aanwijzing zijn voor potentiële P-nalevering.

Tabel 3.12: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van de Alde Feanen in mmol/L verse bodem tenzij anders aangegeven, ratio's in mol/mol.

	% org.stof	% vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
1	31,1	87,5	0,12	7,6	40	57	5	51	11,1	1,1	1,1
Gem. 2, 3, 4	33,3	86,3	0,13	5,3	48	63	6	66	10,0	1,0	-0,5
s.e.m. 2, 3, 4	0,0	0,3	0,00	0,5	1	1	0	1	0,4	0,0	0,3
5	37,9	87,0	0,13	6,0	56	63	6	68	10,2	0,9	-0,7
6	46,7	92,5	0,06	6,4	27	32	3	69	12,7	0,5	-14,7
7	46,5	91,2	0,08	6,6	30	38	3	78	12,8	0,5	-13,3
8	44,0	90,3	0,09	6,0	38	44	3	77	14,1	0,6	-10,4
9	45,0	90,7	0,09	5,0	42	43	6	49	7,3	0,9	-1,0
10	41,8	88,6	0,09	5,1	47	43	6	47	6,7	0,9	-0,6

De alkaliniteit in het bodemvocht (tabel 3.13) ligt rond 2-3 meq/l, een normale waarde voor laagveenbodems. De fosfor- en fosfaatconcentraties in het bodemvocht zijn echter extreem hoog. Een belangrijke richtlijn in het bodemvocht is de Fe/P ratio. Bij een Fe/P ratio in het bodemvocht lager dan 1 neemt de nalevering toe, hetgeen op een aantal locaties in de Alde Feanen het geval is. Voornamelijk locatie 6 en 7, die wat meer geïsoleerd liggen dan de rest, hebben een ongunstige ratio, ondanks de relatief hoge ijzerconcentratie in het bodemvocht. Ook de ammoniumconcentratie is hoog.

Tabel 3.13: Bodemvochtmetingen in het slib van de Alde Feanen. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in µmol/l.

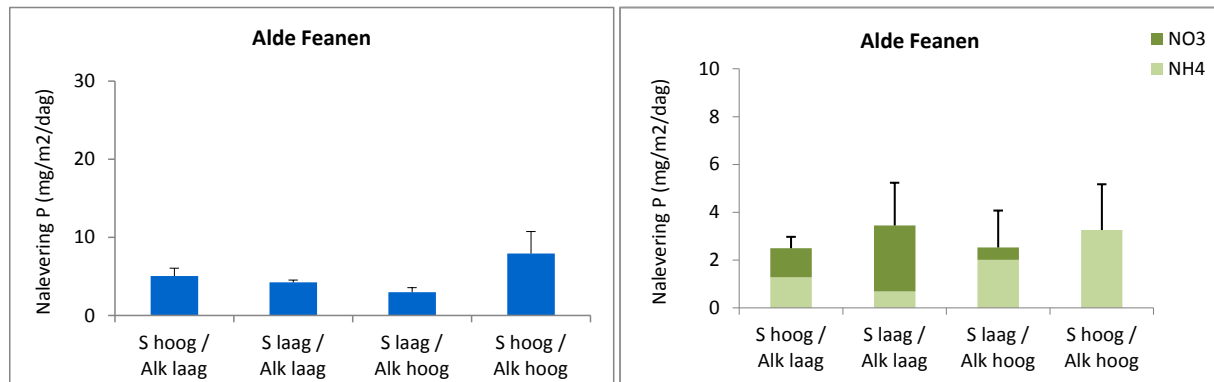
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
1	7,26	2,37	0,09	151,05	84,01	75,37	1675,65	118,21	1,24	281,21	0,78
Gem. 2, 3, 4	7,40	2,41	0,06	191,57	100,73	80,40	1935,71	122,64	2,68	334,18	0,64
s.e.m. 2, 3, 4	0,14	0,40	0,01	12,89	7,02	15,45	29,58	11,38	1,52	17,90	0,02
5	7,60	1,61	0,02	61,70	41,17	161,77	1692,86	62,65	1,13	213,87	1,02
6	7,06	3,51	3,31	66,48	65,94	96,04	1297,16	2,31	0,00	513,50	0,03
7	7,13	2,96	1,13	94,48	94,25	66,73	1400,70	2,25	0,02	659,57	0,02
8	7,05	1,94	0,17	156,89	115,29	89,24	1586,33	73,70	0,06	701,52	0,47
9	7,60	3,32	0,06	87,96	30,66	88,81	3512,97	139,36	0,00	576,95	1,58
10	7,47	3,75	0,06	56,15	21,72	83,16	3423,15	123,96	0,18	427,93	2,21

De alkaliniteit van het oppervlaktewater van de Alde Feanen ligt tussen 1 en 2, en is daarmee lager dan de andere locaties (tabel 3.14). Ortho-fosfaat blijft, op locatie 4 na, op het moment van meten overal beneden 1 µmol/l. Het sulfaatgehalte is hoog. Het stikstofgehalte van het oppervlaktewater is laag, ammonium is overheersend.

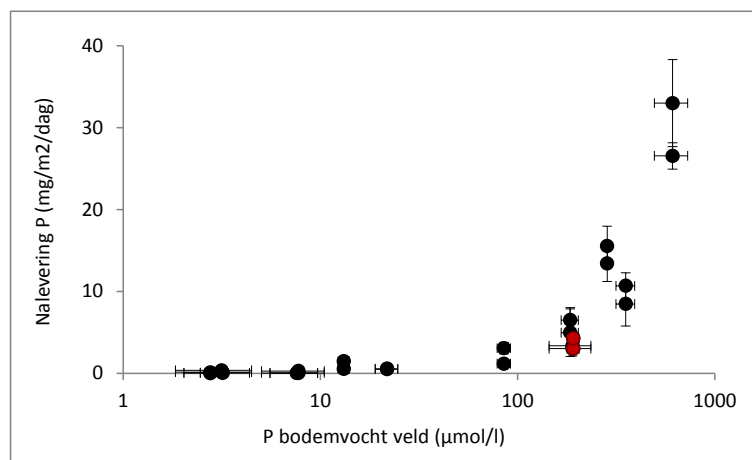
Tabel 3.14: Oppervlaktewatermetingen in de Alde Feanen waarbij de alkaliniteit is gegeven in meq/l, en de overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	8,06	1,61	1,25	0,55	545,68	1331,34	1,07	1,24	11,73
2	8,48	1,11	1,32	0,77	572,50	1361,03	0,97	0,50	10,45
3	7,88	1,86	1,15	0,61	570,94	1358,28	0,96	0,57	10,79
4	7,89	0,93	2,51	1,66	467,73	1228,04	1,75	0,22	10,92
5	7,87	1,61	1,46	0,89	507,64	1294,16	1,20	0,87	10,51
6	7,92	0,88	1,57	0,75	514,19	1304,89	1,14	0,59	11,32

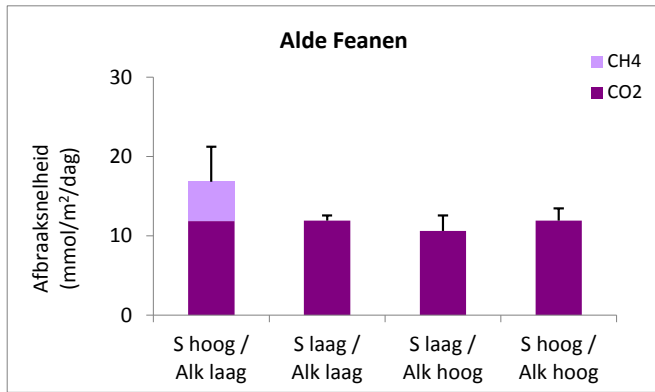
Voor een laagveengebied, zeker met de relatief hoge ijzerbeschikbaarheid in het bodemvocht, is de P-nalevering erg hoog (zie figuur 3.31). Dit is niet vreemd, gezien de erg hoge P-concentraties in het bodemvocht. Deze nalevering wordt niet beïnvloed door de waterkwaliteit. De nalevering van N is daarentegen laag. Wat opvalt, is dat de nitrificatie beter lijkt te verlopen bij een lagere alkaliniteit. De afbraaksnelheden, gegeven in figuur 3.33, liggen op normaal niveau en worden niet beïnvloed door verhoogde alkaliniteit of sulfaatconcentratie.



Figuur 3.31: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in $\text{mg/m}^2/\text{dag}$ van de bodems van de Alde Feanen onder invloed van vier verschillende oppervlaktewaterbehandelingen.



Figuur 3.32: Correlatie tussen de nalevering van P uit de cilinderexperimenten en P in het bodemvocht van de onderwaterbodems. De rode punten vertegenwoordigen de bodems uit de Alde Feanen.



Figuur 3.33: De afbraaksnelheid in mmol C/m²/dag van de bodems van de Alde Feanen onder invloed van vier verschillende oppervlaktewaterbehandelingen.

Bleiswijkse Zoom



Figuur 3.34: Ligging van de bemonsterde locaties voor oppervlaktewater en bodem in de Bleiswijkse zoom (uitgevoerd op 30-06-2010).

De onderwaterbodem van de Bleiswijkse zoom heeft een toplaag van 10 centimeter slib met laag organisch stofgehalte (<7 %; tabel 3.15). Onder het slib is 10-15 centimeter bruin/zwarte zachte klei aangetroffen, de bodem daaronder bestaat uit grijze zware klei. De waterdiepte bedraagt 1,25 meter bij op locatie 1 t/m 5, op locatie zes is de diepte 2,15 meter en op locatie zeven 2,10 meter diep. Het totaal calciumgehalte is hoog, zeker op locatie 4 en 5. Op deze locaties is ook de concentratie ijzer relatief hoog. Totaal P in de bodem is overal lager dan 20 mmol/liter verse bodem en in het zuidelijke deel van de plas lager dan 10. Zwavel is in de gehele onderwaterbodem laag, en de S-gerelateerde ratio's geven aan dat er nog Fe is om P in de bodem te binden. Echter, in de eerste 6 locaties blijft de Fe/P ratio lager dan 10, wat aangeeft dat dit te weinig Fe is om P goed te binden.

Tabel 3.15: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van de Bleiswijkse Zoom in mmol/L verse bodem tenzij anders aangegeven, ratio's in mol/mol.

	% org.stof	% vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1, 2, 3	4,9	66,1	0,41	6,7	708	85	11	55	8,1	1,6	2,9
s.e.m. 1, 2, 3	1,3	2,2	0,04	0,2	53	5	1	2	0,3	0,0	0,1
4	2,1	35,7	1,08	2,2	1347	123	16	44	7,9	2,8	5,0
5	3,1	46,1	0,82	4,4	1273	134	19	61	7,1	2,2	3,9
6	5,9	63,8	0,44	4,9	624	96	9	50	10,6	1,9	5,0
7	6,9	75,6	0,25	5,8	377	77	7	34	10,4	2,3	5,8

De eigenschappen van het bodemvocht, gegeven in tabel 3.16, bevestigen dit. De alkaliniteit, evenals de concentratie ammonium van het bodemvocht, is hoog. Het fosfaatgehalte in het bodemvocht is ook erg hoog, evenals de concentratie zwavel (als maat voor sulfaat). IJzer in het bodemvocht is matig hoog, voornamelijk in de bodems in het zuidelijke deel van de Bleiswijkse Zoom. PO₄ en P in het bodemvocht zijn echter hoog, waardoor de Fe/P ratio laag blijft. Locatie zes en zeven zijn ook de enige waar de Fe/P ratio in het bodemvocht net boven de kritieke waarde van 1 mol/mol uitkomt. Hoewel het totaal ijzergehalte in de bodem gelijk is, bevat het bodemvocht op deze twee zuidelijke locaties meer ijzer. Dit kan meerdere oorzaken hebben, maar op grond van deze bemonstering, zonder hydrologisch onderzoek (eventuele kwel) kan hier verder geen uitspraak over gedaan worden.

Tabel 3.16: Bodemvochtmetingen in het slib van de Bleiswijkse Zoom. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

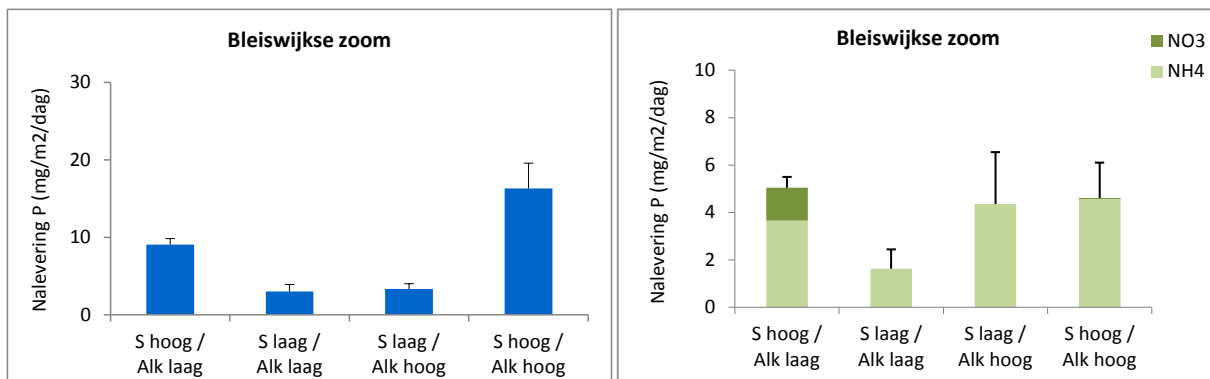
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1, 2, 3	7,36	2,03	2,85	189,70	91,93	366,12	2392,22	23,29	0,57	268,77	0,14
s.e.m. 1, 2, 3	0,03	0,02	0,80	45,29	8,45	48,31	31,43	4,11	0,06	19,17	0,05
4	7,27	2,23	0,69	101,07	58,40	647,65	2579,84	58,93	0,67	152,36	0,58
5	7,20	2,09	1,22	164,13	64,42	287,00	2419,91	43,40	0,48	230,87	0,26
6	7,24	2,72	0,64	96,90	36,02	656,38	2149,70	113,41	0,49	66,53	1,17
7	7,33	1,92	0,21	111,08	37,35	509,82	2246,76	120,84	0,83	100,08	1,09

De fosfaatconcentratie in het oppervlaktewater (zie tabel 3.17) is matig hoog in het noordelijke deel, terwijl deze in het zuidelijke deel juist behoorlijk laag is (0,3 $\mu\text{mol/l}$). Vermoedelijk is er in het zuidelijke deel nog genoeg vrij ijzer in het bodemvocht aanwezig om diffusie van fosfaat naar de waterlaag tegen te gaan, terwijl dat in het noordelijke deel niet het geval is. De sulfaatconcentratie is hoog.

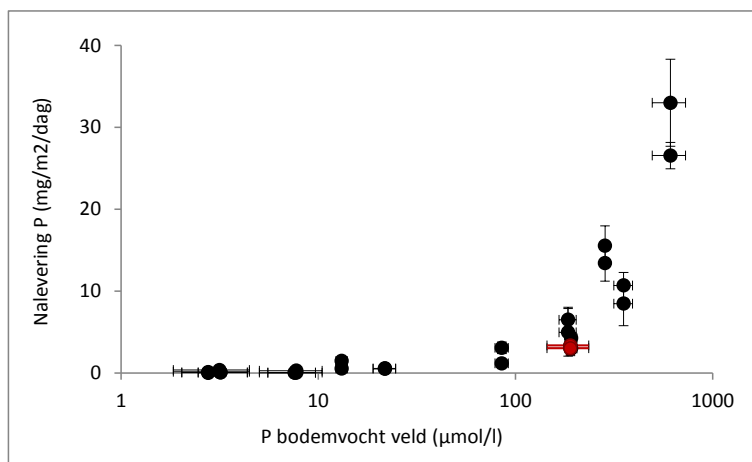
Tabel 3.17: Oppervlaktewaterringen in de Bleiswijkse Zoom waarbij de alkaliniteit is gegeven in meq/l, en de overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	8,13	1,28	6,38	2,19	1368,88	2352,54	0,47	0,67	4,12
2	7,83	1,34	7,53	2,57	1377,92	2339,32	0,66	0,69	4,39
3	8,25	1,02	2,96	0,28	1259,12	1985,28	0,20	0,40	2,91

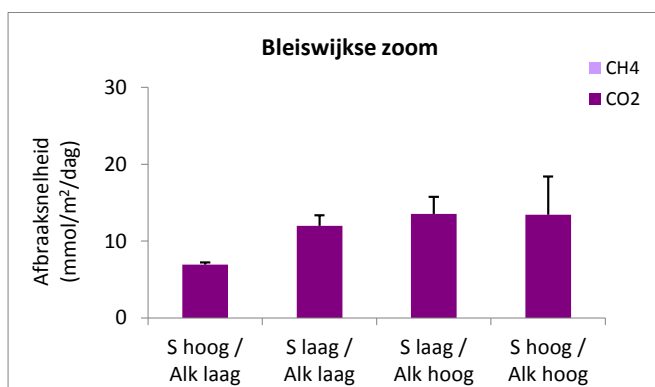
De P-nalevering van de onderwaterbodem van de Bleiswijkse Zoom varieert tussen 3,0 en 16,3 mg/m²/dag en is daarmee hoog (figuur 3.35), hetgeen samenhangt met de lage Fe/P ratio in het bodemvocht. De grenswaarde waarbij de omslag plaatsvindt van helder naar troebel (voor laagveenwateren, voor klei is het niet afzonderlijk bepaald) ligt mogelijk rond 1 mg/m²/dag (Janse, 2005). Met name bij de behandelingen met een hoog zwavelgehalte is de nalevering van fosfor erg hoog, dat bij een hoge alkaliniteit nog eens versterkt wordt (zie rechterbalk in figuur 3.35, links). Aangezien het oppervlaktewater in de plas erg hoge sulfaatconcentraties bevat, kan geconcludeerd worden dat deze bijdragen aan de P-nalevering. Onder invloed van een hoge alkaliniteit verloopt de sulfaatreductie sneller, met als gevolg het vrijkomen van fosfor. De N-nalevering is relatief laag, net als de afbraaksnelheid. In de figuren 3.36 en 3.37 is informatie te vinden over de nalevering en afbraaksnelheden van de onderwaterbodem van de Bleiswijkse Zoom.



Figuur 3.35: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in mg/m²/dag van de bodems van de Bleiswijkse Zoom onder invloed van vier verschillende oppervlaktewater-behandelingen.

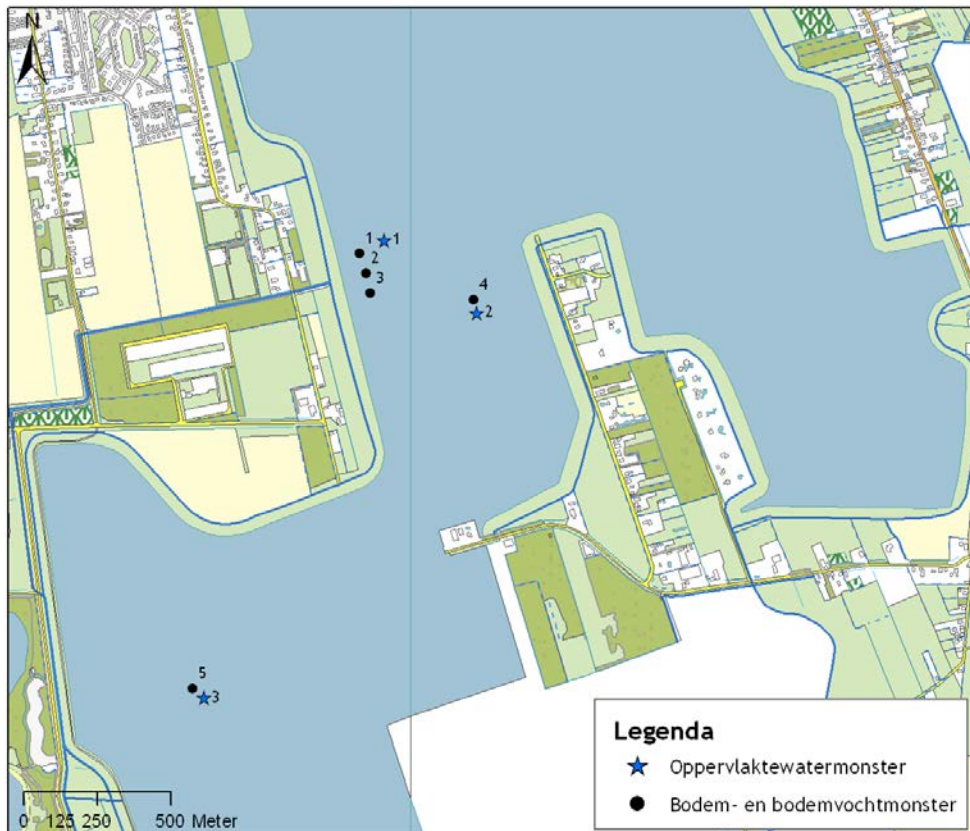


Figuur 3.36: Correlatie tussen de nalevering van P uit de cilinderexperimenten en P in het bodemvocht van de onderwaterbodems. De rode punten vertegenwoordigen de bodems uit de Bleiswijkse Zoom.



Figuur 3.37: De afbraaksnelheid in mmol C/m²/dag van de bodems van de Bleiswijkse Zoom onder invloed van vier verschillende oppervlaktewaterbehandelingen.

37 Oldambtmeer



Figuur 3.38: Ligging van de bemonsterde locaties voor oppervlaktewater en bodem in het Oldambtmeer (uitgevoerd op 14-07-2010).

In het Oldambtmeer zijn de bemonsterde locaties gekozen op basis van de bodemgegevens van de plas. Alle monsterlocaties liggen in het venige deel, maar de samenstelling van de slibbodems bleek tijdens bemonstering toch van elkaar te verschillen. De bodem van de locaties 1, 2 en 3, waar ook de cilinders zijn verzameld, was veniger dan de bodem van locatie 4 en 5. Dit is ook terug te zien aan het organisch stofgehalte in tabel 3.18. Opvallend is wel dat op locatie 1 t/m 4 het fosfaat voornamelijk aan de ijzer/aluminium fractie gebonden is, terwijl op locatie vijf het fosfaat voornamelijk organisch gebonden is (data P-fractionering, niet weergegeven). Locatie 1, 2 en 3 bevatten gemiddeld meer P dan locatie 4 en 5, maar de concentratie ijzer is ook hoger op deze locaties. Totaal zwavel is laag in het Oldambtmeer, mede daardoor ontstaat er een positieve (Fe-S)/P ratio. De totaal Fe/P ratio ligt op de eerste 4 locaties echter onder de grenswaarde van 10.

Tabel 3.18: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van het Oldambtmeer in mmol/L verse bodem tenzij anders aangegeven, ratio's in mol/mol.

	% org.stof	% vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1, 2, 3	26,2	59,9	0,54	10,2	127	67	16	39	4,2	1,7	1,8
s.e.m. 1, 2, 3	1,9	4,3	0,10	0,2	20	6	2	6	0,3	0,1	0,2
4	13,0	67,2	0,39	11,0	61	35	5	23	7,0	1,5	2,3
5	11,7	68,1	0,36	8,2	47	48	3	16	17,9	3,0	12,0

Het bodemvocht laat wat betreft de concentratie fosfaat behoorlijke verschillen zien: locatie 4 en vooral 5 bevatten relatief weinig P, terwijl locatie 1,2 en 3 een hoge P-concentratie laten zien (tabel 3.19). De alkaliniteit en de zwavel-concentratie zijn op alle locaties laag, met daar tegenover een zeer hoge ijzerconcentratie. Op de locatie waar de bodemkernen genomen zijn, treedt ondanks de hoge Fe concentratie door de hoge P-concentratie toch een redelijk ongunstige Fe/P ratio op. Op de locaties 1,2 en 3 is echter ook een hoge ammonium-concentratie gemeten.

Tabel 3.19: Bodemvochtmetingen in het slib van het Oldambtmeer. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

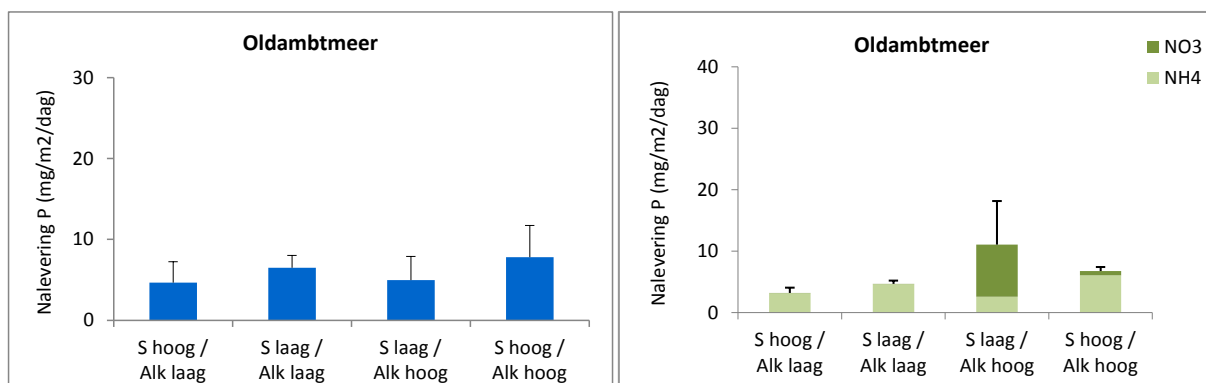
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1, 2, 3	6,54	1,05	0,36	184,67	45,52	130,07	1367,43	303,25	0,75	780,03	1,63
s.e.m. 1, 2, 3	0,26	0,29	0,10	18,53	18,29	9,80	244,06	45,99	0,67	143,34	0,11
4	6,69	0,54	0,16	29,44	8,28	104,30	719,06	194,81	0,00	306,17	6,62
5	6,66	0,90	0,50	13,47	1,02	105,68	1368,51	245,84	0,69	18,45	18,25

De oppervlaktewaterkwaliteit is over de gehele plas ongeveer gelijk. De alkaliniteit en fosfaatconcentraties zijn laag op het moment van monstereen en ook de stikstofgehalten zijn laag (tabel 3.20). Alleen de sulfaatconcentratie in het oppervlaktewater is verhoogd.

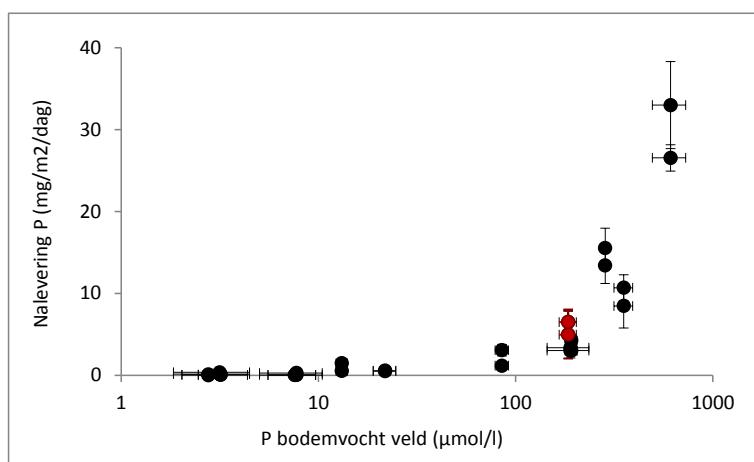
Tabel 3.20: Oppervlaktewatermetingen in het Oldambtmeer waarbij de alkaliniteit is gegeven in meq/l, en de overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	7,93	0,68	3,94	0,30	695,35	1256,99	3,93	2,08	11,50
2	7,85	0,59	5,60	0,12	496,73	1135,23	4,11	1,78	11,01
3	8,13	0,61	3,17	0,13	462,11	993,51	2,27	0,85	11,73

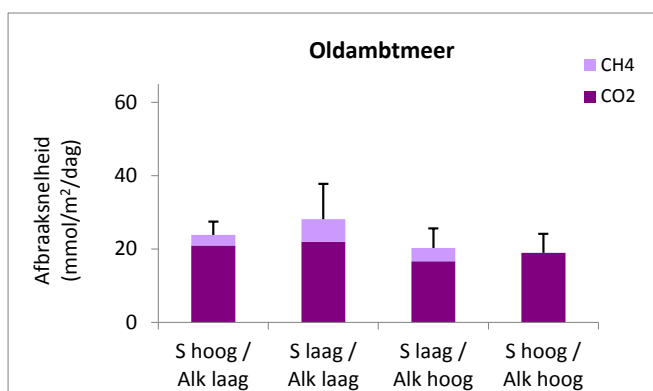
Ondanks de hoge Fe-concentratie in het bodemvocht is de P-nalevering toch relatief hoog, wat past bij de lage Fe/P ratio in het bodemvocht. Extra sulfaat in de waterlaag zorgt hier niet voor toegenomen P-mobilisatie. De N-nalevering is relatief laag. De afbraaksnelheid is normaal voor een dergelijk organische bodem. Figuur 3.39 t/m 3.41 omvat de grafische weergave van de nalevering, de ligging ten opzichte van andere locaties en de afbraaksnelheid.



Figuur 3.39: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in mg/m²/dag van de bodems van het Oldambtmeer onder invloed van vier verschillende oppervlaktewater-behandelingen.

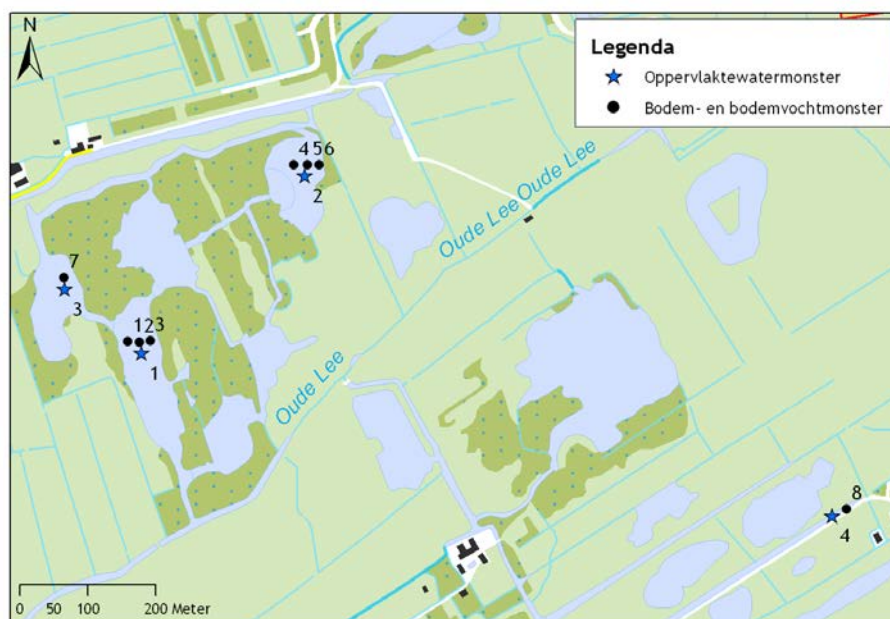


Figuur 3.40: Correlatie tussen de nalevering van fosfor uit de cilinderexperimenten en fosfor in het bodemvocht van de onderwaterbodems. De rode punten vertegenwoordigen de bodems uit het Oldambtmeer.



Figuur 3.41: De afbraaksnelheid in mmol C/m²/dag van de bodems van het Oldambtmeer onder invloed van vier verschillende oppervlaktewaterbehandelingen.

Ackerdijkse plassen



Figuur 3.42: Ligging van de bemonsterde locaties voor oppervlaktewater en bodem in de Ackerdijkse plassen (uitgevoerd op 19-07-2010).

De sliblaag in de Ackerdijkse plassen varieert van 5 tot 10 centimeter en bevat veel organisch materiaal (tabel 3.21). Locatie 1,2,3 en 7 bevatten een wat hoger percentage organisch materiaal, deze locaties hebben een venige ondergrond, terwijl locaties 4,5 en 6 een ondergrond van klei hebben (onder het slib). De P-concentratie is laag per volume, doordat het veen een lage bulk density heeft. Al het aanwezige ijzer wordt echter bezet door zwavel, waardoor P in theorie makkelijk wordt gemobiliseerd (zie negatieve Fe-S/P verhouding).

Tabel 3.21: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van de Ackerdijkse plassen in mmol/L verse bodem tenzij anders aangegeven, ratio's in mol/mol.

	% org.stof	% vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1, 2, 3	53,6	91,8	0,09	8,7	42	27	4	87	6,9	0,3	-15,7
s.e.m. 1, 2, 3	2,5	0,2	0,01	0,2	4	4	0	8	0,6	0,0	0,6
4	42,3	90,1	0,09	7,9	45	34	2	81	13,8	0,4	-18,7
5	32,2	88,5	0,11	7,5	53	49	4	100	14,1	0,5	-14,5
6	28,7	87,0	0,12	6,7	44	49	3	93	14,9	0,5	-13,2
7	62,6	91,5	0,10	8,5	53	23	3	104	7,9	0,2	-27,1
8	24,2	84,0	0,14	7,3	88	60	6	78	10,5	0,8	-3,0

Dit is ook terug te zien aan de zeer hoge fosfaatconcentratie in het bodemvocht. De alkaliniteit van het bodemvocht in de Ackerdijkse plassen is lager dan 2 meq/l (tabel 3.22). Monster nummer 8, verzameld in een sloot ten zuidoosten van de Ackerdijkse plassen, heeft een zeer hoge alkaliniteit en is daarmee afwijkend ten opzichte van de overige locaties. Behalve de alkaliniteit heeft locatie 8

ook een hogere fosfaat (extreem hoog), ijzer en (veel hogere) calciumconcentratie in het bodemvocht. De concentratie zwavel en fosfaat in het bodemvocht, voornamelijk op locatie 1, 2, 3, 5 en 6, is echter zeer ongunstig, en ook de Fe/P ratio die veel lager dan 1 is, geeft een ongunstig beeld. Er heeft ophoping van sulfide in het bodemvocht plaatsgevonden, waarschijnlijk veroorzaakt door een zeer hoge aanvoer van sulfaat in het oppervlaktewater in combinatie met de lage beschikbaarheid van ijzer. Onder anaerobe condities ontstaan FeS_x verbindingen, waardoor fosfaat vrijkomt in de bodem en diffundeert naar het bodemvocht. Van daaruit kan het gemakkelijk naar de waterlaag verdwijnen en daar eutrofiëring veroorzaken. Indien er, nadat al het ijzer bezet is met zwavel, nog steeds sulfaat wordt aangevoerd, gaat er ophoping van sulfide plaatsvinden. Sulfidewaarden hoger dan $10 \mu\text{mol/l}$ zijn giftig voor een aantal gevoelige waterplanten. Overigens is de sulfideconcentratie op locatie 1, 2 en 3, waar een venige ondergrond aanwezig is, het hoogst. De ammoniumconcentratie in het bodemvocht is ook hoog.

Tabel 3.22: Bodemvochtmetingen in het slib van de Ackerdijkse plassen. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1, 2, 3	7,48	1,75	100,61	85,22	63,97	513,46	1919,24	4,32	0,00	339,60	0,05
s.e.m. 1, 2, 3	0,05	0,13	15,36	6,68	3,95	51,55	8,82	1,77	0,00	15,42	0,03
4	7,63	1,14	2,11	36,29	35,44	1408,17	2057,39	1,77	0,00	138,17	0,05
5	7,67	1,49	31,37	101,13	101,00	916,74	2040,17	3,09	0,00	165,52	0,03
6	7,62	1,49	53,81	114,85	96,69	770,81	2076,85	3,68	0,00	243,80	0,03
7	7,53	1,37	1,13	36,58	35,75	1065,17	1938,37	4,02	2,51	289,78	0,11
8	8,44	7,22	2,31	240,39	128,09	1048,96	9590,82	17,03	0,00	403,76	0,07

Het oppervlaktewater van de Ackerdijkse plassen (locatie 1, 2 en 3) bevat extreem hoge fosfaatgehalten (tabel 3.23). Deze hoge concentratie wordt vermoedelijk veroorzaakt door de grote kolonie aalscholvers die aanwezig is in het gebied. Tevens is sprake van een extreem hoge concentratie zwavel in het oppervlaktewater, waardoor onder anaerobe omstandigheden fosfaat gemobiliseerd wordt (terug te zien aan hoge P-concentraties in het bodemvocht).. Locatie 4 is een ander type oppervlaktewater met een hogere alkaliniteit, en lage sulfaatwaarden. Fosfaat is beduidend lager dan in de plassen, maar nog steeds erg hoog. Vanaf $1-2 \mu\text{mol/l}$ is er immers al verhoogde kans op algenbloei. Opgemerkt dient echter te worden, dat het waterpeil in de sloot behoorlijk laag stond ten tijde van de bemonstering.

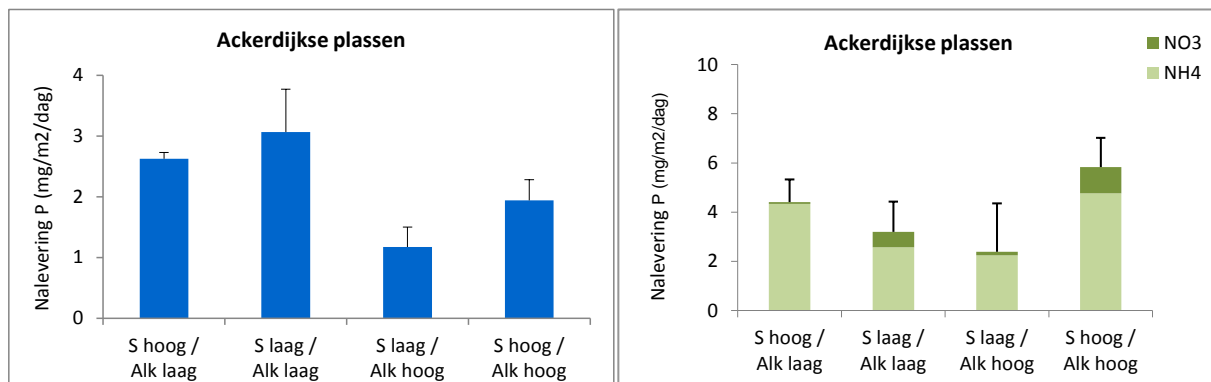
Oppervlaktewatermonsters van het water bij het inlaatpunt van de Ackerdijkse plassen blijken lagere concentraties aan P te bevatten (ongeveer $19 \mu\text{mol/l}$, nog steeds minstens een factor 10 te hoog) en dit water is dus minder eutroof dan het water in de Ackerdijkse plassen. Er wordt op dit moment echter vanuit de Schie geen water ingelaten omdat het water te veel PAK's en bestrijdingsmiddelen (met name imidacloprid) zou bevatten (pers. Mededeling Y. Tolman). De extreem hoge fosfaatconcentratie in het gebied is dus zeer waarschijnlijk een gevolg van guanotrofiëring (vogelmest) en een hoge mobilisatie uit de bodem (mogelijk ook afkomstig van andere bronnen in het verleden).

Tabel 3.23: Oppervlaktewatermetingen in de Akerdijkse plassen waarbij de alkaliniteit is gegeven in meq/l, en de overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

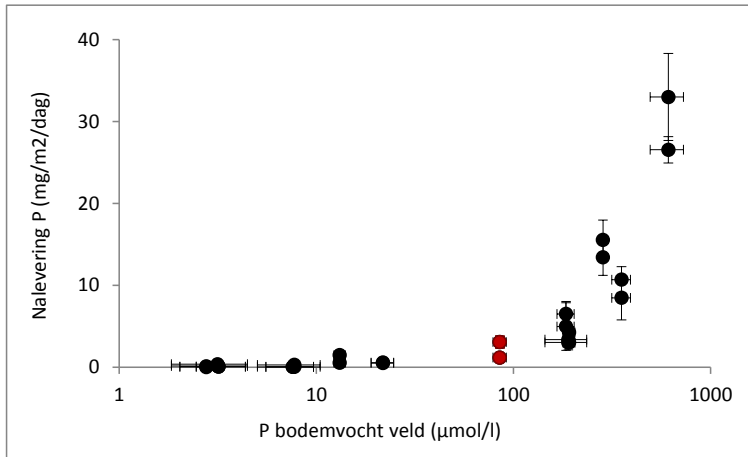
	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	7,92	1,19	88,70	85,0	1400,37	2077,59	0,08	1,8	17,1
2	8,09	1,07	88,09	71,2	1410,04	2136,98	0,10	0,5	3,5
3	7,80	1,04	98,42	94,7	1464,61	2172,65	0,06	0,3	9,1
4	7,68	2,19	43,43	34,7	192,02	2891,72	3,73	0,1	13,0

Ondanks de behoorlijk sprekende resultaten van voornamelijk het bodemvocht, is de nalevering van P in de cilindres wel relatief hoog, maar niet extreem hoog (figuur 3.43). Dit is opvallend, gezien de negatieve Fe-S/P ratio in de bodem, en een Fe/P ratio in het bodemvocht die veel lager ligt dan 1 (grenswaarde waarbij nalevering over het algemeen sterk toeneemt). Locaties die eenzelfde beeld geven op basis van de verkregen ratio's uit de onderwaterbodems en het bijbehorende bodemvocht, laten een vele malen hogere fosfaatnalevering zien. Een deel hiervan is te verklaren door de wijze waarop het gebonden is. In de figuur waarin de verschillende fosfaatfracties worden gegeven (figuur 3.4) is te zien dat het grootste deel (gemiddeld 57%) van het fosfaat aan het organisch materiaal gebonden is. Dit is, zolang de alkaliniteit van het oppervlaktewater en bodemvocht laag blijft, een gunstige situatie. Zodra deze gaat stijgen, wordt de afbraak gestimuleerd en zal ook het organisch gebonden fosfaat vrijkomen. De P-mobilisatie wordt niet gestimuleerd door extra sulfaat in de waterlaag, wat verklaarbaar is door de relatief lage beschikbaarheid van aan Fe gebonden P.

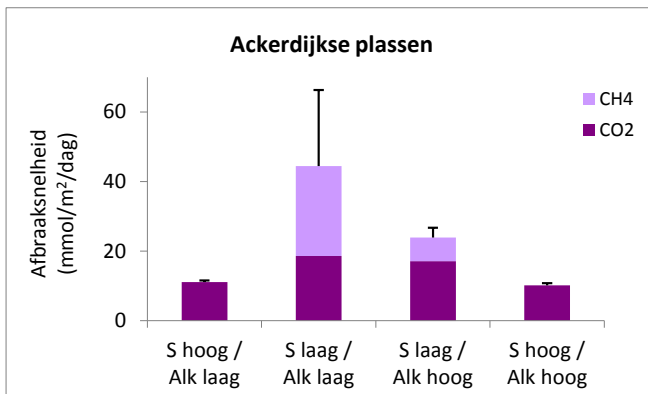
De nalevering van N is laag, net als de afbraaksnelheid (figuur 3.44 en 3.45). Onder lage S concentraties neemt de methaanuitstoot echter sterk toe (sulfaat remt vaak methaanproductie).



Figuur 3.43: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in $\text{mg/m}^2/\text{dag}$ van de bodems van de Akerdijkse plassen onder invloed van vier verschillende oppervlaktewater-behandelingen.

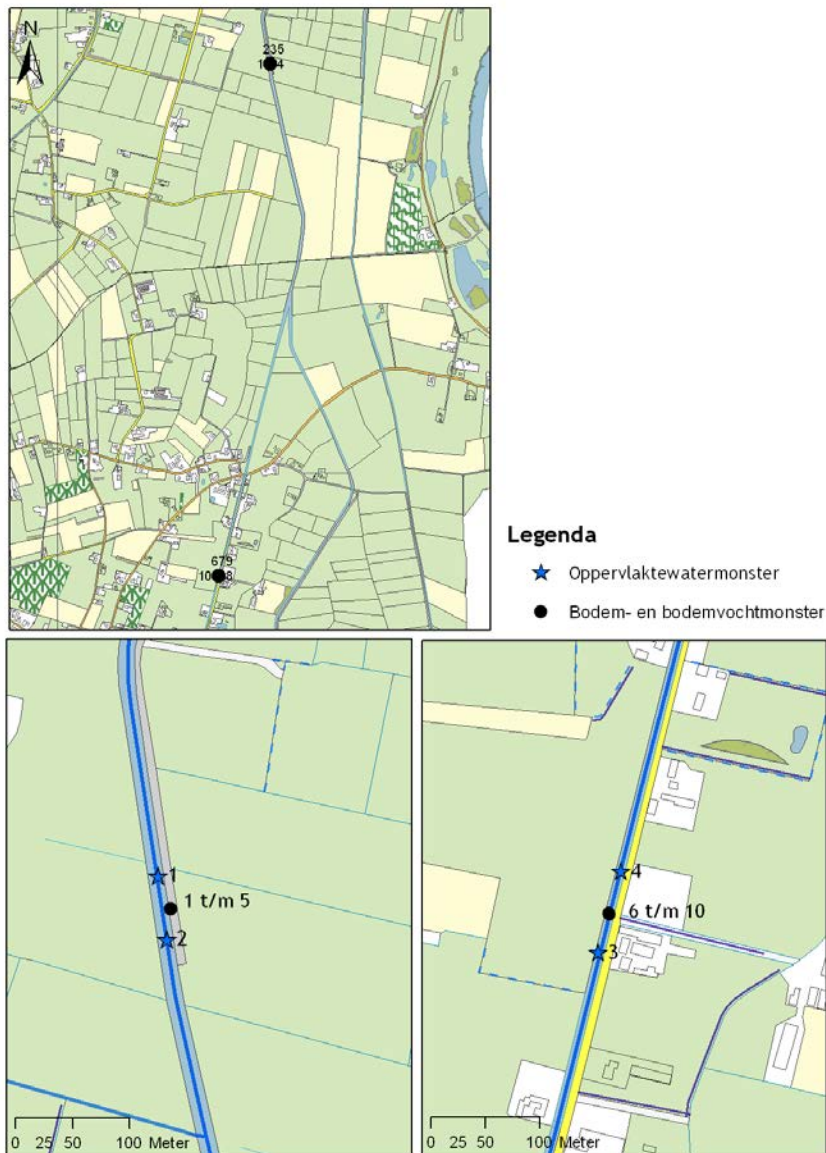


Figuur 3.44: Correlatie tussen de nalevering van P uit de cilinderexperimenten en P in het bodemvocht van de onderwaterbodems. De rode punten vertegenwoordigen de bodems uit de Ackerdijkse plassen.



Figuur 3.45: De afbraaksnelheid in mmol C/m²/dag van de bodems van de Ackerdijkse plassen onder invloed van vier verschillende oppervlaktewaterbehandelingen.

Grote wetering



Figuur 3.46: Ligging van de bemonsterde locaties voor oppervlaktewater en bodem in de Grote Wetering (uitgevoerd op 06-07-2010).

De onderwaterbodem van de grote wetering was voornamelijk kleilig ter plaatse van locatie 1 t/m 5 (waar ook de cilinders zijn gestoken) en voornamelijk zandig op locatie 6 t/m 10. De bodems vertoonden in het veld wel heterogeniteit qua samenstelling. De bodems op beide locaties bevatten weinig organisch materiaal (zie tabel 3.24), het percentage calciumcarbonaten is in het kleideel hoger dan in het zandige deel. Totaal calcium en totaal ijzer zijn hoog ten opzichte van fosfaat en zwavel. Op locatie 1 t/m 5 bevat de bodem een wat hoger zwavelgehalte, maar totaal fosfaat is op deze locatie lager. Indien men kijkt naar de ratio's aan de rechterkant van tabel 3.24 ziet het er gunstig uit. In het veld is dan ook een redelijke groei aan onderwaterplanten geconstateerd, op beide locaties.

Tabel 3.24: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van de Grote Wetering in mmol/L verse bodem tenzij anders aangegeven, ratio's in mol/mol.

	% org.stof	% vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1 t/m 5	1,8	35,6	1,01	7,8	178	153	7	37	22,9	4,2	17,0
s.e.m. 1 t/m 5	0,1	3,4	0,11	0,4	31	23	1	6	2,7	0,4	1,5
6	6,2	67,4	0,38	2,2	169	193	16	17	11,9	11,6	10,9
7	4,2	49,6	0,65	5,3	206	153	13	9	12,2	17,3	11,5
8	4,7	63,3	0,41	2,7	126	142	12	7	11,9	19,0	11,3
9	7,0	78,1	0,19	4,9	104	117	10	5	11,4	25,7	11,0
10	5,2	68,4	0,37	2,8	162	178	14	7	12,4	25,6	12,0

De alkaliniteit van het bodemvocht is redelijk laag en de concentratie sulfide is laag (tabel 3.25). Fosfaat in het bodemvocht is wel wat hoog, maar doordat ijzer ook hoog is, kan het fosfaat vastgelegd worden en worden eutrofe omstandigheden voorkomen. Het gehalte zwavel is over het algemeen laag, aansluitend bij de lage zwavelgehalten van het oppervlaktewater. Het bodemvocht van 6 t/m 10 (op één locatie verzameld) laat onderlinge verschillen zien. Locatie 6 en 7 bevatten meer fosfaat in het bodemvocht, maar daar is ook een hogere concentratie ijzer aanwezig. Locatie 8, 9 en 10 bevatten minder fosfaat, maar ook minder ijzer. In alle locaties is de Fe/P ratio in het bodemvocht meer dan 10, hetgeen een gunstige situatie biedt.

Tabel 3.25: Bodemvochtmetingen in het slib van de Grote Wetering. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in µmol/l.

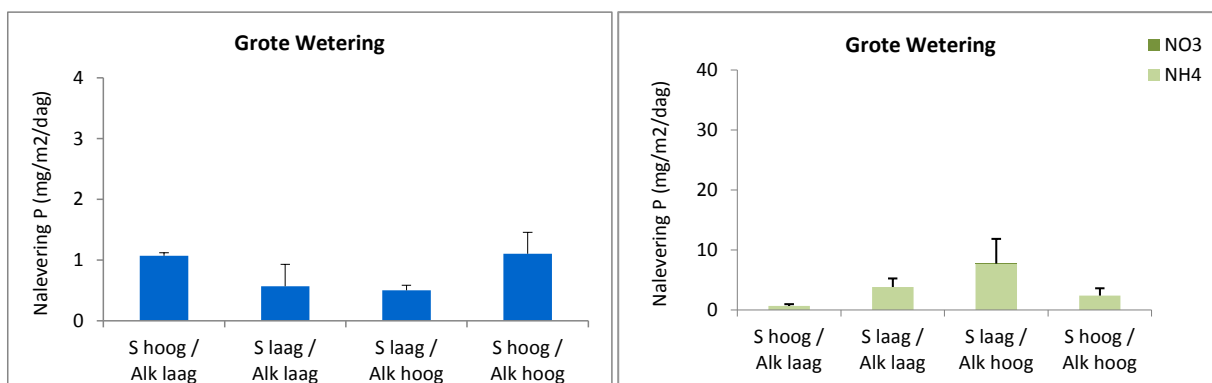
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1 t/m 5	7,54	1,46	1,94	21,78	4,78	153,81	1778,94	92,42	0,23	109,27	3,94
s.e.m. 1 t/m 5	0,06	0,16	0,90	2,85	0,51	34,84	91,98	26,20	0,04	18,40	0,84
6	7,50	1,62	0,19	19,64	2,06	124,38	2081,84	215,22	0,10	269,38	10,96
7	7,40	1,73	0,04	13,67	1,30	140,88	1933,88	152,91	0,89	196,78	11,18
8	7,58	0,90	0,05	9,25	2,09	219,21	1368,26	38,55	0,50	58,85	4,17
9	7,48	1,48	0,08	6,99	1,20	250,92	1752,25	82,36	2,07	89,75	11,78
10	7,68	1,10	0,05	3,76	1,33	259,40	1575,85	21,49	0,37	51,39	5,71

Het oppervlaktewater van de Grote Wetering, gegeven in tabel 3.26, heeft een alkaliniteit van 0,9 - 1,3 meq/l) en bevat relatief lage fosfaatconcentraties. De kwaliteit van het oppervlaktewater is redelijk goed en er lijkt geen instroom van nitraat- en of sulfaatrijk water te zijn. Bovendien is het water helder en is de onderwatervegetatie redelijk ontwikkeld.

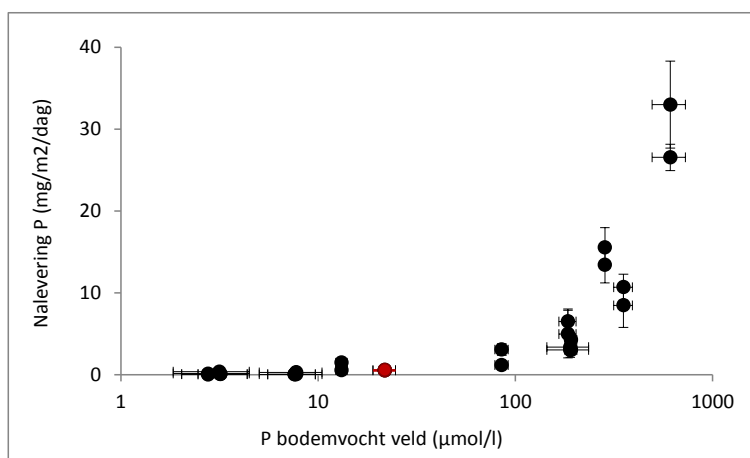
Tabel 3.26: Oppervlaktewatermetingen in de Grote Wetering waarbij de alkaliniteit is gegeven in meq/l, en de overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	7,87	0,99	1,99	0,60	292,86	1657,68	3,37	3,11	17,07
2	7,79	1,31	1,92	0,75	280,11	1586,08	3,28	2,31	18,69
3	7,84	0,90	1,50	0,52	259,37	1360,03	2,66	2,25	12,83
4	7,76	1,16	1,58	0,49	248,77	1317,12	2,67	2,23	11,75

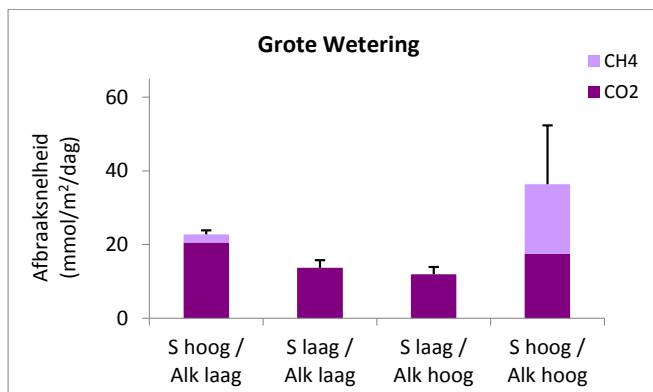
De P-nalevering van de onderwaterbodems van de Grote Wetering is met ongeveer $1 \text{ mg/m}^2/\text{dag}$ relatief laag (figuur 3.47). Het is echter wel belangrijk, zeker gezien de grote fractie fosfaat die aan ijzer en aluminium gebonden is (circa 60% in het geval van het kleitraject), dat er geen sterke sulfaatverrijking plaatsvindt. Deze fractie kan gemobiliseerd worden onder invloed van dit type water en daarmee gepaard gaande redoxveranderingen. Hetzelfde geldt voor het zandige traject, ook al zijn daar geen naleveringsexperimenten uitgevoerd. Circa 80% van het fosfaat in deze bodems is aan ijzer en aluminium gebonden. Bij de huidige Fe/P verhoudingen blijkt sulfaat geen (duidelijk) effect te hebben, net als een verhoogde alkaliniteit. De N-nalevering is laag, maar de afbraaksnelheid is vrij hoog voor de lage organisch-stofpercentages (figuur 3.49).



Figuur 3.47: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in $\text{mg/m}^2/\text{dag}$ van de bodems van de Grote Wetering onder invloed van vier verschillende oppervlaktewater-behandelingen.

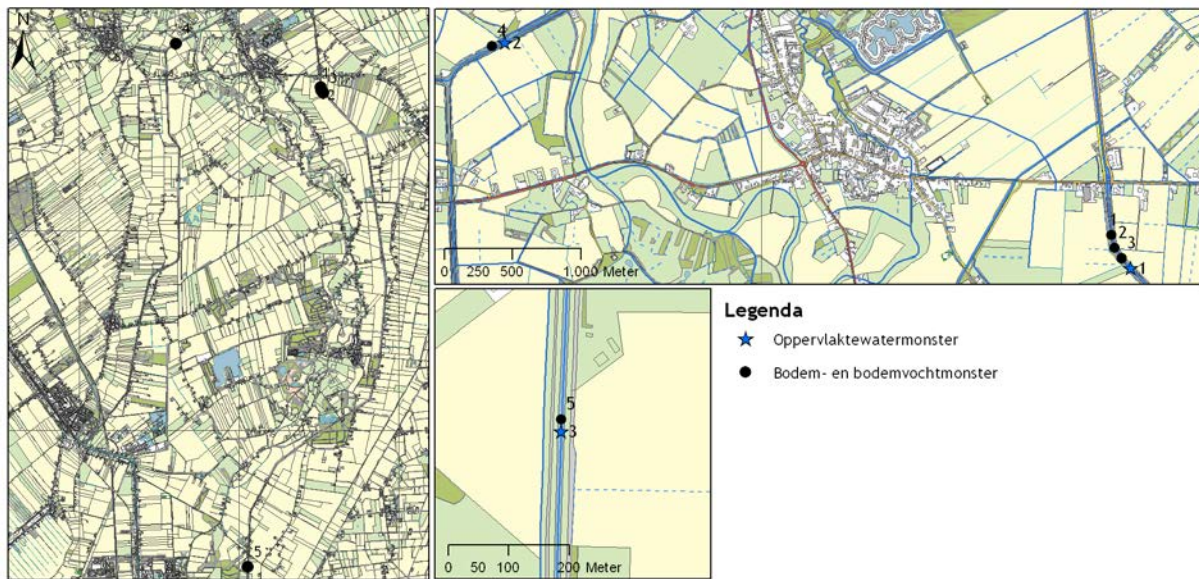


Figuur 3.48: Correlatie tussen de nalevering van P uit de cilinderexperimenten en P in het bodemvocht van de onderwaterbodems. De rode punten vertegenwoordigen de bodems uit de Grote Wetering.



Figuur 3.49: De afbraaksnelheid in mmol C/m²/dag van de bodems van de Grote Wetering onder invloed van vier verschillende oppervlaktewaterbehandelingen.

Kanalen Westerwolde



Figuur 3.50: Ligging van de bemonsterde locaties voor oppervlaktewater en bodem in de kanalen Westerwolde (uitgevoerd op 14-07-2010).

De bodem van de kanalen in Westerwolde bevatten over het algemeen slechts een klein laagje zandig slib (zie ook de hoge bulk density van het bodemmateriaal; tabel 3.27) en een laag gehalte organisch stof. Het bodemmateriaal dat hier verzameld is, is zandig. Het fosfaatgehalte van de onderwaterbodem varieert nogal: van 6 mmol/liter verse bodem op locatie 1, 2 en 3 tot 17 mmol op locatie 4. Het ijzergehalte varieert mee: op locatie 4 is de concentratie ijzer vele malen hoger dan op locatie 1, 2 en 3. De concentratie zwavel in de bodem is laag, hetgeen gunstig is voor de beschikbaarheid van ijzer voor binding aan fosfaat. De kans op mobilisatie van fosfaat is gering wanneer de (Fe-S)/P ratio veel hoger dan 1 ligt en dat is in de onderwaterbodem van kanalen Westerwolde op alle locaties het geval. De totaal Fe/P ratio ligt ver boven de 10.

Tabel 3.27: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van de Kanalen Westerwolde in mmol/L verse bodem tenzij anders aangegeven, ratio's in mol/mol.

	% org.stof	% vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1, 2, 3	2,6	40,0	0,91	10,1	30	95	6	30	17,1	3,2	11,6
s.e.m. 1, 2, 3	0,2	2,1	0,09	0,2	1	4	0	4	0,9	0,3	0,4
4	3,5	44,6	0,87	7,9	34	358	17	61	21,0	5,9	17,4
5	0,9	20,6	1,36	11,2	15	65	7	10	8,8	6,4	7,4

De alkaliniteit van het bodemvocht in de kanalen Westerwolde is maximaal 1,2 en dus gemiddeld (tabel 3.28). Fosfaat in het bodemvocht is laag en er is ook veel opgelost ijzer aanwezig, waardoor fosfaat geïmmobiliseerd kan worden. Opvallend is dat slechts 10% van het opgeloste totaal P in de vorm van fosfaat aanwezig is. De ijzer/fosfaat ratio is zeer gunstig; er is ruim voldoende ijzer om het fosfaat vast te leggen. De ammoniumconcentratie is verhoogd.

Tabel 3.28: Bodemvochtmetingen in het slib van de Kanalen Westerwolde. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

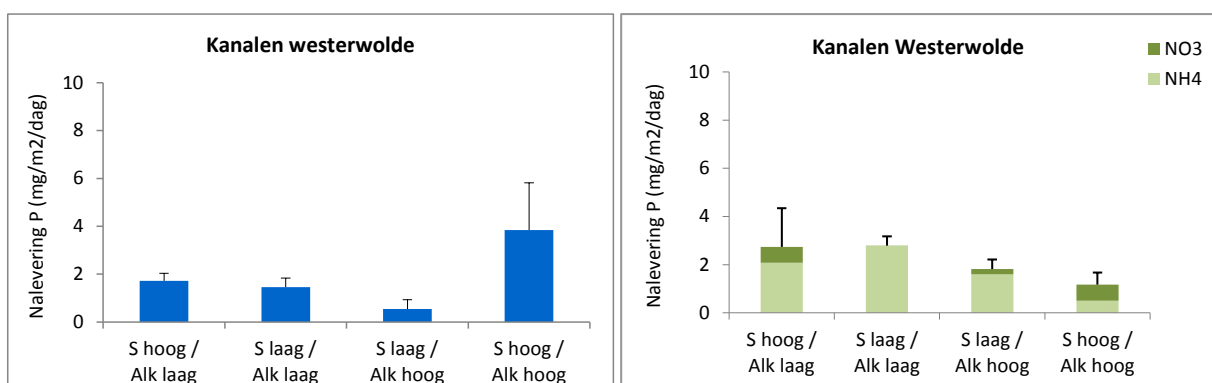
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1, 2, 3	7,26	1,14	0,06	13,14	1,53	168,68	1307,97	147,88	1,18	146,47	11,35
s.e.m. 1, 2, 3	0,06	0,07	0,02	0,85	0,15	100,89	40,33	6,96	0,85	11,32	0,87
4	7,32	1,22	0,07	7,74	0,53	405,68	1228,29	231,15	0,00	126,43	29,85
5	7,71	0,96	0,03	6,88	1,68	359,53	948,85	40,90	7,66	159,98	5,94

Het oppervlaktewater in de kanalen Westerwolde heeft een alkaliniteit onder de 1 mmol/l met een matig hoge concentratie PO₄ (bij een concentratie hoger dan 1 $\mu\text{mol/l}$ wordt algenbloei gestimuleerd). Het sulfaatgehalte van het oppervlaktewater (zie tabel 3.29) is verhoogd en opvallend genoeg is de concentratie ijzer ook redelijk hoog op locatie 2 en 3. Nitraat en ammonium zijn beide niet erg hoog.

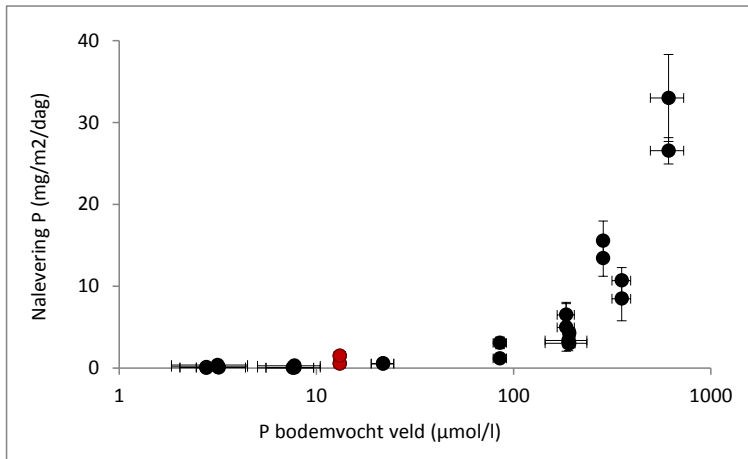
Tabel 3.29: Oppervlaktewatermetingen in de Kanalen Westerwolde waarbij de alkaliniteit is gegeven in meq/l, en de overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	8,03	0,71	2,35	1,1	482,38	1192,37	8,36	11,4	12,3
2	7,20	0,81	2,40	0,4	412,22	1105,04	36,17	35,4	18,0
3	7,35	0,78	2,77	1,5	461,49	1161,18	10,57	31,5	21,1

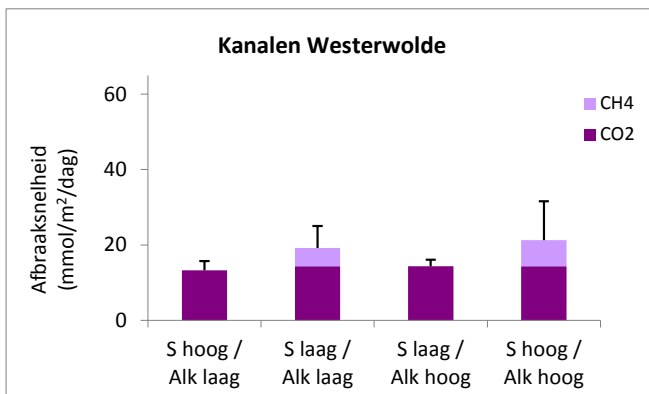
De P-mobilisatie is relatief laag, en lijkt niet beïnvloed te worden door verhoogde alkaliniteit of sulfaatconcentratie. De hoog S / hoge alkaliniteit behandeling heeft een grote spreiding. N-nalevering is laag, de afbraaksnelheid relatief hoog voor een zandbodem. De figuren 3.51 t/m 3.53 geven meer inzicht in het bovenstaande.



Figuur 3.51: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in $\text{mg/m}^2/\text{dag}$ van de bodems van de Kanalen Westerwolde onder invloed van vier verschillende oppervlaktewater-behandelingen.

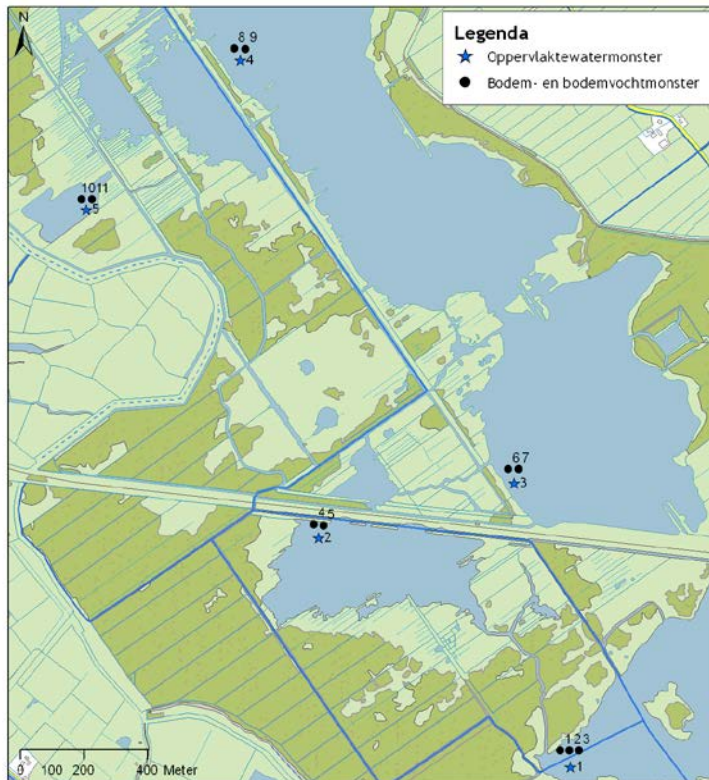


Figuur 3.52: Correlatie tussen de nalevering van P uit de cilinderexperimenten en P in het bodemvocht van de onderwaterbodems. De rode punten vertegenwoordigen de bodems uit de Kanalen Westerwolde.



Figuur 3.53: De afbraaksnelheid in mmol C/m²/dag van de bodems van Kanalen Westerwolde onder invloed van vier verschillende oppervlaktewaterbehandelingen.

Naardermeer



Figuur 3.54: Ligging van de bemonsterde locaties voor oppervlaktewater en bodem in het Naardermeer (uitgevoerd op 23-06-2010).

De bodem van het Naardermeer bestaat uit weinig materiaal met een sliblaag van circa 15 tot 20 centimeter dikte. Het organisch stofgehalte varieert tussen 33 en 85 % (tabel 3.30) en ook het vochtgehalte is zeer hoog. De bodem bevat weinig P per liter, maar voor laagveenbodems is dit relatief hoog.. De concentratie zwavel is op de meeste locaties echter ongeveer 2x zo hoog als de concentratie ijzer. Dit zorgt voor de negatieve (Fe-S)/P ratio. Het is daardoor aannemelijk dat het grootste deel van de ijzervoorraad wordt bezet door zwavel, waardoor weinig bindingsplaatsen voor P aanwezig zijn. Bij een verandering van de zuurstofcondities, zou het dus kunnen dat fosfaat vrijkomt en eutrofiëring veroorzaakt. De wijze waarop het weinige fosfaat gebonden is echter gunstig. Organisch gebonden fosfaat omvat in het Naardermeer het grootste deel en wordt veel minder gemakkelijk gemobiliseerd bij verslechterende omstandigheden als anaërobie en toename van sulfaat.

Tabel 3.30: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van het Naardermeer in mmol/L verse bodem tenzij anders aangegeven, ratio's in mol/mol.

	% org.stof	% vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1, 2, 3	38,8	90,6	0,10	9,4	265	31	4	66	7,8	0,5	-9,0
s.e.m. 1, 2, 3	2,5	1,4	0,02	0,5	42	5	0	13	0,7	0,0	1,1
4	33,3	86,6	0,13	7,3	200	61	3	126	22,0	0,5	-23,6
5	58,6	78,1	0,25	10,3	142	78	5	165	14,8	0,5	-16,5
6	42,1	88,8	0,11	7,5	62	40	3	78	14,5	0,5	-14,2
7	42,4	88,1	0,13	7,5	97	43	3	89	16,7	0,5	-17,4
8	33,8	93,0	0,06	6,0	37	28	1	52	22,2	0,5	-18,6
9	68,3	90,4	0,09	6,2	47	42	2	75	21,9	0,6	-17,4
10	85,6	86,0	0,15	7,6	51	38	3	105	12,6	0,4	-22,1
11	83,2	84,9	0,15	9,7	50	36	3	93	11,6	0,4	-18,2

Het bodemvocht heeft een alkaliniteit die over het algemeen lager is dan 2 en soms lager dan 1 meq/l (tabel 3.31). Sulfide is voornamelijk op locatie 4 en 5 (duplo van dezelfde locatie) wat verhoogd. Fosfaat is over het algemeen niet hoog, maar ook ijzer in het bodemvocht is niet in grote mate aanwezig. De locatie 1, 2 en 3 (locatie waar de cilinders gestoken zijn) is wat betreft de verhouding tussen ijzer en fosfaat nog redelijk gunstig. Locatie 8 en 9 laten wisselende resultaten zien, maar ook op deze locaties is de verhouding tussen ijzer en fosfaat niet ongunstig. De overige locaties hebben echter een Fe/P ratio kleiner dan 1 en daarmee verhoogde kans op fosfaatnalevering. Daarnaast is zwavel ook niet bepaald laag in het bodemvocht van het Naardermeer. Ammonium is bovendien ook verhoogd op de ijzerarme locaties (4, 5, 6, 7, 10 en 11). De concentraties in het bodemvocht zijn niet geheel gunstig, dus ondanks de goed ontwikkelde staat van het Naardermeer, is het van belang de condities in het veld goed in de gaten te houden.

Tabel 3.31: Bodemvochtmetingen in het slib van het Naardermeer. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in µmol/l.

	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1, 2, 3	7,06	1,28	0,43	7,74	2,91	429,62	1899,78	16,53	0,52	84,54	2,88
s.e.m. 1, 2, 3	0,06	0,14	0,28	2,72	1,31	101,65	34,80	6,56	0,15	8,37	1,16
4	7,32	1,20	5,20	5,10	2,61	235,20	1459,58	0,63	1,56	185,84	0,12
5	7,29	1,80	7,78	9,61	6,08	223,45	1289,92	0,74	12,49	241,56	0,08
6	7,33	0,64	1,43	4,78	2,78	345,18	1482,29	1,06	0,15	193,31	0,22
7	7,53	2,05	0,95	6,10	3,19	473,96	1472,80	0,60	0,17	139,26	0,10
8	7,16	0,76	1,82	4,50	0,13	216,21	1866,02	16,09	0,14	46,37	3,58
9	7,43	1,83	0,24	1,63	1,00	512,63	1634,23	1,60	0,20	14,08	0,98
10	7,26	0,99	1,68	10,06	7,10	243,65	1524,20	0,74	0,56	303,14	0,07
11	7,44	0,86	0,26	4,12	1,42	321,17	1146,46	0,03	1,87	326,48	0,01

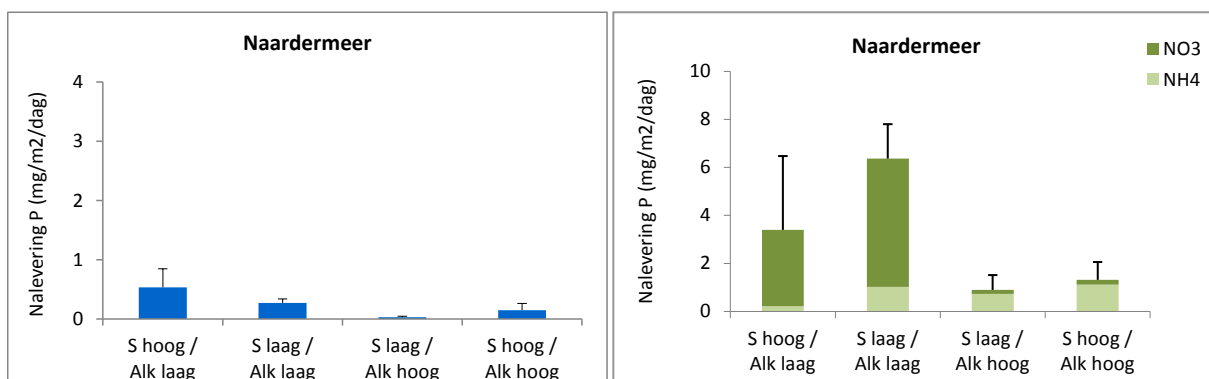
De kwaliteit van het oppervlaktewater (te vinden in tabel 3.32) is daarentegen gunstiger. De alkaliniteit is laag en ook ortho-fosfaat in het water is gunstig. De veelvuldige groei van onderwaterplanten (gemiddelde waterdiepte bedraagt 80 centimeter), waaronder veel kranswieren, en de helderheid van het water is in het veld ook niet onopgemerkt gebleven. De concentratie zwavel in het oppervlaktewater is echter relatief hoog, maar door de wijze waarop het fosfaat

gebonden zit, is sulfaatreductie en de daarbij horende vorming van ijzersulfiden niet een erg groot gevaar.

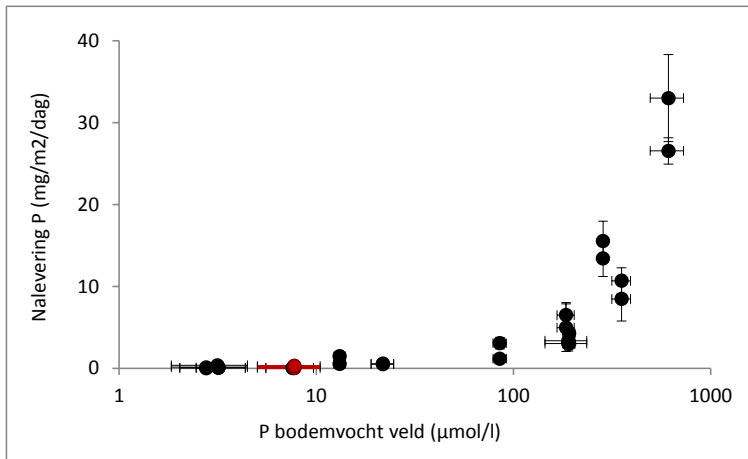
Tabel 3.32: Oppervlaktewatermetingen in het Naardermeer waarbij de alkaliniteit is gegeven in meq/l, en de overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	9,31	0,72	2,09	0,12	309,11	991,77	0,89	0,35	3,61
2	8,51	0,41	1,02	0,22	381,04	1045,41	0,40	0,48	4,82
3	8,23	0,74	1,00	0,37	491,43	1222,31	0,38	0,24	3,45
4	8,62	0,45	0,61	0,28	547,24	1234,28	0,21	0,28	2,22
5	7,83	0,70	0,74	0,19	595,26	1333,08	0,50	0,62	2,89

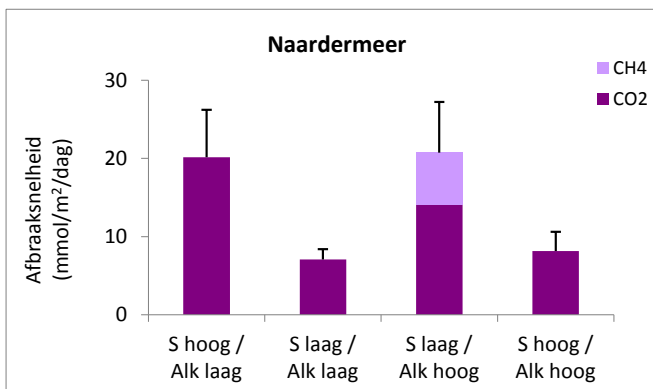
De naleveringsexperimenten van het Naardermeer zijn uitgevoerd met bodem afkomstig van locatie 1, 2 en 3. De gemeten P-nalevering is laag: bij alle vier behandelingen lager dan $1 \text{ mg/m}^2/\text{dag}$ (figuur 3.55). Op deze locatie is de Fe/P ratio in het bodemvocht 2,88, hetgeen aansluit bij de lage nalevering van fosfaat. Overige locaties laten een minder gunstige Fe/P ratio in het bodemvocht zien en daarmee zou beredeneerd kunnen worden dat, indien de cilinderexperimenten op een andere locatie waren toegepast, de nalevering wellicht hoger zou zijn. Wel is op alle locaties in het Naardermeer de organische gebonden fractie het grootst. Sulfaatadditie geeft geen duidelijke veranderingen. De N-nalevering is erg laag, waarbij het lijkt of de denitrificatie onder hogere alkaliniteit hoger is (verdwijnen nitraat). De afbraak laat op het eerste oog een onduidelijk beeld zien. Bij een lage alkaliniteit (zoals in het veld) lijkt sulfaat de afbraak te stimuleren. Bij een hoge alkaliniteit wordt er ook methaan geproduceerd, behalve wanneer het water ook sulfaat bevat (remming methaanproductie).



Figuur 3.55: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in $\text{mg/m}^2/\text{dag}$ van de bodems van het Naardermeer onder invloed van vier verschillende oppervlaktewater-behandelingen.

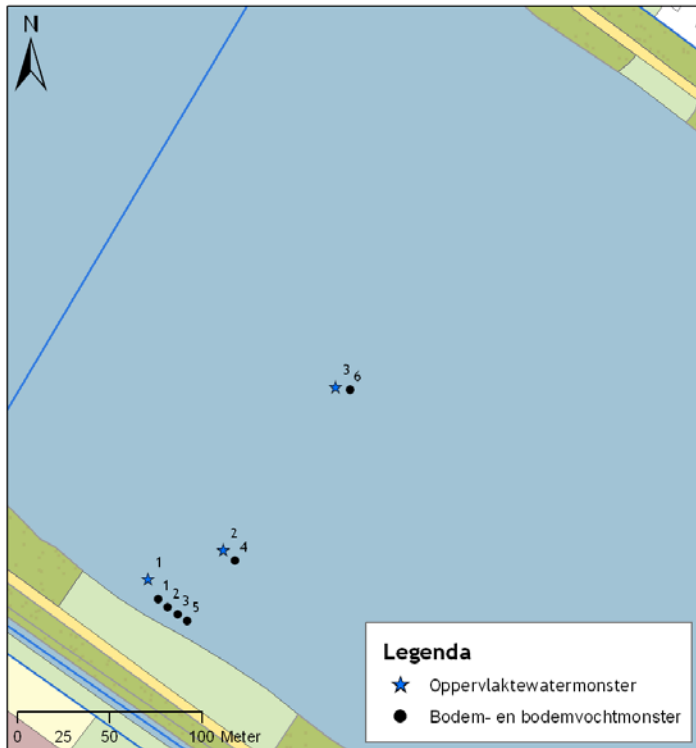


Figuur 3.56: Correlatie tussen de nalevering van P uit de cilinderexperimenten en P in het bodemvocht van de onderwaterbodems. De rode punten vertegenwoordigen de bodems uit het Naardermeer.



Figuur 3.57: De afbraaksnelheid in mmol C/m²/dag van de bodems van het Naardermeer onder invloed van vier verschillende oppervlaktewaterbehandelingen.

Grote Maarsseveense plas



Figuur 3.58: Ligging van de bemonsterde locaties voor oppervlaktewater en bodem in de Grote Maarsseveense plas (uitgevoerd op 22-06-2010).

De onderwaterbodem van de Grote Maarsseveense plas bestaat op alle bemonsterde locaties uit zand, en organisch materiaal is vrijwel afwezig (tabel 3.33). De bodem bevat veel kalk. Zwavel is over het algemeen dusdanig laag dat de ratio's rechts in de tabel er gunstig uit zien. Locatie vier en zes, waar de waterdiepte respectievelijk 10 en 30 meter bedraagt, laten echter een ander beeld zien dan de overige locaties. Op deze locaties is de bodem calcium- en ijzerrijker en ook de concentratie fosfaat is hoger (voornamelijk locatie vier). Duidelijk te zien in tabel 3.33 is ook dat op locatie vier en zes de (Fe-S)/P ratio boven de 10 ligt en daarmee gunstig is. Op locatie zes is alleen een Olsen-extractie en destructie is uitgevoerd (resultaten niet weergegeven). De P-nalevering op deze diepte is gedurende het groeiseizoen echter van minder belang vanwege de spronglaag, waardoor dit P in dit seizoen niet in de fotische zone terecht zal komen.

Tabel 3.33: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van de Grote Maarsseveense plas in mmol/L verse bodem tenzij anders aangegeven, ratio's in mol/mol.

	% org.stof	% vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1, 2, 3	1,9	26,4	1,37	10,3	246	44	3	27	17,1	1,7	6,6
s.e.m. 1, 2, 3	0,6	2,4	0,10	0,0	18	2	0	4	0,6	0,2	1,4
4	2,9	30,7	1,25	22,4	1246	387	19	39	20,8	10,0	18,7
5	1,5	26,8	1,34	10,4	140	34	2	19	13,9	1,8	6,1

Het bodemvocht van de Grote Maarsseveense plas heeft een alkaliniteit van gemiddeld 1,5 meq/l en een zeer lage sulfideconcentratie (tabel 3.34). Fosfaat is overal laag en er is voldoende ijzer aanwezig om het fosfaat vast te leggen. Ammonium is hoog op locatie 1, 2 en 3, terwijl op locatie vier de concentratie vrij laag is.

Tabel 3.34: Bodemvochtmetingen in het slib van de Grote Maarsseveense plas. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in µmol/l.

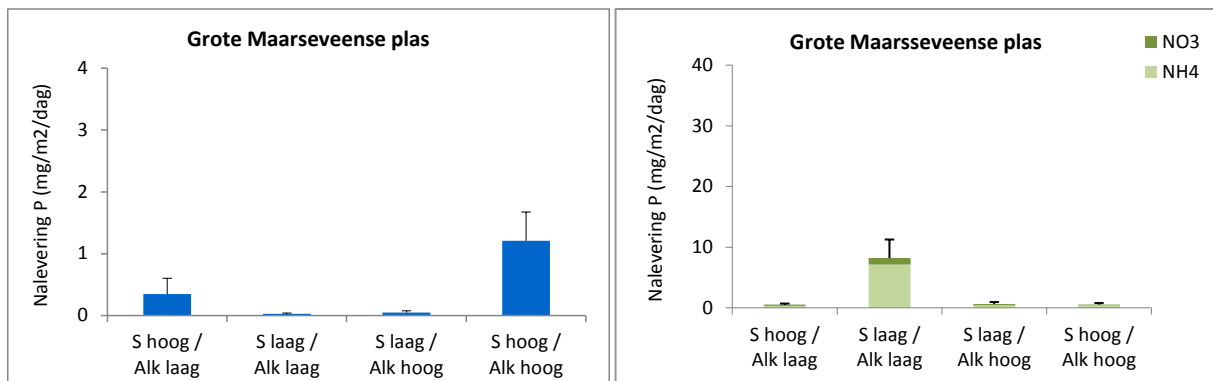
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1, 2, 3	7,76	1,52	0,00	7,61	2,13	130,76	1731,54	50,56	1,75	318,17	7,22
s.e.m. 1, 2, 3	0,05	0,04	0,00	2,07	0,15	43,39	57,27	9,56	0,22	27,81	1,12
4	7,53	1,64	0,00	3,66	1,11	143,47	1751,50	54,88	1,83	80,74	15,00
5	7,79	1,28	0,21	4,06	2,27	288,96	1495,01	27,93	0,99	211,35	6,89

De oppervlaktewaterkwaliteit is gunstig: de alkaliniteit is laag, het PO₄-gehalte is laag en de concentratie sulfaat is ook laag (weergegeven in tabel 3.35). Op basis van een temperatuur- en zuurstofprofiel genomen op locatie 3 leek het erop dat er een spronglaag aanwezig was rond 7 meter. Het water op grotere diepte bleek op het monstertijdstip echter weinig te verschillen van het ondiepe oppervlaktewater (resultaten niet weergegeven).

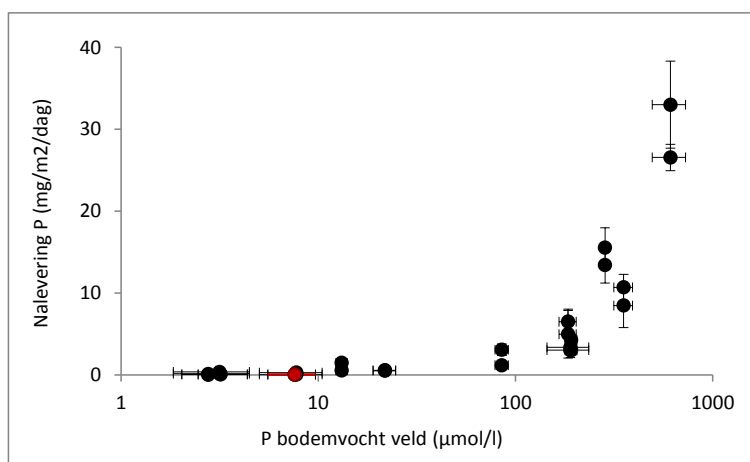
Tabel 3.35: Oppervlaktewatermetingen in de Grote Maarsseveense plas waarbij de alkaliniteit is gegeven in meq/l, en de overige parameters in µmol/l.

	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	8,13	0,69	1,12	0,10	162,99	1559,63	0,20	17,37	4,75
2	8,87	0,61	0,75	0,07	156,03	1571,86	0,33	17,06	5,48
3	8,83	0,74	1,17	0,05	156,91	1580,84	0,38	15,06	4,42

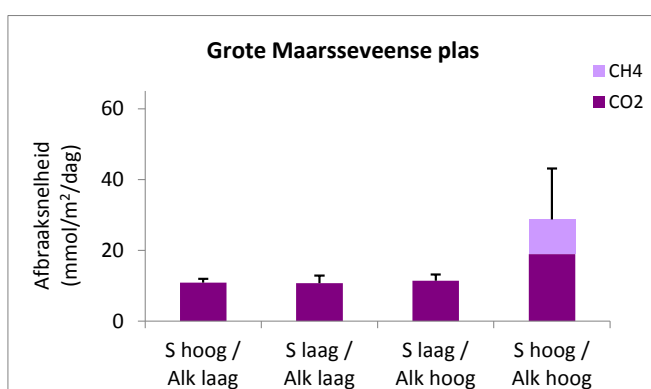
De P-mobilisatie in het ondiepe deel van de plas is zeer laag, wat te verwachten was op grond van de Fe/P ratio. In het diepe deel is de ratio van weinig belang indien het water in het hypolimnion boven de bodem anaëroob wordt. Gemobiliseerd P blijft dan in het diepe gedeelte van de plas. Sulfaatadditie leidt echter tot een sterke toename van de fosfaatmobilisatie (figuur 3.59). De N-mobilisatie is laag, maar de afbraaksnelheid (te vinden in figuur 3.61) is relatief hoog voor een bodem die zo weinig organisch stof bevat.



Figuur 3.59: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in mg/m²/dag van de bodems van de Grote Maarsseveense plas onder invloed van vier verschillende oppervlaktewaterbehandelingen.



Figuur 3.60: Correlatie tussen de nalevering van P uit de cilinderexperimenten en P in het bodemvocht van de onderwaterbodems. De rode punten vertegenwoordigen de bodems uit de Grote Maarsseveense plas.



Figuur 3.61: De afbraaksnelheid in mmol C/m²/dag van de bodems van de Grote Maarsseveense plas onder invloed van vier verschillende oppervlaktewaterbehandelingen.

Slotermeer



Figuur 3.62: Ligging van de bemonsterde locaties voor oppervlaktewater en bodem in het Slotermeer (uitgevoerd op 05-07-2010).

De onderwaterbodem van het Slotermeer bestaat uit zand, een sliblaag is bijna volledig afwezig en er is nauwelijks organisch materiaal aanwezig (tabel 3.36). De plas is circa 110 centimeter diep. Totaal calcium en totaal ijzer zijn beide in lage concentraties aanwezig. Fosfaat is met maximaal 2 mmol/ liter verse bodem extreem laag en daardoor is de Fe/P ratio in de bodem gunstig. Indien zwavel wordt bekeken, verandert het beeld echter. Er is ongeveer evenveel ijzer als zwavel (of zelfs meer zwavel), waardoor er bij bepaalde omstandigheden geen ijzer meer beschikbaar zal zijn om fosfaat te binden. Gunstig hierbij is dat er niet extreem veel fosfaat vrij kan komen, aangezien er in totaal niet veel fosfaat aanwezig is in de bodem.

Tabel 3.36: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van het Slotermeer in mmol/L verse bodem tenzij anders aangegeven, ratio's in mol/mol.

	% org.stof	% vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1, 2, 3	0,4	25,2	1,25	11,9	11	12	1	11	12,2	1,1	0,9
s.e.m. 1, 2, 3	0,0	1,9	0,08	0,0	1	1	0	0	0,4	0,0	0,3
4	1,2	38,0	0,81	11,8	31	32	2	51	18,2	0,6	-10,3
5	0,8	24,2	1,46	11,8	53	26	2	29	11,7	0,9	-1,6

Het bodemvocht van het Slotermeer heeft een relatief lage alkaliniteit en sulfideconcentratie (zie tabel 3.37). Fosfaat is laag, sulfaat daarentegen behoorlijk hoog (voornamelijk op locatie vier). De concentratie ijzer is op locatie 1 t/m 4 laag, op locatie vijf bevat het bodemvocht wat meer ijzer. Ammonium is verhoogd. De (gemiddelde) Fe/P ratio is op alle locaties hoger dan 1. Echter, het bodemvocht van locatie 1, 2 en 3 verschilt onderling behoorlijk. Bij twee van de drie bodemvochtmonsters was de Fe/P ratio wel lager dan 1. Een te lage Fe/P ratio is een indicatie voor

toename van fosfaatsnlevering. In het geval van het Slotermeer zijn de fosfaatconcentraties echter dermate laag dat een hoge fosfaatsnlevering in de huidige toestand mee zal vallen.

Tabel 3.37: Bodemvochtmetingen in het slob van de Haarvaten Westboezem. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

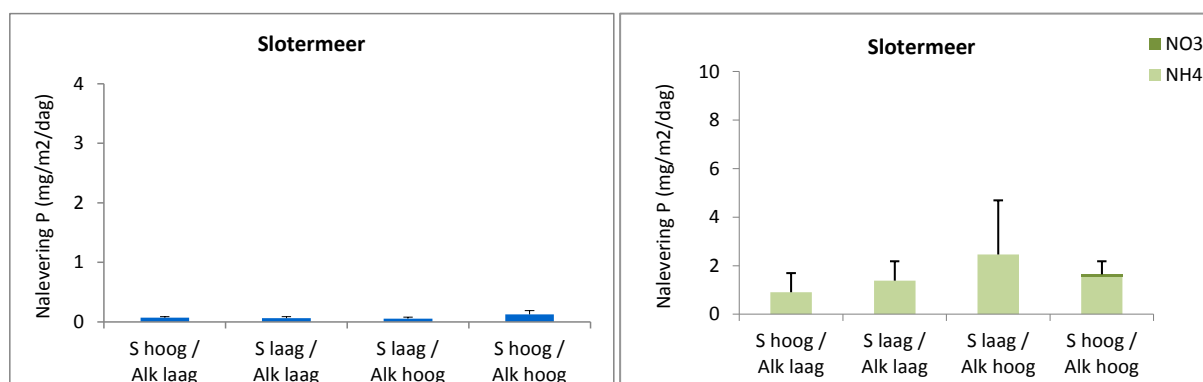
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1, 2, 3	7,82	0,96	0,80	3,20	1,80	458,98	1293,16	2,46	21,83	96,73	1,84
s.e.m. 1, 2, 3	0,11	0,04	0,15	1,16	0,70	104,99	6,51	1,56	13,79	18,42	1,62
4	7,41	0,78	0,43	1,73	0,93	820,39	1433,88	3,43	3,21	131,44	1,98
5	7,45	1,16	0,75	2,55	1,05	414,41	1257,24	17,03	2,28	157,34	6,68

Het oppervlaktewater, gegeven in tabel 3.38, bevat een matig lage fosfaatconcentratie en een lage alkaliniteit. De stikstofconcentraties zijn nagenoeg verwaarloosbaar. Sulfaat is daarentegen in redelijk hoge concentraties vertegenwoordigd (> 500 $\mu\text{mol/l}$). Bij langdurige aanvoer van hoge sulfaatconcentraties kunnen de condities verslechteren en kan fosfaat gemobiliseerd worden. Indien dit gebeurt bij het Slotermeer, zijn het echter slechts lage fosfaatgehalten die vrij kunnen komen en daarmee is het gevaar voor interne eutrofiëring gering.

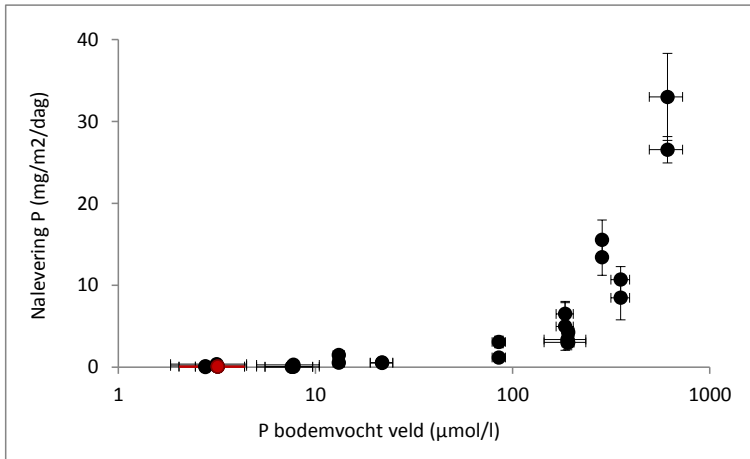
Tabel 3.38: Oppervlaktewaterringen in het Slotermeer waarbij de alkaliniteit is gegeven in meq/l, en de overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

	pH	Alk	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	8,91	0,61	0,59	0,58	537,26	1120,51	0,25	0,44	2,11
2	9,00	0,72	0,91	0,44	597,44	1167,42	0,16	5,88	2,78
3	8,99	0,79	0,68	0,50	589,96	1161,68	0,17	4,50	2,14

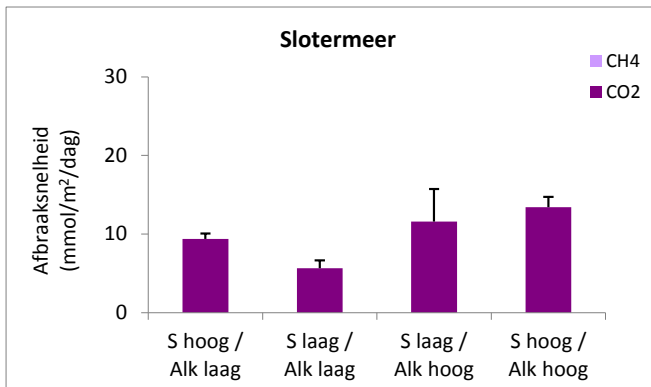
De mobilisatie van P uit de bodem is zeer laag in het Slotermeer, en sulfaat en hardheid lijken geen invloed te hebben op de snelheid. Ook de (netto) N-mobilisatie naar de waterlaag is erg laag. Interne eutrofiëring vanuit de bodem lijkt daarmee verwaarloosbaar op deze locatie. De afbraaksnelheden liggen laag, maar zijn wat hoger dan verwacht voor een zandbodern. Figuren 3.63 t/m 3.65 geven meer inzicht in de afbraaksnelheid en de nalevering van P en N.



Figuur 3.63: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in mg/m²/dag van de bodems van het Slotermeer onder invloed van vier verschillende oppervlaktewaterbehandelingen.

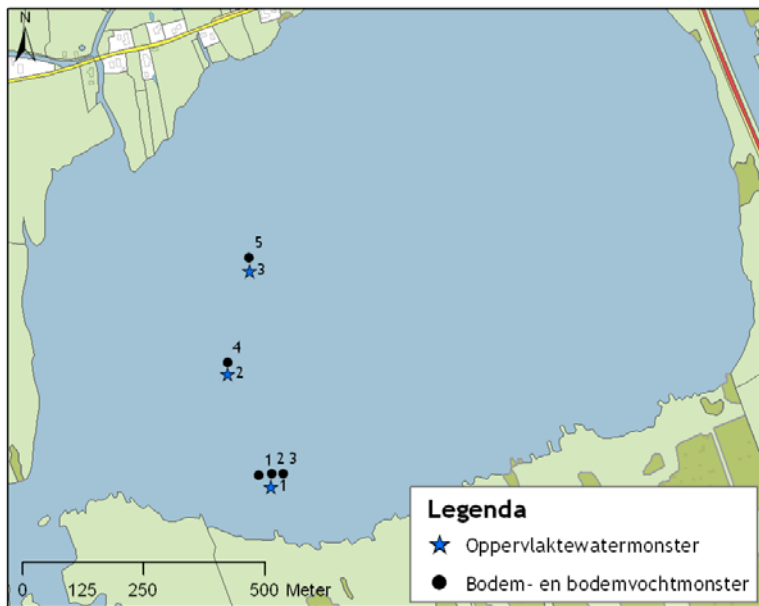


Figuur 3.64: Correlatie tussen de nalevering van P uit de cilinderexperimenten en P in het bodemvocht van de onderwaterbodems. De rode punten vertegenwoordigen de bodems uit het Sloterveer.



Figuur 3.65: De afbraaksnelheid in mmol C/m²/dag van de bodems van het Sloterveer onder invloed van vier verschillende oppervlaktewaterbehandelingen.

Schutsloterwijde



Figuur 3.66: Ligging van de bemonsterde locaties voor oppervlaktewater en bodem in Schutsloterwijde (uitgevoerd op 06-07-2010).

De sliblaag die in Schutsloterwijde is aangetroffen was circa 15 centimeter dik en bestond voor 53 tot 60 % uit organisch materiaal (tabel 3.39). Totaal fosfaat is in relatief lage concentraties aanwezig, ook wanneer rekening wordt gehouden met het feit dat de bulk density laag is (2 tot 3 mmol/liter verse bodem). De concentraties ijzer en de zwavel zijn precies in evenwicht en zijn beiden niet al te hoog. Dit leidt echter wel tot een lage of negatieve (Fe-S)/P ratio. De verhouding tussen ijzer en fosfaat is gunstig, maar indien er meer zwavel in het spel komt, kan de situatie makkelijk veranderen. In dit verband is het overigens wel gunstig dat het fosfaat in de bodem voornamelijk aan organisch materiaal gebonden zit, en minder aan ijzer en aluminium (zie paragraaf 3.1).

Tabel 3.39: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van Schutsloterwijde in mmol/L verse bodem tenzij anders aangegeven, ratio's in mol/mol.

	% org.stof	% vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1, 2, 3	60,7	92,0	0,08	5,8	52	36	2	37	21,8	1,0	-0,3
s.e.m. 1, 2, 3	2,8	0,6	0,01	0,2	6	4	0	5	0,8	0,0	0,9
4	55,0	91,8	0,09	4,6	71	56	3	58	21,9	1,0	-0,8
5	52,9	92,9	0,07	4,7	55	38	2	38	21,2	1,0	0,2

Het bodemvocht van het slib in Schutsloterwilde heeft over het algemeen gunstige kenmerken. Het voornaamste is de hoge Fe/P ratio in het bodemvocht (op alle locaties hoger dan 11, zie tabel 3.40). Ook de overige elementen geven een gunstig beeld. De alkaliniteit en de sulfideconcentraties zijn overal laag. De concentraties van sulfaat en stikstof zijn ook relatief laag.

Tabel 3.40: Bodemvochtmetingen in het slib van Schutsloterwilde. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

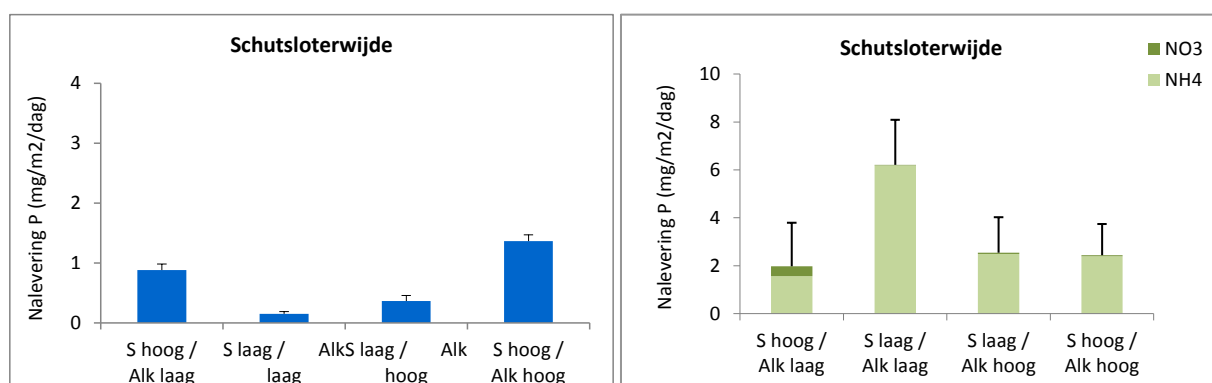
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1, 2, 3	7,40	1,14	0,76	3,15	1,07	84,18	1333,83	30,81	0,58	73,24	11,89
s.e.m. 1, 2, 3	0,03	0,09	0,09	1,31	0,54	17,46	18,48	5,50	0,08	5,93	2,56
4	7,34	1,28	1,43	1,98	0,46	157,06	1382,73	29,35	0,12	83,11	14,80
5	7,54	0,87	1,43	1,12	0,22	184,66	1274,45	25,48	0,24	36,30	22,81

De kwaliteit van het oppervlaktewater (gegeven in tabel 3.41) sluit aan bij de gegevens van het bodemvocht. De concentratie ortho-fosfaat is laag en dat geldt ook voor zwavel. Het stikstofgehalte van het water is ook minimaal. Er zijn, vanuit het oogpunt van het oppervlaktewater, geen problemen te verwachten indien de kwaliteit op dit niveau blijft.

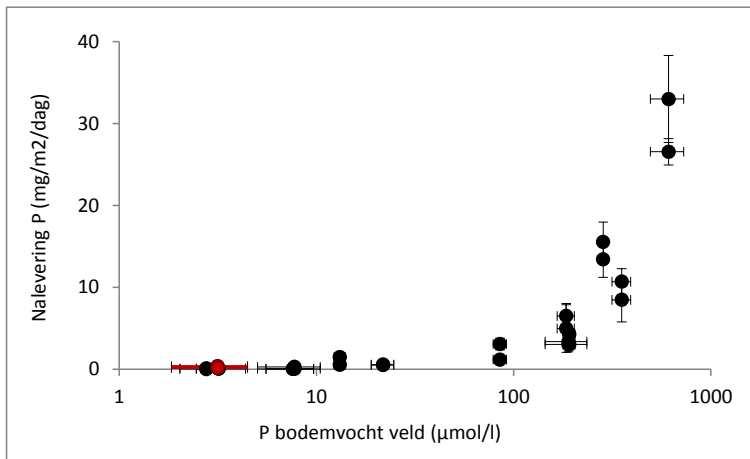
Tabel 3.41: Oppervlaktewatertmetingen in Schutsloterwilde waarbij de alkaliniteit is gegeven in meq/l, en de overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	8,46	1,15	0,73	0,19	157,47	1416,67	0,41	1,40	10,29
2	8,37	0,88	0,57	0,16	152,95	1389,47	0,63	0,87	8,65
3	8,28	1,18	0,68	0,20	140,82	1355,29	0,59	2,49	10,02

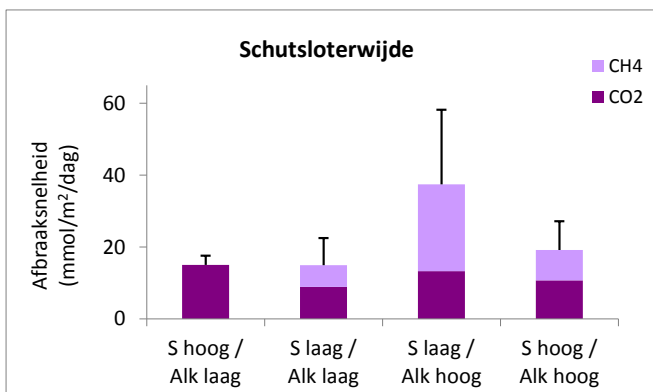
De P-mobilisatie is laag, tenzij het oppervlaktewater sulfaat bevat. Het niveau ligt dan rond 1 mg/m²/d, wat volgens modelvoorspellingen (Janse, 2005) rond het omslagpunt naar troebel kan liggen voor laagveenwateren. Het is dus zaak om de sulfaatconcentratie hier laag te houden. De N-mobilisatie is laag, en de afbraaksnelheid pas bij een Nederlandse veenbodem onder water.



Figuur 3.67: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in mg/m²/dag van de bodems van Schutsloterwilde onder invloed van vier verschillende oppervlaktewater-behandelingen.

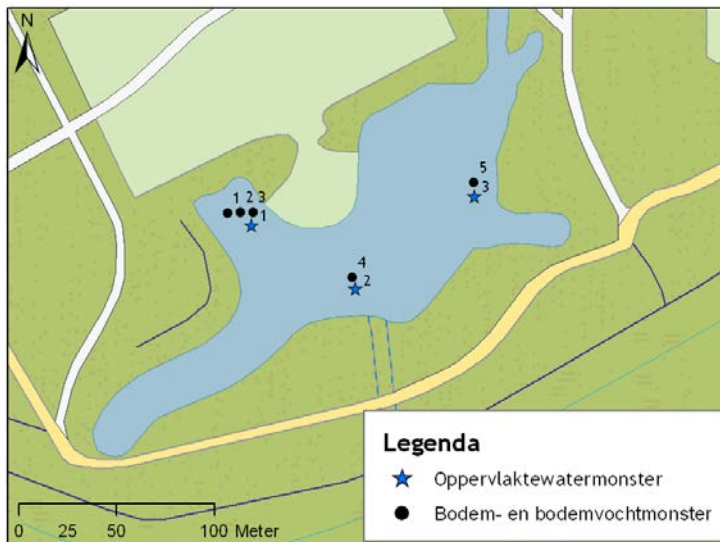


Figuur 3.68: Correlatie tussen de nalevering van P uit de cilinderexperimenten en P in het bodemvocht van de onderwaterbodems. De rode punten vertegenwoordigen de bodems uit Schutsloterwilde.



Figuur 3.69: De afbraaksnelheid in mmol C/m²/dag van de bodems van Schutsloterwilde onder invloed van vier verschillende oppervlaktewaterbehandelingen.

Hoefsven



Figuur 3.70: Ligging van de bemonsterde locaties voor oppervlaktewater en bodem in het Hoefsven (uitgevoerd op 01-07-2010).

De bodem van het Hoefsven bestaat uit zand met een niet al te dikke sliblaag (soms afwezig) met een wisselend organisch stofgehalte van 1 tot 14% (tabel 3.42). Op locatie vier ontbrak de sliblaag, daar bestaat het bodemmonster puur uit zand en is het organisch stofgehalte dan ook het laagst. Totaal calcium en totaal ijzer zijn beide in lage concentraties in de bodem aanwezig. Zwavel is ook niet extreem hoog, maar wel op twee van de drie locaties hoger dan de concentratie ijzer. Dit zou nalevering van fosfaat kunnen veroorzaken op het moment dat al het ijzer aan zwavel gebonden is. Het is in dit geval gunstig dat er extreem weinig P aanwezig is dat gemobiliseerd zou kunnen worden. De bodem van locatie vier heeft een positieve (Fe-S)/P ratio, terwijl de bodem op de overige locaties een negatieve ratio heeft. Dit verschil zou kunnen worden veroorzaakt doordat de sliblaag afwezig is in deze locatie.

Tabel 3.42: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van het Hoefsven in mmol/L verse bodem tenzij anders aangegeven, ratio's in mol/mol.

	% org.stof	% vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1, 2, 3	6,8	65,6	0,39	11,3	10	17	2	21	8,2	0,9	-1,5
s.e.m. 1, 2, 3	2,3	8,3	0,11	0,0	2	4	1	5	0,1	0,0	0,5
4	1,8	41,0	0,88	11,5	13	30	2	21	15,2	1,4	4,5
5	14,4	78,0	0,23	11,1	12	23	3	35	8,9	0,7	-4,3

De alkaliniteit en de concentratie sulfide is in het bodemvocht van het Hoefsven zijn laag. Fosfaat is ook zeer laag en in gunstige verhouding met ijzer, te zien aan de zeer hoge Fe/P ratio's in tabel 3.43. Er is voldoende ijzer om fosfaat vast te leggen en te voorkomen dat fosfaat naar de waterlaag kan diffunderen en daar eutrofiëring kan veroorzaken. Verder zijn calcium en zwavel ook laag in het bodemvocht. Ammonium is echter verhoogd in het bodemvocht.

Tabel 3.43: Bodemvochtmetingen in het slib van het Hoefsvan. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in $\mu\text{mol/l}$ (nr. 4 bevatte te weinig monster om alkaliniteit en sulfide te meten).

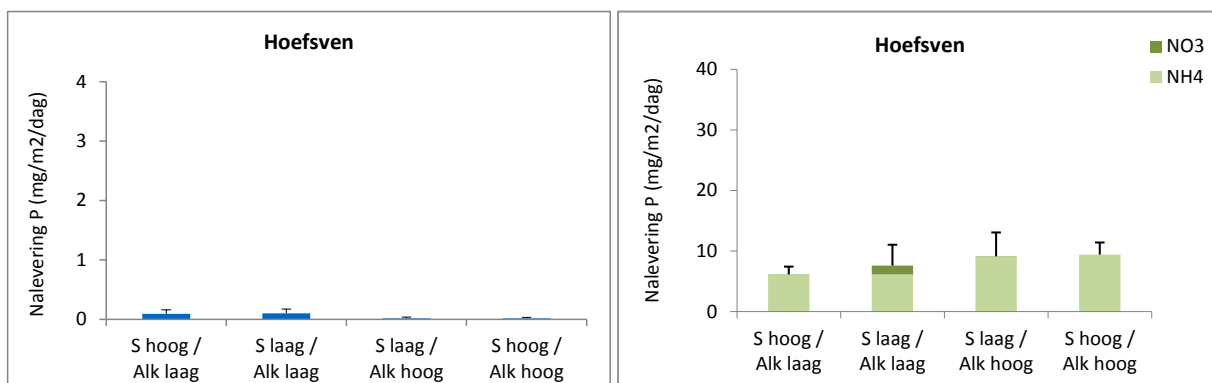
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1, 2, 3	6,75	1,09	1,03	2,76	0,73	97,70	170,75	30,87	1,21	252,12	10,81
s.e.m. 1, 2, 3	0,15	0,29	0,00	0,31	0,07	8,40	21,89	7,66	0,22	42,46	1,63
4	7,26	-	-	2,92	0,77	92,83	172,48	27,47	1,22	213,93	9,41
5	6,49	0,44	0,64	4,45	1,27	68,69	148,40	24,06	0,99	254,18	5,41

Het oppervlaktewater in het Hoefsvan is qua nutriënten van goede kwaliteit en sluit in alle opzichten aan bij de gevonden concentraties in het bodemvocht. De alkaliniteit is laag vergeleken bij de andere locaties, behalve in de baai van monster 1, zie tabel 3.44. Voor een zachtwaterven is de alkaliniteit echter te hoog, zeker op locatie 1. Met name bij N-eutrofiëring belemmert dit de ontwikkeling van zachtwatervegetaties. De aanvoer van sulfaat via het oppervlaktewater is met een gemiddelde concentratie van $150 \mu\text{mol/l}$ ook zeer gering.

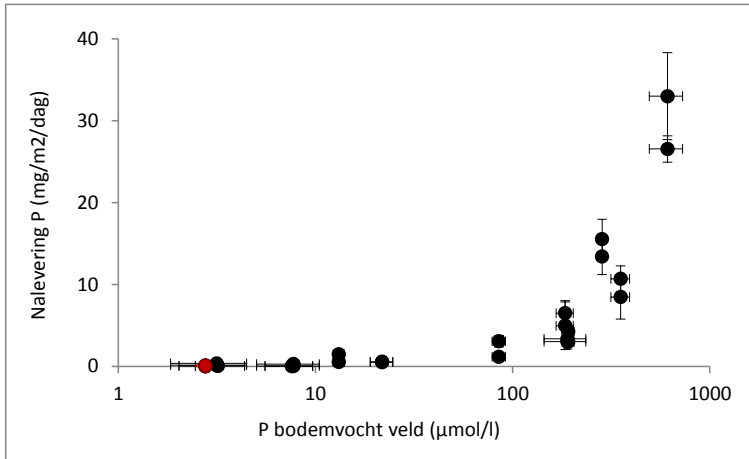
Tabel 3.44: Oppervlaktewatermetingen in het Hoefsvan waarbij de alkaliniteit is gegeven in meq/l, en de overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	6,90	1,43	0,64	0,46	149,17	162,23	9,30	4,19	14,68
2	7,05	0,26	0,46	0,41	147,90	164,67	9,34	2,72	8,67
3	7,46	0,72	0,49	0,39	150,86	167,07	9,51	3,21	9,19

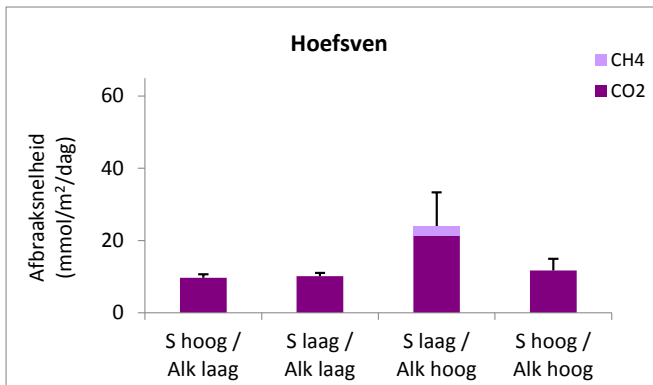
De mobilisatie van P en N (figuur 3.71) uit de bodem is zeer laag in het Hoefsvan, zoals past bij een ven. De CO₂-productie laat zien dat er toch nog enige afbraak plaatsvindt van de kleine hoeveelheid organisch stof (figuur 3.73).



Figuur 3.71: De gemiddelde nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in $\text{mg/m}^2/\text{dag}$ van de bodems van het Hoefsvan onder invloed van vier verschillende oppervlaktewaterbehandelingen.



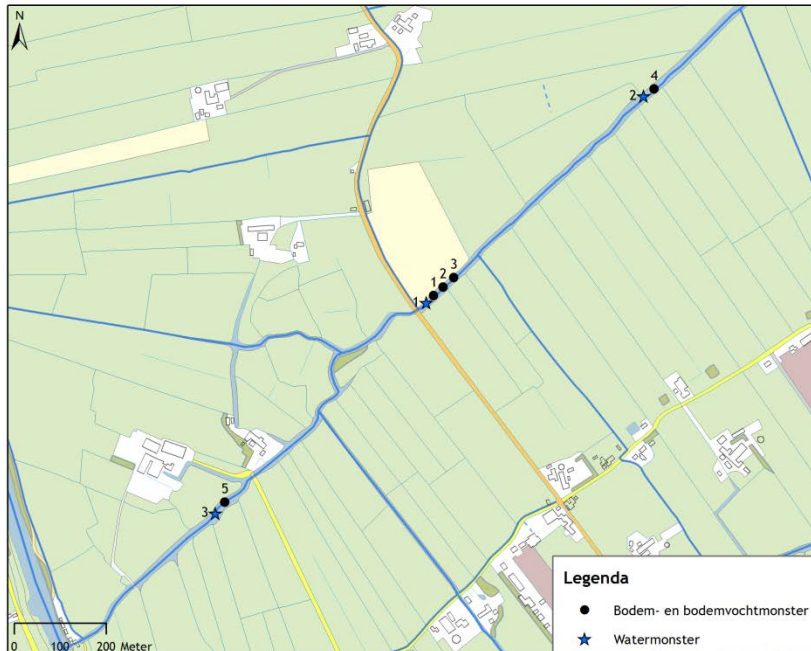
Figuur 3.72: Correlatie tussen de nalevering van P uit de cilinderexperimenten en P in het bodemvocht van de onderwaterbodems. De rode punten vertegenwoordigen de bodems uit het Hoefsven.



Figuur 3.73: De afbraaksnelheid in mmol C/m²/dag van de bodems van het Hoefsven onder invloed van vier verschillende oppervlaktewaterbehandelingen.

3.3 Onderzoekslocaties 2011

Slinksloot



Figuur 3.74: Ligging van de bemonsterde locaties voor onderwaterbodem en oppervlaktewater in de Slinksloot (uitgevoerd op 07-06-2011).

De bodem van de Slinksloot bestaat op alle locaties uit zandige klei (en een sli blaag van 5 tot 10 cm), hetgeen terug te zien is aan het zeer lage gehalte aan organisch stof en een hoog gehalte calcium (tabel 3.45). Het vochtgehalte varieert van 59 tot 69% en de bulk density van 0,35 tot 0,50. De concentratie fosfor varieert van 13 tot 18 mmol/l verse bodem, terwijl ijzer tussen 106 en 120 mmol/l verse bodem. Er is echter een Fe/P ratio hoger dan 10 is nodig voor een goede P-binding. Daarnaast zijn ijzer en zwavel ongeveer in evenwicht, hetgeen zorgt voor een (licht) negatieve (Fe-S)/P ratio. Dit geeft aan dat het grootste deel van het ijzer door zwavel bezet wordt (vorming van ijzersulfiden), waardoor fosfor gemakkelijk kan mobiliseren.

Tabel 3.45: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van de Slinksloot in mmol/L verse bodem, tenzij anders aangegeven. Ratio's zijn in mol/mol.

	% Org. stof	% Vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1,2,3	6,9	59,8	0,50	9,8	803	114	16	121	7,1	0,9	-0,4
s.e.m. 1,2,3	1,1	4,5	0,07	0,4	111	9	1	9	0,3	0,0	0,1
4	7,6	62,3	0,45	9,4	794	106	13	108	8,3	1,0	-0,2
5	11,6	69,3	0,35	10,4	515	120	18	131	6,8	0,9	-0,6

De concentratie fosfor en fosfaat in het bodemvocht (tabel 3.46) is zeer hoog en ook de alkaliniteit is hoog. De hoge alkaliniteit correleert met de aanwezigheid van hoge concentraties ammonium. Bij afbraak van organisch materiaal wordt ammonium gevormd, bovendien genereert afbraak een hogere alkaliniteit (interne alkalisering). Het zwavelgehalte varieert tussen 548 en 765 $\mu\text{mol/l}$ en is daarmee ook hoog, er is ook wat vrij sulfide aanwezig, echter niet dermate hoog dat het toxisch

voor de flora is. De concentratie ijzer in het bodemvocht (29-51 $\mu\text{mol/l}$) is te laag om fosfor te immobiliseren, daardoor is de kans op nalevering groot. De lage Fe/P ratio in het bodemvocht is hiervoor kenmerkend; bij een ratio lager dan 1 is er grote kans op sterke mobilisatie, een ratio hoger dan 10 staat voor een geringe kans op mobilisatie.

Tabel 3.46: Bodemvochtmetingen in het slib van de Slinksloot. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

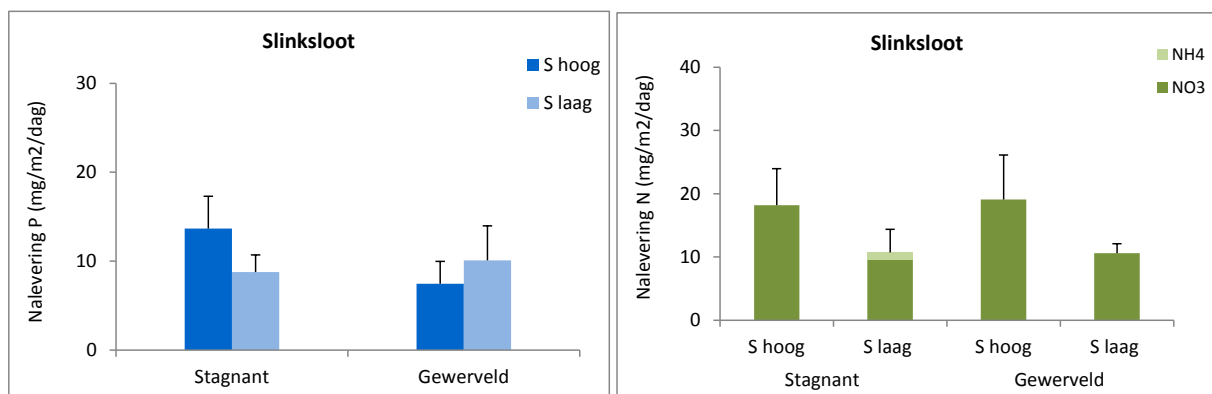
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1,2,3	7,32	6,64	2,4	402,8	128,8	548,4	2427,7	33,7	2,7	252,8	0,1
s.e.m. 1,2,3	0,03	0,96	0,3	90,5	20,1	46,8	248,5	9,0	0,5	47,0	0,0
4	7,27	8,04	5,3	481,8	45,3	652,2	2979,0	29,1	2,7	319,6	0,1
5	7,15	11,23	2,7	658,1	69,8	765,0	3707,6	51,7	4,1	670,1	0,1

De oppervlaktewaterkwaliteit van de Slinksloot, gegeven in tabel 3.47, laat een hoge alkaliniteit zien hetgeen duidt op sterk gebufferde omstandigheden, ook zichtbaar aan de hoge concentratie calcium. De concentratie ortho-fosfaat is hoog (grote kans op algenbloei wanneer de temperatuur van het water oploopt), terwijl de sulfaatconcentratie laag is. Stikstofgehalten zijn laag, waarbij anaërobe omstandigheden zorgen voor dominantie van ammonium.

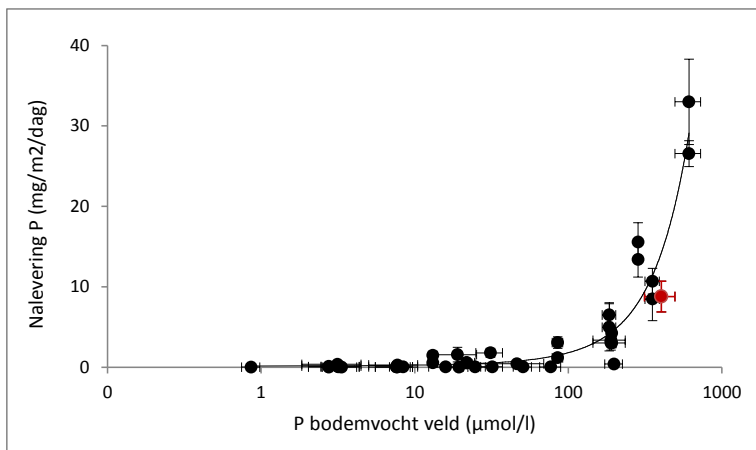
Tabel 3.47: Oppervlaktewaterringen in de Slinksloot, waarbij de alkaliniteit is gegeven meq/l en de overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	7,83	3,86	27,10	20,11	52,69	2140,2	1,51	5,25	10,29
2	7,87	3,74	34,61	29,92	29,94	2086,6	2,09	4,29	12,71
3	7,84	4,82	52,92	42,44	192,13	2474,6	1,71	3,30	10,13

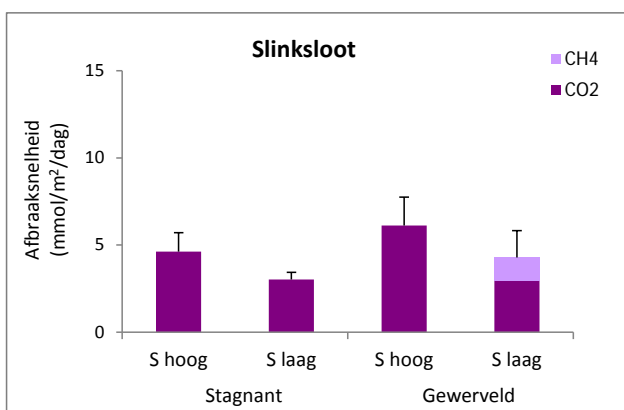
De P-nalevering van de bodems uit de Slinksloot is hoog, al variëren de gemeten snelheden van 7,5 tot 13,7 $\text{mg/m}^2/\text{dag}$ (figuur 3.75). Onder stagnante omstandigheden lijkt er een sulfaateffect op te treden, bij gewervelde omstandigheden is dit niet het geval. De hoge nalevering sluit aan bij de gemeten bodem en bodemvocht kwaliteit weergegeven in tabel 3.45 en 3.46. De N-nalevering is ook hoog, aansluitend bij de hoge stikstofconcentraties in het bodemvocht. De afbraaksnelheid van de bodem is laag, zowel in een stagnante als een gewervelde situatie (figuur 3.77).



Figuur 3.75: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in $\text{mg/m}^2/\text{dag}$ van de onderwaterbodems van de Slinksloot onder invloed van twee verschillende oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie.

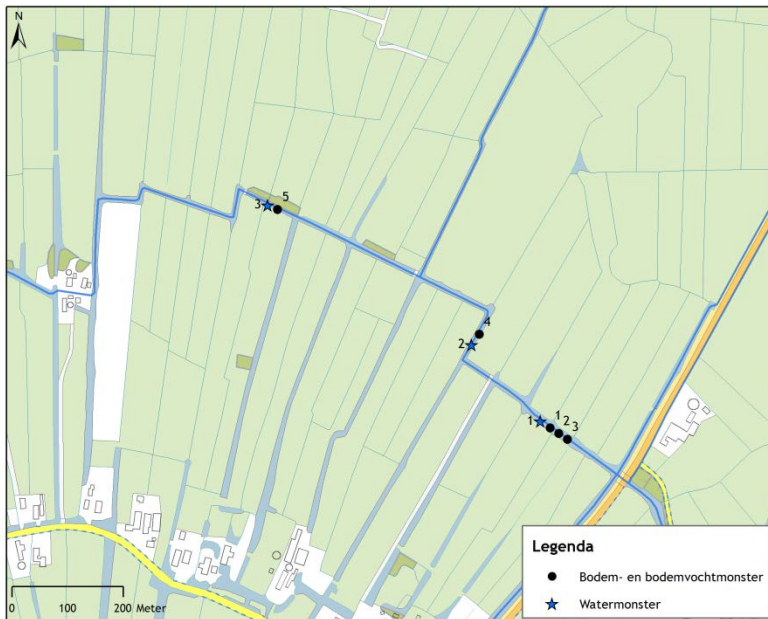


Figuur 3.76: Correlatie tussen de nalevering van fosfor uit de cilinderexperimenten en fosfor in het bodemvocht van de onderwaterbodems. Het rode punt vertegenwoordigt de bodem uit de Slinksloot.



Figuur 3.77: De afbraaksnelheid in mmol C/m²/dag van de onderwaterbodems van de Slinksloot onder invloed van twee oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie.

Zegveld



Figuur 3.78: Ligging van de bemonsterde locaties voor onderwaterbodem en oppervlaktewater in Zegveld (uitgevoerd op 13-07-2011).

De bodem van de watergang Zegveld laat homogene resultaten zien over het bemonsterde gedeelte (tabel 3.48). De bodem bestaat uit een kleiige ondergrond en daarboven een dikke sliblaag, variërend van 50 cm op locatie 5 tot 100 cm op locatie 1,2,3. De ratio's aan de rechterkant van tabel 3.48 laten een ongunstige situatie zien. De concentratie ijzer (72-86 mmol/l FW) is niet hoog genoeg om alle aanwezig fosfor te binden, zeker als de concentratie zwavel (75-96 mmol/l FW) in aanmerking genomen wordt. Bij een Fe/S ratio lager dan 1 en een negatieve (Fe-S)/P ratio is er een grote kans op P-mobilisatie doordat ijzer en zwavel binding met elkaar aangaan. Het grootste deel van de voorraad fosfor is ijzer/aluminium-gebonden. De ijzergebonden fractie is gevoelig voor veranderingen in de redoxpotentiaal en kan bij veranderende omstandigheden gemobiliseerd worden. Echter, de organisch gebonden fractie (die in deze bodem ook goed vertegenwoordigd is) is veel minder gevoelig voor redoxveranderingen en zal daardoor minder snel mobiel worden.

Tabel 3.48: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van Zegveld in mmol/L verse bodem, tenzij anders aangegeven. Ratio's zijn in mol/mol.

	% Org. stof	% Vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1,2,3	33,6	85,5	0,16	5,2	72	73	8	85	8,6	0,9	-1,3
s.e.m. 1,2,3	0,1	0,4	0,00	0,2	1	1	0	1	0,2	0,0	0,2
4	39,7	85,0	0,16	6,7	72	68	7	96	9,1	0,7	-3,8
5	32,4	83,7	0,18	7,3	86	66	9	75	7,8	0,9	-1,0

Het bodemvocht van de bodems in Zegveld is sterk gebufferd, af te lezen aan de hoge alkaliniteit (7-9 meq/l) en het hoge calciumgehalte (tabel 3.49). De concentratie zwavel is licht verhoogd, maar er is geen ophoping van hoge sulfideconcentraties. De concentratie opgelost ijzer is zeker niet laag, al is er nog meer fosfor aanwezig, resulterend in een Fe/P ratio <1 en dus grote kans op interne eutrofiëring door het mobiliseren van fosfor. De concentratie ammonium is echter ook extreem hoog en kan voor toxische omstandigheden voor waterplanten zorgen. De hoge

nutriëntenconcentraties in het bodemvocht, zijn zeer waarschijnlijk veroorzaakt door aanvoer naar de waterbodem vanuit de weilanden.

Tabel 3.49: Bodemvochtmetingen in het slib van Zegveld. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

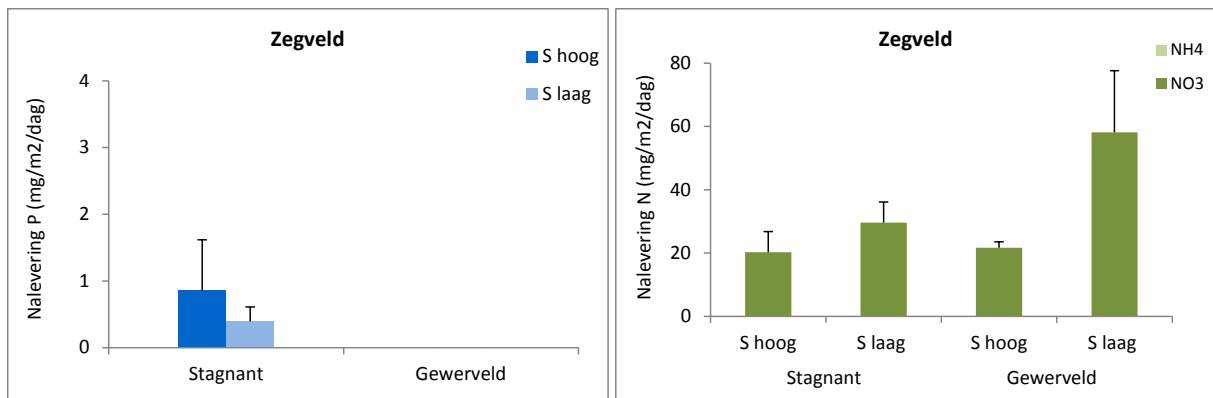
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1,2,3	7,08	7,74	1,0	198,5	54,0	129,4	2647,1	141,3	3,0	892,8	0,7
s.e.m. 1,2,3	0,07	0,69	0,1	26,1	16,4	7,0	176,2	18,4	0,7	128,3	0,1
4	6,90	7,00	2,4	194,5	47,3	116,4	2488,5	140,6	1,8	992,4	0,7
5	6,94	8,99	1,8	124,5	33,9	160,8	2794,4	107,4	5,1	1603,8	0,9

De kwaliteit van het oppervlaktewater is over alle metingen ongeveer gelijk (tabel 3.50). Er is sprake van een hoge alkaliniteit en een hoge fosforconcentratie. Verder wordt het water gekenmerkt door een hoog zwavelgehalte, hetgeen P mobilisatie vanuit het bodemvocht kan stimuleren doordat er sprake is van een lage Fe/P verhouding. De ortho-fosfaat concentratie is hoger dan $3 \mu\text{mol/l}$, waardoor er in de zomer algenbloei kan optreden.

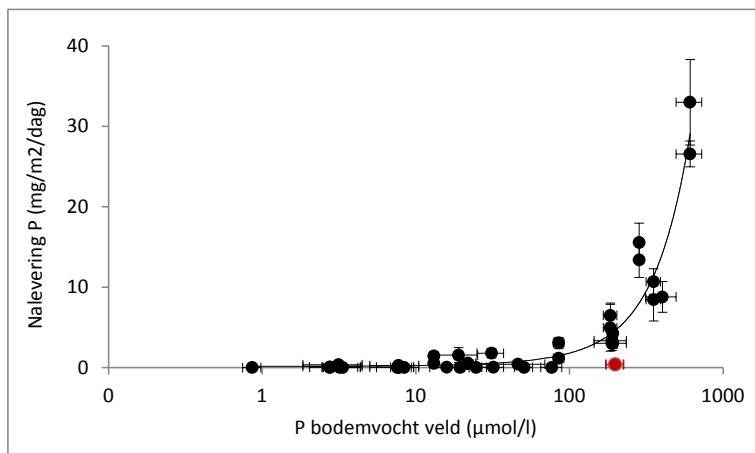
Tabel 3.50: Oppervlaktewatervormingen in Zegveld, waarbij de alkaliniteit is gegeven meq/l en de overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	7,78	2,86	6,02	3,77	619,89	1558,1	0,52	9,61	9,51
2	7,77	2,82	5,28	3,18	629,56	1546,4	0,53	8,09	6,66
3	7,63	2,78	5,94	3,73	635,17	1512,0	0,35	7,06	7,44

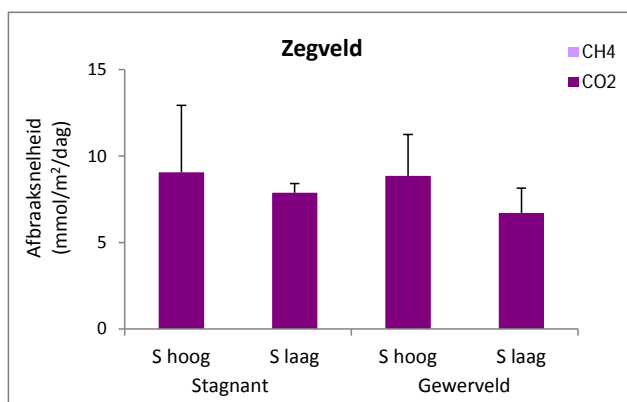
De P-nalevering in Zegveld (figuur 3.79) is, onverwacht, laag en in gewervelde toestand is er zelfs helemaal geen nalevering gemeten. De nalevering die je zou verwachten op basis van de tabellen 3.48 ten 3.49 is hoger, aangezien de ijzer/zwavel/fosfor verhoudingen in de bodem en bodemvocht niet gunstig zijn. Het is echter zeer waarschijnlijk dat de grote aanvoer van nitraat naar de waterbodem, dat direct omgezet wordt naar stikstofgas en ammonium, de mobilisatie van fosfor sterk remt (Lucassen, 2003). Tijdens het bemonsteren van de onderwaterbodems in Zegveld is bovendien het opspuiten van slib met een baggerspuit vanuit de sloot op de velden in een nabij gelegen sloot waargenomen. Indien de watergang van dit onderzoek ook is opgeschoond (wellicht kort voor de bemonstering), zou mogelijk een extra verklaring kunnen zijn voor de lage naleveringssnelheden van fosfor. De N-nalevering naar de waterlaag daarentegen is wel hoog, voornamelijk de gewervelde situatie met een lage S-behandeling. De hoge stikstofnalevering sluit aan bij de hoge stikstofconcentraties in het bodemvocht. In figuur 3.80 vertegenwoordigt het rode punt de bodems uit Zegveld. Daaruit is af te leiden dat ondanks relatief hoge fosforconcentratie in het bodemvocht, de nalevering toch laag is. De afbraaksnelheid is ook laag (figuur 3.81) en er is geen verschil tussen de diverse uitgevoerde behandelingen.



Figuur 3.79: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in mg/m²/dag van de onderwaterbodems van Zegveld onder invloed van twee verschillende oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie.

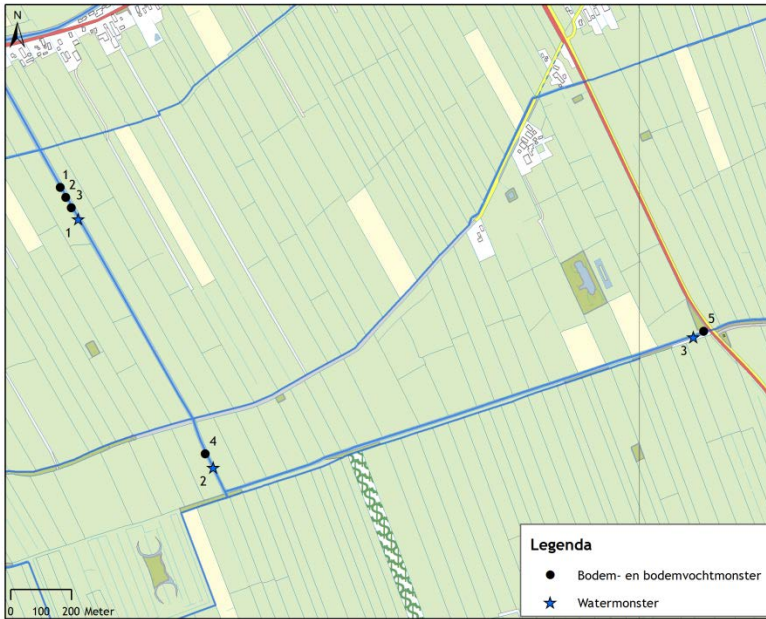


Figuur 3.80: Correlatie tussen de nalevering van fosfor uit de cilinderexperimenten en fosfor in het bodemvocht van de onderwaterbodems. Het rode punt vertegenwoordigt de bodem uit Zegveld.



Figuur 3.81: De afbraaksnelheid in mmol C/m²/dag van de onderwaterbodems van Zegveld onder invloed van twee oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie.

De Pleyt



Figuur 3.82: Ligging van de bemonsterde locaties voor onderwaterbodem en oppervlaktewater in de Pleyt (uitgevoerd op 28-06-2011).

De bemonsterde locaties in de Pleyt hebben een ondergrond van bruine klei en daarboven circa 10 centimeter slib. Het vochtpercentage van het slib is hoog en het organisch-stofgehalte zeer laag (tabel 3.51). De bodem is kalkrijk en de ijzerconcentratie is hoog. Locatie één t/m vier is van een andere samenstelling dan locatie 5. Daar waar locatie 1-4 een licht tekort aan ijzer heeft (Fe/P ratio net beneden 10), maar in verhouding met het lage zwavelgehalte een positief beeld geeft ((Fe-S)/P 3,5, hetgeen gunstig is), is de situatie op locatie 5 minder gunstig. De verdeling van de diverse fosfaatfracties (de grootste fractie is ijzer-aluminium gebonden-P) laat op alle locaties ongeveer hetzelfde beeld zien (data niet weergegeven).

Tabel 3.51: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van de Pleyt in mmol/L verse bodem, tenzij anders aangegeven. Ratio's zijn in mol/mol.

	% Org. stof	% Vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1,2,3	14,8	79,8	0,23	8,6	112	157	16	99	9,5	1,6	3,5
s.e.m. 1,2,3	2,1	0,1	0,00	1,0	1	5	0	1	0,1	0,0	0,2
4	17,1	81,5	0,20	8,3	98	151	16	94	9,3	1,6	3,5
5	21,5	81,7	0,20	9,4	112	102	8	111	12,0	0,9	-1,1

De hoge alkaliniteit van het bodemvocht van de Pleyt (tabel 3.52) correleert met de hoge ammoniumgehalten, beiden gestimuleerd door afbraakprocessen in de onderwaterbodem. Voornamelijk op locatie 4 loopt de concentratie NH₄ hoog op, voor de meest gevoelige plantensoorten is 100 µmol/l al toxisch. Fosfor is erg hoog, maar aangezien de concentratie ijzer ook hoog is, is de Fe/P ratio hoger dan 1, en op locatie vier zelfs tien. Slechts een klein deel van het P is als PO₄ aanwezig, waardoor de verhouding Fe/PO₄ erg gunstig is. Net zoals het lage zwavelgehalte in de bodem, is ook zwavel in het bodemvocht niet hoog, sulfide is dan ook afwezig.

Tabel 3.52: Bodemvochtmetingen in het slib van de Pleyt. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

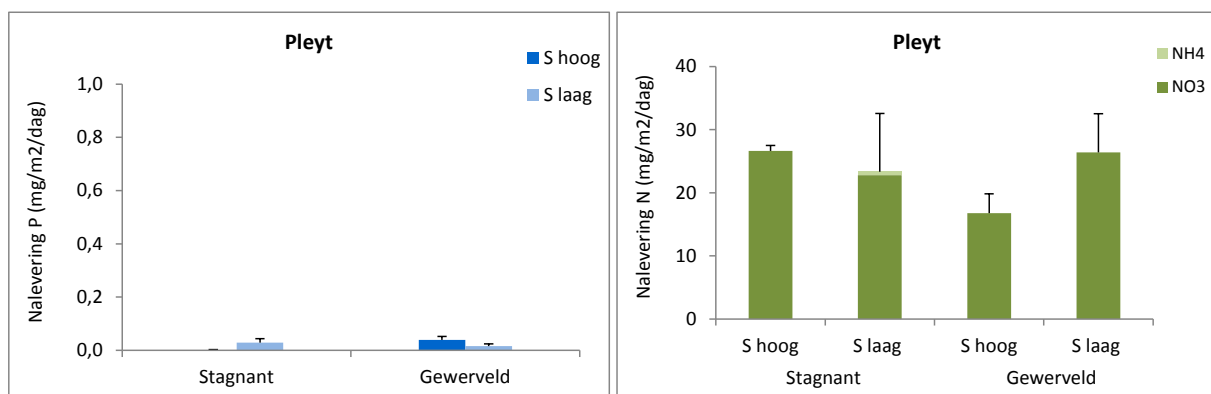
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1,2,3	7,08	7,07	0,0	77,0	4,3	177,2	2602,3	253,2	1,4	235,5	3,2
s.e.m. 1,2,3	0,01	0,90	0,0	12,0	2,5	51,2	237,6	52,8	0,5	81,7	0,2
4	7,02	14,93	0,0	91,3	3,6	113,5	4543,4	912,3	4,3	1163,7	10,0
5	7,15	4,54	0,0	24,7	1,4	84,6	1482,5	136,6	2,6	169,9	5,5

De kwaliteit van het oppervlaktewater kenmerkt zich door een lage ortho-fosfaatconcentratie: 0,18 - 0,28 $\mu\text{mol/l}$. Het water is gebufferd en sulfaatrijk, hetgeen onder anaërobe omstandigheden theoretisch voor een negatieve ontwikkeling kan zorgen. Er is echter voldoende ijzer om sulfide te binden, dus dit risico is laag. Nitraat is op locatie 1 hoger dan op locatie 2 en 3, vermoedelijk veroorzaakt door toevoer van nutriënten via kleinere sloten die op deze watergang uitkomen.

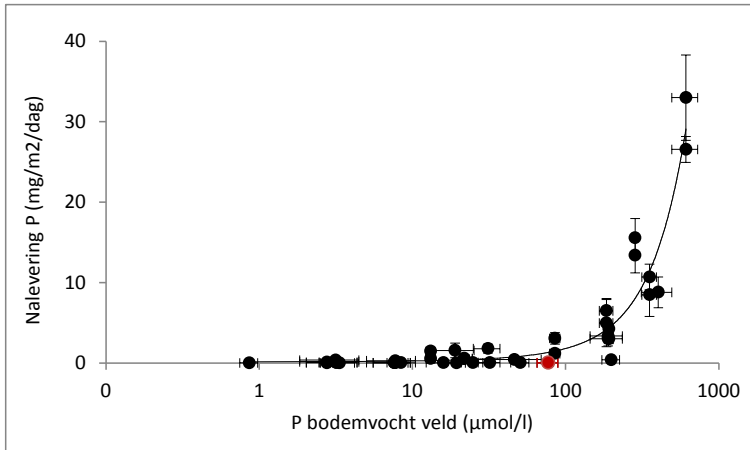
Tabel 3.53: Oppervlaktewatermetingen in de Pleyt, waarbij de alkaliniteit is gegeven meq/l en de overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	7,78	3,17	0,85	0,28	548,18	1626,2	1,58	29,48	4,68
2	7,78	3,04	1,05	0,22	526,35	1532,7	2,07	12,44	5,30
3	7,59	3,06	0,93	0,18	493,61	1528,7	1,87	12,66	8,57

De nalevering van fosfor van de bodems van de Pleyt is door de gunstige ijzerbeschikbaarheid laag, terwijl de nalevering van stikstof behoorlijk hoog is (figuur 3.83), waarbij er weinig verschil is tussen de diverse behandelingen. In figuur 3.28 is te zien waar de bodem van Pleyt zich bevindt; de concentratie P in het bodemvocht is vrij hoog voor een dergelijk lage nalevering. De afbraaksnelheid van deze bodems is vrij laag, te zien in figuur 3.85.



Figuur 3.83: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in $\text{mg/m}^2/\text{dag}$ van de onderwaterbodems van de Pleyt onder invloed van twee verschillende oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie.

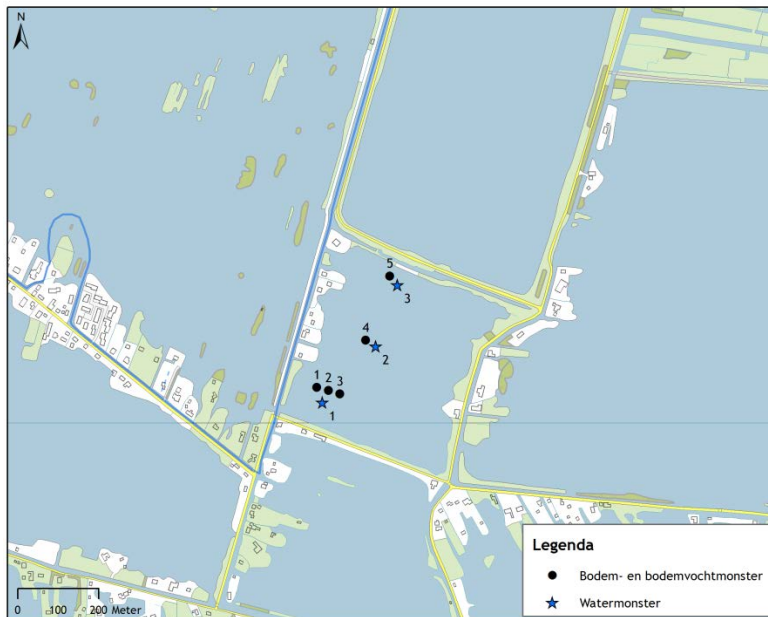


Figuur 3.84: Correlatie tussen de nalevering van fosfor uit de cilinderexperimenten en fosfor in het bodemvocht van de onderwaterbodems. Het rode punt vertegenwoordigt de bodem uit de Pleyt.



Figuur 3.85: De afbraaksnelheid in mmol C/m²/dag van de onderwaterbodems van de Pleyt onder invloed van twee oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie.

Klein Vogelenzang



Figuur 3.86: Ligging van de bemonsterde locaties voor onderwaterbodemp en oppervlaktewater in Klein Vogelenzang (uitgevoerd op 10-06-2011).

In Klein Vogelenzang is een dikke sliblaag aangetroffen: 50 cm op locatie 5 tot 110 cm op locatie 1,2,3. De bodem onder het slib bestaat uit veen, zichtbaar aan het hoge gehalte organisch stof in het slib (41 - 52%, tabel 3.54). Het slib heeft een hoog kalkgehalte en ook een hoge ijzerconcentratie. Fosfor is ook hoog, maar vanwege de hoge ijzergehalten (door de vroegere aanvoer uit de destijds diep droogemalen polder Vettenbroek) is de kans op nalevering relatief gering (Fe/P hoger dan 10). De positieve Fe/S en (Fe-S)/P ratio's geven ook aan dat zelfs bij anaërobie omstandigheden er genoeg ijzer overblijft om fosfor mee vast te leggen. Er is echter een grote fractie ijzergebonden fosfor aanwezig (Fig. 3.4), die een risico voor de toekomst vormt.

Tabel 3.54: Gemeten parameters in de onderwaterbodemp van Klein Vogelenzang in mmol/L verse bodemp, tenzij anders aangegeven. Ratio's zijn in mol/mol.

	% Org. stof	% Vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1,2,3	41,9	88,7	0,11	11,7	128	157	14	73	11,6	2,1	6,1
s.e.m. 1,2,3	1,1	0,8	0,01	0,7	10	17	2	5	0,7	0,1	0,3
4	46,7	87,8	0,12	10,3	98	188	10	105	19,1	1,8	8,4
5	52,3	86,9	0,13	13,2	108	166	8	119	19,6	1,4	5,6

Het bodemvocht van de bodems van Klein Vogelenzang kenmerkt zich door een hoge alkaliniteit, een hoge concentratie calcium en ijzer, en zeer hoge concentratie ammonium (voornamelijk op locatie 1,2,3). De Fe/P ratio varieert van 2,7 tot 7,1 mol/mol, hetgeen indiceert dat er een licht risico is op nalevering (bij Fe/P > 10 is het risico zeer gering). Het zwavelgehalte is niet hoog in het bodemvocht en ook sulfide speelt in deze bodemp geen rol.

Tabel 3.55: Bodemvochtmetingen in het slib van Klein Vogelenzang. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

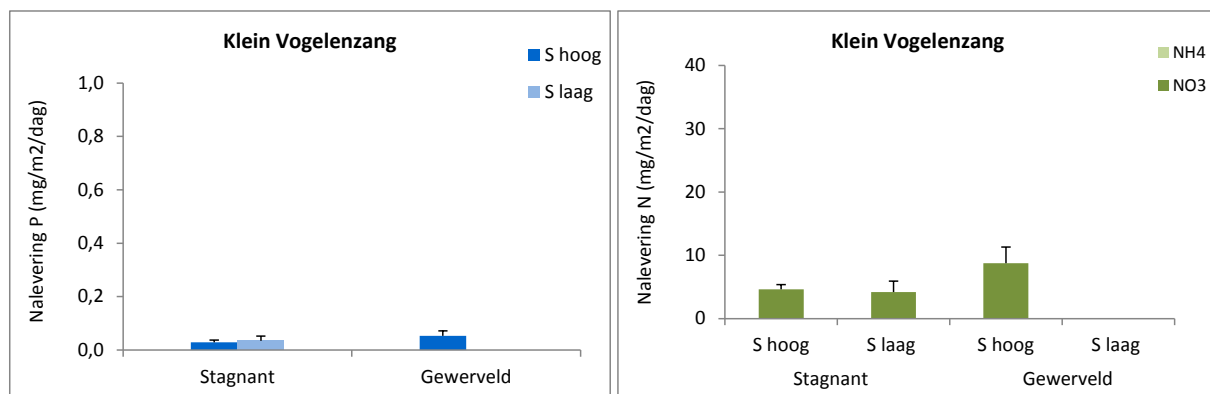
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1,2,3	7,12	6,19	0,3	50,7	5,2	110,4	2089,1	338,8	11,6	1005,5	7,1
s.e.m. 1,2,3	0,07	0,82	0,1	6,9	0,4	37,7	184,4	76,9	1,1	249,5	2,2
4	7,13	4,09	0,3	45,5	2,8	29,2	1571,6	124,4	4,6	302,5	2,7
5	7,28	3,58	0,3	29,8	3,1	71,3	1490,5	116,5	10,2	153,2	3,9

De sulfaatconcentratie van het oppervlaktewater van Klein Vogelenzang is vrij hoog (tabel 3.56). Ortho-fosfaat is overal in de plas hoger dan $1,5 \mu\text{mol/l}$, waardoor er verhoogde kans is op algenbloei. Aan de zuidwest kant van de plas, ter hoogte van locatie 1,2,3 is de PO₄-concentratie twee keer zo hoog als aan de noordkant. Dit geldt ook voor nitraat, dat overigens overal in de plas hoog is.

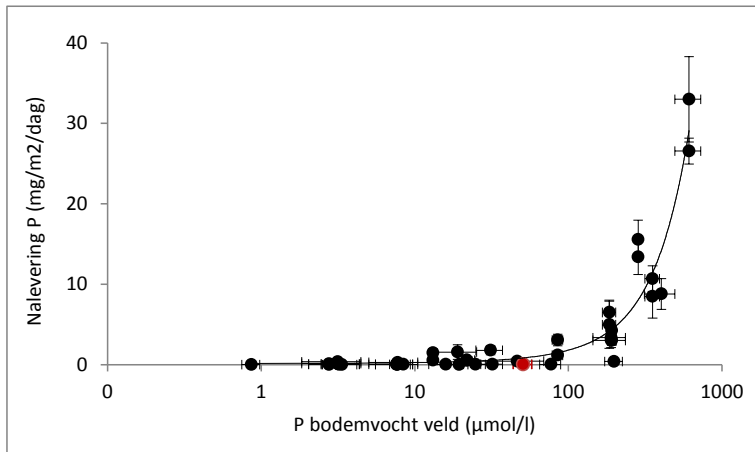
Tabel 3.56: Oppervlaktewatarmetingen in Klein Vogelenzang, waarbij de alkaliniteit is gegeven meq/l en de overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	8,86	2,40	4,58	3,72	362,96	1240,8	0,82	94,28	2,35
2	8,89	2,38	4,40	2,32	361,40	1234,8	1,04	74,45	15,78
3	8,89	2,36	4,14	1,55	362,33	1226,8	1,43	49,44	27,58

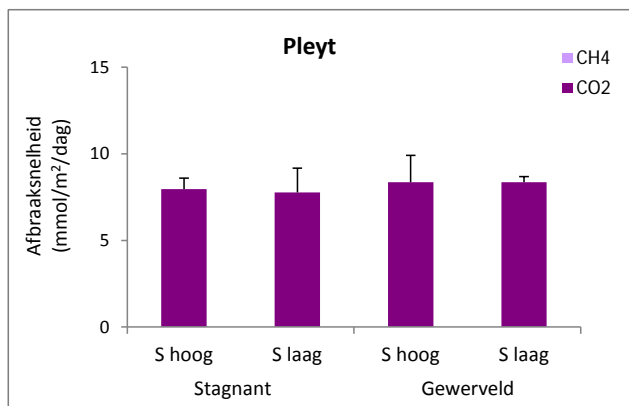
Aansluitend bij de relatief gunstige verhoudingen tussen ijzer, zwavel en fosfor in de bodem en het bodemvocht, is de nalevering van de bodems uit Klein Vogelenzang laag ($< 0,1 \text{ mg/m}^2/\text{dag}$, figuur 3.87). Anders dan misschien verwacht zou worden met een dergelijk dikke sliblaag, is er dus weinig mobilisatie van fosfor van bodemvocht naar de waterlaag. Ondanks dat de stikstofconcentraties in het bodemvocht hoog zijn, is de nalevering van stikstof in de cilinderexperimenten laag. Dit lijkt te duiden op een hoog verlies van stikstof naar de atmosfeer, waardoor de nalevering naar de waterlaag gering blijft. De decompositiesnelheid is ook erg laag (figuur 3.89), vooral voor een dergelijke organische bodem.



Figuur 3.87: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in $\text{mg/m}^2/\text{dag}$ van de onderwaterbodems van Klein Vogelenzang onder invloed van twee verschillende oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie (bij gewerveld S laag niet uitgevoerd).

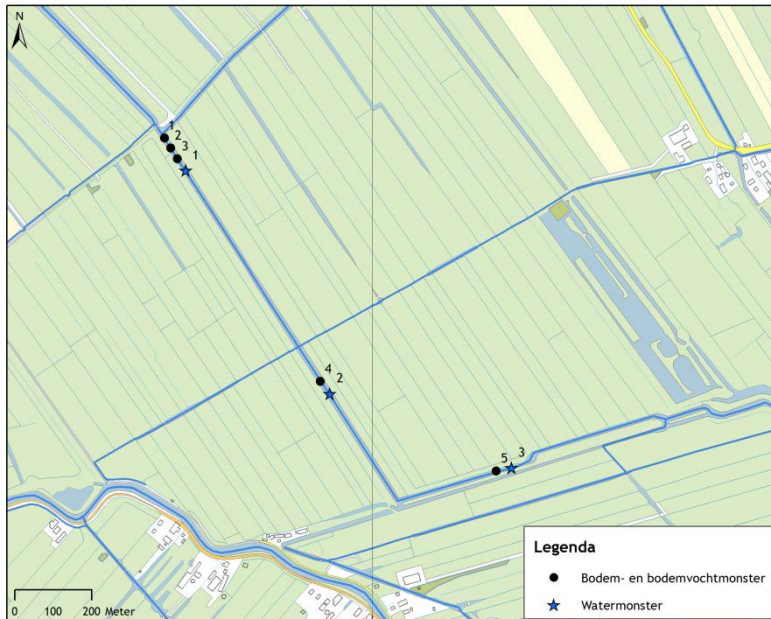


Figuur 3.88: Correlatie tussen de nalevering van fosfor uit de cilinderexperimenten en fosfor in het bodemvocht van de onderwaterbodems. Het rode punt vertegenwoordigt de bodem uit Klein Vogelenzang.



Figuur 3.89: De afbraaksnelheid in mmol C/m²/dag van de onderwaterbodems van Klein Vogelenzang onder invloed van twee oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie (bij gewerveld S laag niet uitgevoerd).

De Keulevaart



Figuur 3.90: Ligging van de bemonsterde locaties voor onderwaterbodem en oppervlaktewater in de Keulevaart (uitgevoerd op 28-06-2011).

De drie bemonsterde locaties van de Keulevaart geven een homogeen beeld wat betreft bodemkwaliteit, ook al verschilt het type ondergrond. Er is organisch slib aangetroffen (10 cm) en daaronder klei (locatie 1,2,3) danwel veen (locatie 4 en 5). Het gehalte organisch stof (20 - 36%) in de bodem wijst op de venige aard van het slib. De bodem is kalkrijk en bevat een ijzerconcentratie van 51 tot 75 mmol/l bodem. Ondanks de relatief hoge ijzerconcentratie, zorgt de hoge concentratie zwavel ervoor dat de ratio's rechts in de tabel een minder positief beeld geven. De Fe/P ratio ziet er nog gunstig uit, maar de Fe/S ratio is lager dan 1 en de (Fe-S)/P ratio is negatief. Dit is een indicatie voor een risico op nalevering. Voordeel hierbij is de lage P-concentratie; er is niet veel fosfor dat gemobiliseerd kan worden.

Tabel 3.57: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van de Keulevaart in mmol/L verse bodem, tenzij anders aangegeven. Ratio's zijn in mol/mol.

	% Org. stof	% Vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1,2,3	20,4	84,7	0,16	9,6	111	67	4	102	17,1	0,7	-9,2
s.e.m. 1,2,3	1,4	0,8	0,01	0,9	5	4	0	1	0,8	0,0	2,0
4	36,2	88,0	0,13	11,0	81	51	4	107	13,5	0,5	-14,9
5	23,6	82,8	0,19	10,4	93	75	4	103	17,2	0,7	-6,6

Het bodemvocht van het slib in de Keulevaart, gegeven in tabel 3.58, is sterk gebufferd (alkaliniteit en calcium beide erg hoog) en waarschijnlijk spelen afbraakprocessen een grote rol, waardoor ammonium een concentratie bereikt van 386 - 678 $\mu\text{mol/l}$ (tabel 3.16). Deze gehalten zijn toxisch voor wortelende waterplanten (al vanaf 100 $\mu\text{mol/l}$), wat een belemmering vormt voor verschillende soorten waterplanten in de watergang. Er is meer fosfor dan ijzer aanwezig, resulterend in een lage Fe/P ratio. Wanneer Fe/P lager dan 1 is, is er een groot risico op P-mobilisatie van het bodemvocht naar de waterlaag erboven.

Tabel 3.58: Bodemvochtmetingen in het slib van de Keulevaart. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

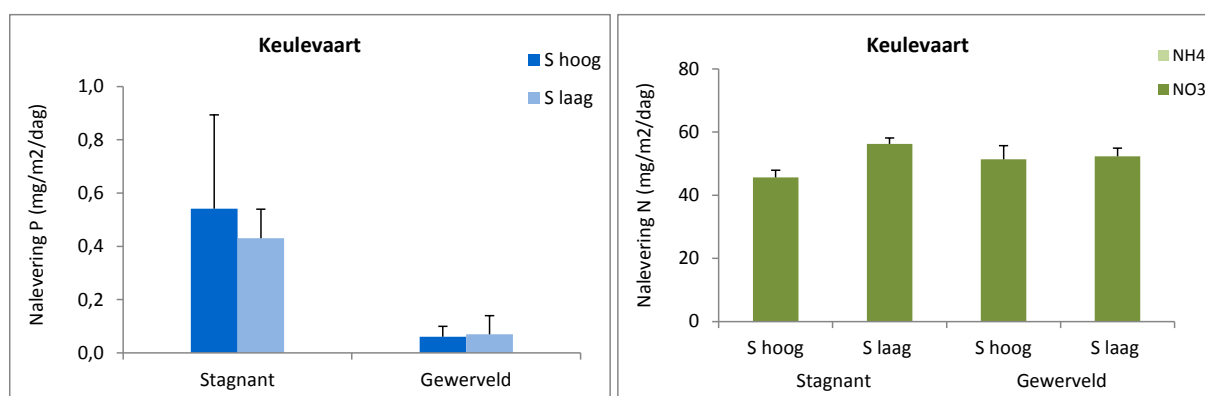
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1,2,3	7,24	5,69	0,0	46,4	18,0	879,5	2537,6	31,7	2,4	508,1	1,4
s.e.m. 1,2,3	0,02	1,14	0,0	22,8	8,3	88,3	375,6	8,4	0,4	181,3	0,8
4	7,06	8,93	0,0	78,8	25,7	320,2	2911,7	38,0	6,6	677,7	0,5
5	7,22	4,38	0,0	26,2	13,3	593,7	2041,4	21,7	2,2	386,0	0,8

Het oppervlaktewater in de Keulevaart is sterk gebufferd, bevat een hoog zwavelgehalte en een hoog fosfaatgehalte. Nitraat is ook verhoogd, en de dominante stikstofvorm, zoals meestal te zien is in slootssystemen.

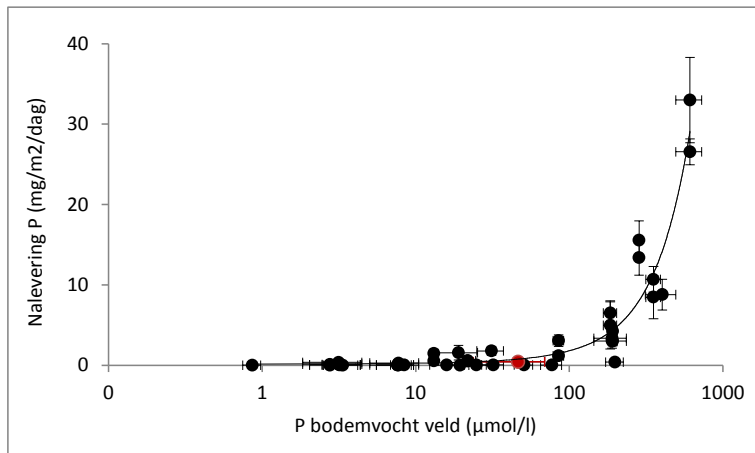
Tabel 3.59: Oppervlaktewatervoltingen in de Keulevaart, waarbij de alkaliniteit is gegeven meq/l en de overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	7,91	3,23	5,49	2,88	639,54	1719,1	0,93	27,99	9,84
2	7,84	3,19	5,26	3,01	632,37	1695,9	1,03	29,22	12,81
3	7,87	3,20	6,47	4,49	604,61	1701,8	0,98	23,15	9,96

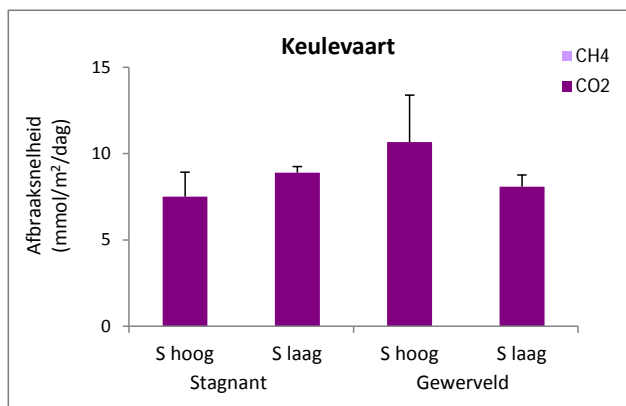
De nalevering van fosfor en stikstof zijn weergegeven in figuur 3.91. Er is een lage nalevering van fosfor (maximaal 0,54 mg/m²/dag) bij de lage S-behandeling, waarbij de nalevering is onder stagnante omstandigheden ongeveer vijf maal hoger is dan in gewervelde toestand. Bij de behandeling met hoog S is er teveel spreiding om deze conclusie te trekken. De lage P-nalevering is onverwacht, en lijkt zoals bij meer locaties samen te hangen met de hoge N-concentraties. Mogelijk treedt er een hoge denitrificatie op, waarbij de P-nalevering geremd wordt. De stikstofnalevering, die oploopt tot 56 mg/m²/dag, is gekoppeld aan decompositie van organisch materiaal. Bij dit proces wordt ammonium geproduceerd en in de cilinders vervolgens omgezet naar nitraat. De afbraaksnelheid (figuur 3.93) is gemiddeld in de Keulevaart.



Figuur 3.91: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in mg/m²/dag van de onderwaterbodems van de Keulevaart onder invloed van twee verschillende oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie.

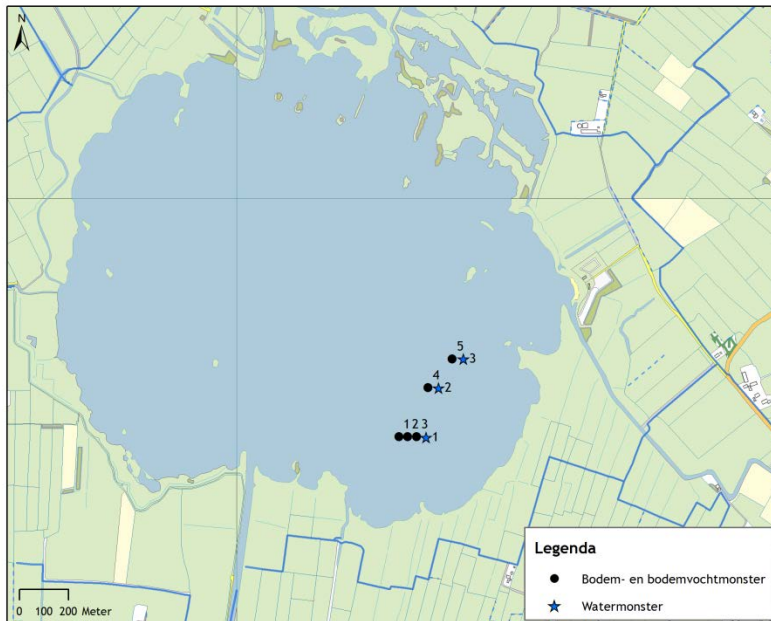


Figuur 3.92: Correlatie tussen de nalevering van fosfor uit de cilinderexperimenten en fosfor in het bodemvocht van de onderwaterbodems. Het rode punt vertegenwoordigt de bodem uit de Keulevaart.



Figuur 3.93: De afbraaksnelheid in mmol C/m²/dag van de onderwaterbodems van de Keulevaart onder invloed van twee oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie.

De Leijen



Figuur 3.94: Ligging van de bemonsterde locaties voor onderwaterbodem en oppervlaktewater in de Leijen (uitgevoerd op 21-06-2011).

De ondergrond van de Leijen bestaat uit klei op locatie 4 en 5, met daarboven kleilig slib. Locatie 1,2,3 heeft een venige ondergrond, met daarboven circa vijf centimeter zand (bruin/zwart). De bodem heeft een zeer laag organisch stof percentage en een vochtgehalte variërend van 33 tot 49%. Het calcium- en ijzergehalte verschillen behoorlijk per locatie; de bodem van locatie 5 bevat meer dan twee keer zoveel calcium en ijzer dan locatie 1,2,3, locatie 4 zit er tussenin. Ook het fosforgehalte is op locatie 5 twee keer hoger (6 mmol/l bodem) dan op locatie 1,2,3 (3 mmol/l bodem). De concentratie zwavel gaat mee in dit patroon en vertoont zelfs een vier maal hogere concentratie op locatie 5 dan op locatie 1. Locatie 1,2,3 geven een gunstig beeld, maar bij locatie 4 en 5 is het risico op P-mobilisatie zeker aanwezig. Gunstig hierbij is dat de bodems een lage totaal fosfor concentratie bevatten.

Tabel 3.60: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van de Leijen in mmol/L verse bodem, tenzij anders aangegeven. Ratio's zijn in mol/mol.

	% Org. stof	% Vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1,2,3	2,5	33,7	1,08	13,6	30	39	3	31	11,5	1,3	2,3
s.e.m. 1,2,3	0,2	2,2	0,05	0,2	1	2	0	3	0,3	0,0	0,3
4	5,2	47,9	0,73	13,1	46	70	5	113	15,3	0,6	-9,2
5	6,0	49,4	0,69	12,5	67	90	6	129	14,5	0,7	-6,3

Het bodemvocht van de onderwaterbodems van de Leijen is gebufferd en bevat hoge ammoniumgehalten (tabel 3.61). Zwavel is in lage concentraties aanwezig, en er is geen sulfide opgehoopt. De Fe/P ratio is op locatie 4 en 5 ongunstig (lager dan 1), maar op locatie 1,2,3 net 1. Voor een goede immobilisatie van fosfor wordt uitgegaan van Fe/P in het bodemvocht hoger dan 10 mol/mol.

Tabel 3.61: Bodemvochtmetingen in het slib van de Leijen. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

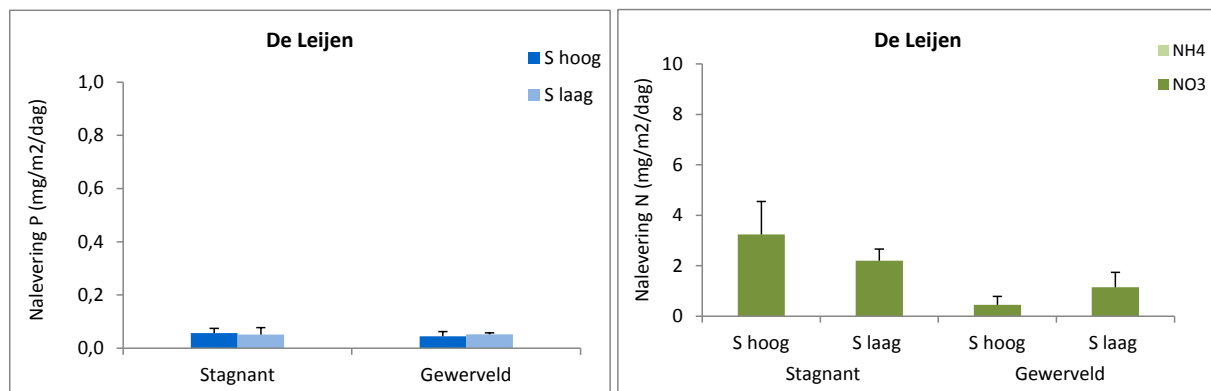
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1,2,3	7,53	3,38	0,0	32,1	18,5	127,7	1240,4	35,9	3,4	140,3	1,1
s.e.m. 1,2,3	0,03	0,03	0,0	5,2	1,1	6,6	27,3	11,1	1,3	11,2	0,2
4	7,51	3,72	0,0	24,1	21,9	263,9	1234,0	4,5	7,8	241,8	0,2
5	7,30	4,09	0,0	43,2	27,4	304,9	1376,0	32,5	3,1	350,5	0,8

Het oppervlaktewater van de Leijen heeft een vrij hoge pH en een gemiddelde alkaliniteit. De waterkwaliteit is hier gunstig: een concentratie ortho-fosfaat lager dan 0,4 $\mu\text{mol/l}$, S lager dan 20 $\mu\text{mol/l}$ en ook de stikstofgehalten zijn laag.

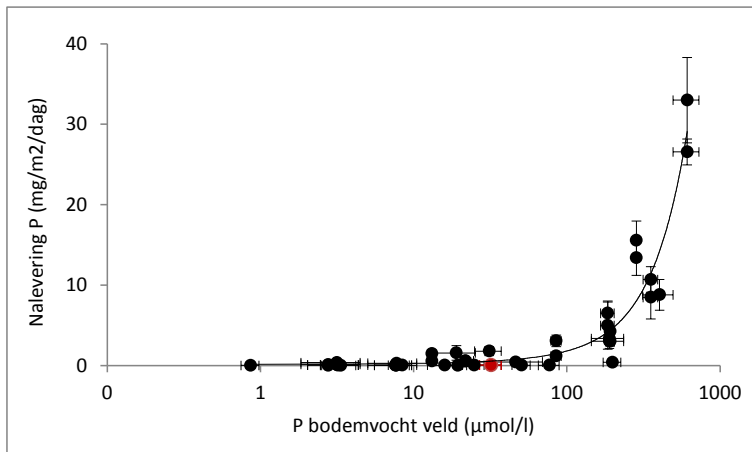
Tabel 3.62: Oppervlaktewaterringen in de Leijen, waarbij de alkaliniteit is gegeven meq/l en de overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	8,63	2,54	1,09	0,38	15,86	1253,0	2,69	3,61	9,37
2	8,83	2,53	1,23	0,34	12,30	1234,5	2,08	3,32	9,24
3	8,79	2,53	1,09	0,34	13,49	1248,3	2,24	3,96	3,80

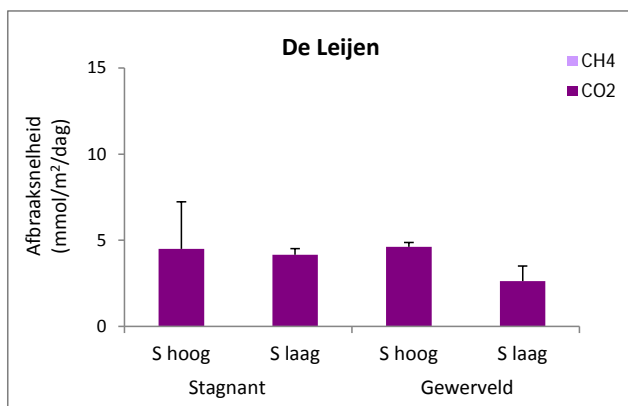
Locatie 1,2,3, waar materiaal is verzameld voor de cilinderexperimenten, is de meest gunstige plek van de drie bemonsterde locaties. De gemeten nalevering voor zowel fosfor als stikstof is dan ook laag (figuur 3.95). De N-nalevering is in de stagnante cilinders iets hoger dan in de gewervelde cilinders, voor fosfor is er geen verschil. Aansluitend bij de lage naleveringssnelheden, is ook de afbraaksnelheid laag in de bodem van de Leijen (figuur 3.97).



Figuur 3.95: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in $\text{mg/m}^2/\text{dag}$ van de onderwaterbodems van de Leijen onder invloed van twee verschillende oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie.

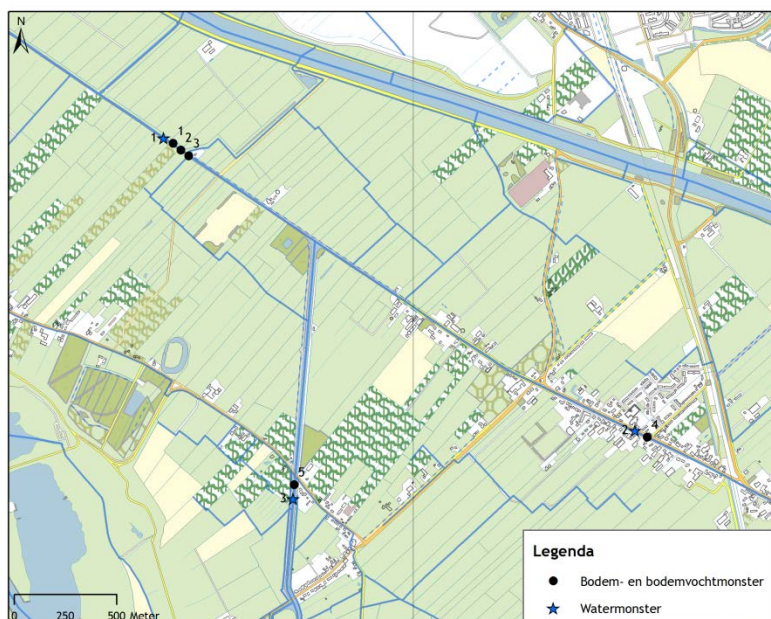


Figuur 3.96: Correlatie tussen de nalevering van fosfor uit de cilinderexperimenten en fosfor in het bodemvocht van de onderwaterbodems. Het rode punt vertegenwoordigt de bodem uit de Leijen.



Figuur 3.97: De afbraaksnelheid in mmol C/m²/dag van de onderwaterbodems van de Leijen onder invloed van twee oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie.

Honswijk



Figuur 3.98: Ligging van de bemonsterde locaties voor onderwaterbodem en oppervlaktewater in Honswijk (uitgevoerd op 13-07-2011).

Op de diverse monsterlocaties in Honswijk zijn verschillende bodemtypen aangetroffen. Op locatie 1,2,3 is zandig slib met veenresten aangetroffen (niet overal aanwezig), daaronder zandige klei met veen als ondergrond. De overige twee locaties hebben kleiige sliblaag met op locatie vijf veenresten. In tabel 3.63 is te zien dat de bodem van locatie 1,2,3 en 5 meer organisch stof bevat (13 - 15%) en een hoger vochtgehalte heeft (55 - 67%) dan locatie 4 (3% org. stof en 31% vocht). Daarnaast is de bodem zeer rijk aan calcium (295 - 485 mmol/l bodem) en ook ijzerrijk met concentraties tussen 192 en 325 mmol/l verse bodem. De concentratie totaal-P is hoog, voornamelijk op locatie 1,2,3, terwijl de concentratie zwavel laag is (zeker in vergelijking met ijzer). Het was gunstiger geweest indien de Fe/P ratio hoger zou zijn dan 10, maar desondanks is het risico op nalevering van fosfor niet heel groot.

Tabel 3.63: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van Honswijk in mmol/L verse bodem, tenzij anders aangegeven. Ratio's zijn in mol/mol.

	% Org. stof	% Vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1,2,3	15,2	55,0	0,60	8,0	311	325	50	82	6,5	4,0	4,8
s.e.m. 1,2,3	0,4	3,0	0,06	0,2	6	31	5	4	0,2	0,4	0,1
4	2,8	31,3	1,15	6,7	485	192	23	22	8,4	8,7	7,4
5	13,8	67,4	0,40	5,3	295	242	37	58	6,5	4,2	4,9

De bodemvochtmetingen van de locatie Honswijk wijst, via de hoge alkaliniteit en calciumgehalten, op een gebufferde situatie. Sulfide speelt geen rol in het bodemvocht en ook totaal zwavel is laag (locatie 4 hoger dan 1,2,3 en 5). Totaal fosfor is niet erg hoog (18 - 44 µmol/l) en doordat ijzer goed is vertegenwoordigd komt de Fe/P ratio ruim boven 1 uit. Vooral op locatie 5 is de bodemvocht kwaliteit erg gunstig (ammonium is hier ook zeer laag), maar ook de overige locaties leveren geen ongunstig beeld.

Tabel 3.64: Bodemvochtmetingen in het slib van Honswijk. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

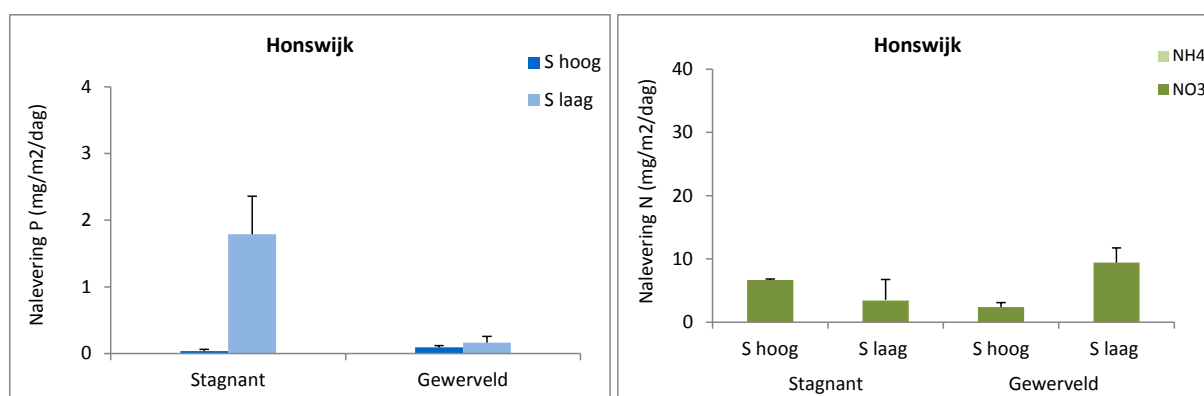
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1,2,3	7,26	8,61	1,0	31,1	4,7	88,4	3640,2	188,8	2,4	357,6	6,4
s.e.m. 1,2,3	0,02	0,19	0,5	6,2	1,5	20,2	164,0	27,8	0,6	14,7	1,3
4	7,20	7,21	0,4	44,0	6,8	225,6	2976,5	169,6	4,5	364,6	3,9
5	7,11	5,77	0,2	17,6	4,7	53,1	2532,4	326,6	3,5	40,8	18,6

Het oppervlaktewater van Honswijk is rijk aan nutriënten; zowel fosfor als stikstof zijn hoog in de waterlaag. Ortho-fosfaat varieert van 1,8 tot 10,9 $\mu\text{mol/l}$, hetgeen erg hoog is aangezien er vanaf 1 $\mu\text{mol/l}$ verhoogde kans is op algenbloei. De concentratie nitraat is erg hoog, wellicht veroorzaakt door externe bronnen, maar ook totaal zwavel is hoog. Gezien de gunstige Fe/P ratio in de bodem is het met name de oppervlaktewaterkwaliteit die hier sterk verbeterd zou kunnen worden door een reductie van de externe aanvoer.

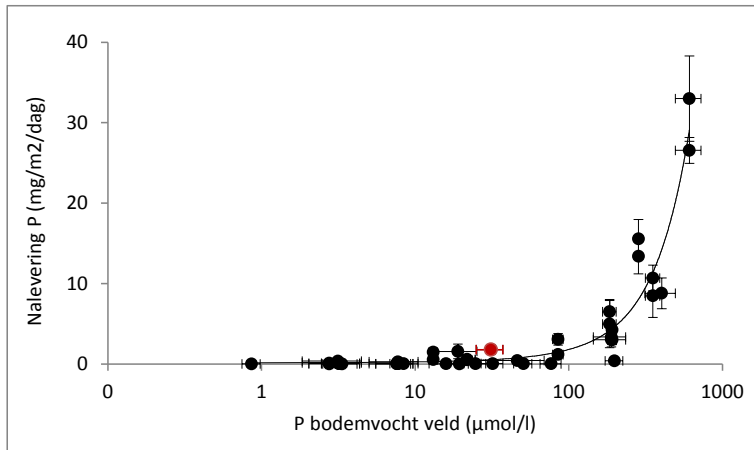
Tabel 3.65: Oppervlaktewatervoltingen in Honswijk, waarbij de alkaliniteit is gegeven meq/l en de overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	7,54	2,77	5,27	1,80	425,32	1513,2	0,44	64,73	0,11
2	7,18	2,35	15,19	10,89	449,33	1315,9	0,30	221,08	35,22
3	7,49	2,55	8,40	4,65	381,04	1395,2	0,44	146,48	15,41

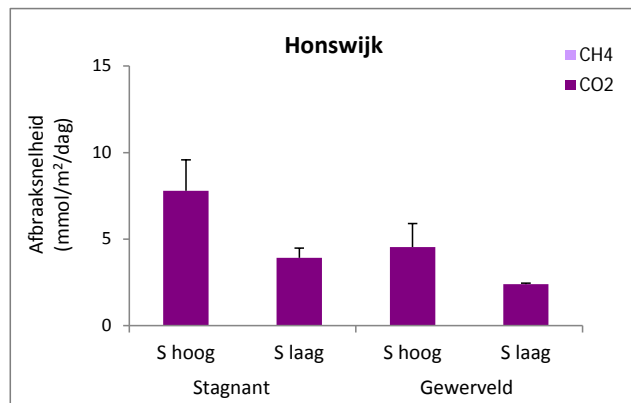
In figuur 3.99 is de nalevering van fosfor en stikstof van de bodems van Honswijk weergegeven. In stagnante situatie is de nalevering verhoogd (1,8 $\text{mg/m}^2/\text{dag}$) onder invloed van de behandeling met een lage zwavelconcentratie, de overige behandelingen laten een zeer lage nalevering zien. De stikstofnalevering is laag, net als de afbraaksnelheid (figuur 3.101). In figuur 3.100 staat het rode punt voor de bodem in Honswijk en lijkt ook iets verhoogd vergeleken met locaties met een vergelijkbaar fosforgehalte in het bodemvocht.



Figuur 3.99: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in $\text{mg/m}^2/\text{dag}$ van de onderwaterbodems van Honswijk onder invloed van twee verschillende oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie.

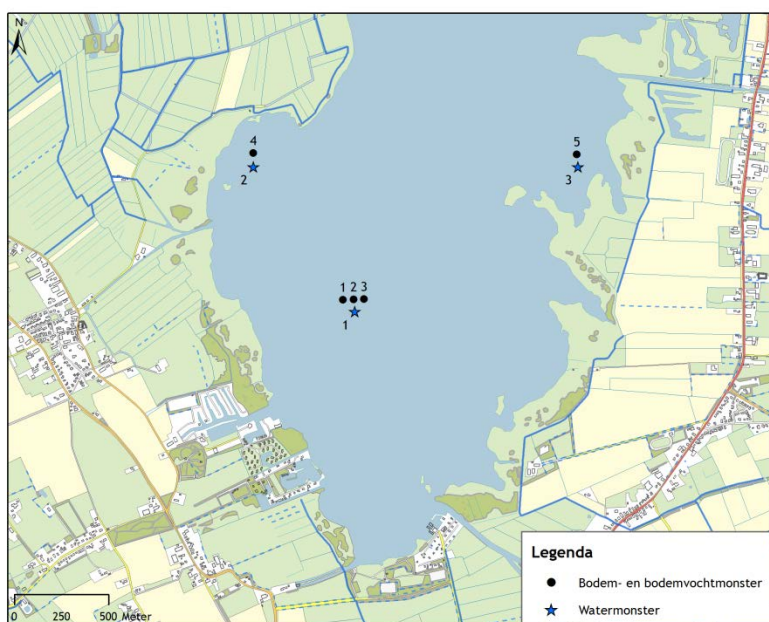


Figuur 3.100: Correlatie tussen de nalevering van fosfor uit de cilinderexperimenten en fosfor in het bodemvocht van de onderwaterbodems. Het rode punt vertegenwoordigt de bodem uit Honswijk.



Figuur 3.101: De afbraaksnelheid in mmol C/m²/dag van de onderwaterbodems van Honswijk onder invloed van twee oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie.

Zuidlaardermeer



Figuur 3.102: Ligging van de bemonsterde locaties voor onderwaterbodemp en oppervlaktewater in het Zuidlaardermeer (uitgevoerd op 09-06-2011).

Het heterogene karakter van de bodem van het Zuidlaardermeer wordt geïndiceerd door de wisselende resultaten gegeven in tabel 3.66. Locatie vier (lijzijde) is duidelijk weinig van aard (53 % organisch stof), terwijl locatie vijf (zandige locatie aan loefzijde) nagenoeg geen organisch materiaal bevat. Locatie 1,2,3 is ook zandig van aard, met een dun laagje slib van circa 3 centimeter. Ook het vochtgehalte en de bulk density zijn onderling zeer verschillend. Locatie 1,2,3 is zeer ijzer- en calciumrijk en bevat een laag fosforgehalte. Ook de concentratie zwavel is niet hoog, resulterend in zeer gunstige ratio's. Locatie 4 en 5 zijn minder ijzer- en calciumrijk, maar bevatten een nog lagere concentratie fosfor. Ondanks de verschillen tussen de bodems is er, gekeken naar bodemparameters nergens risico op nalevering van P.

Tabel 3.66: Gemeten parameters in de onderwaterbodemp van het Zuidlaardermeer in mmol/L verse bodemp, tenzij anders aangegeven. Ratio's zijn in mol/mol.

	% Org. stof	% Vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1,2,3	7,2	48,2	0,71	10,0	134	244	8	27	32,5	9,2	28,9
s.e.m. 1,2,3	0,8	0,9	0,02	0,5	70	25	1	3	1,7	0,3	1,5
4	53,3	82,4	0,18	12,0	76	121	3	73	38,6	1,7	15,3
5	0,5	22,7	1,34	13,6	11	79	3	21	31,2	3,7	22,8

De alkaliniteit van het bodemvocht niet extreem hoog, en ook fosfor is niet erg hoog. Opgelost ijzer in het bodemvocht is echter ook niet erg hoog; op locatie 1,2,3 is het nog 138 $\mu\text{mol/l}$ maar op locatie 4 en 5 is de concentratie gedaald tot lager dan 10 $\mu\text{mol/l}$. Fosfor is hier ook lager, maar desondanks is de Fe/P ratio bij locatie vijf toch lager dan 1. Locatie 1,2,3 ziet er het meest gunstig uit met een Fe/P ratio van 5,5 en een lage concentratie zwavel.

Tabel 3.67: Bodemvochtmetingen in het slib van het Zuidlaardermeer. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in $\mu\text{mol/l}$. Het monster van locatie 5 bevatte te weinig materiaal om alle metingen aan te doen.

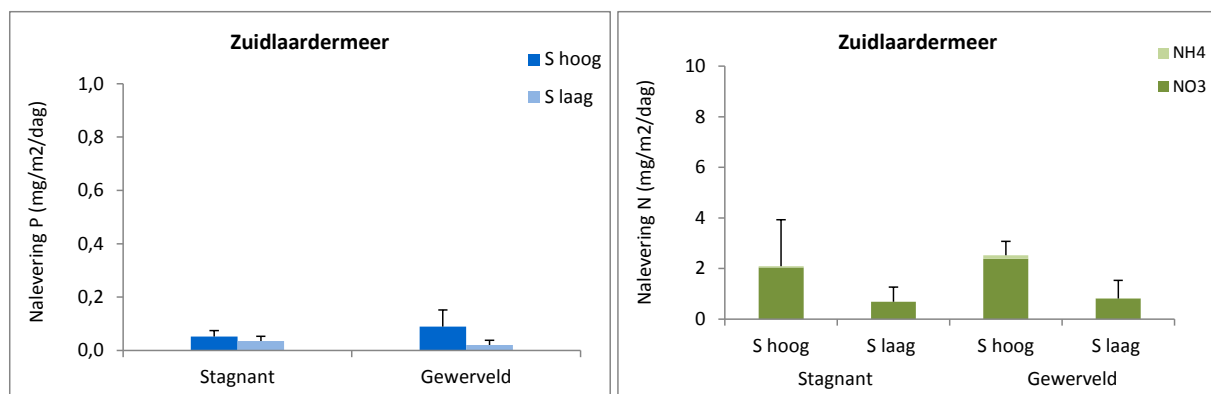
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1,2,3	7,37	3,46	0,7	24,8	4,6	81,2	1495,5	138,1	2,0	144,1	5,5
s.e.m. 1,2,3	0,03	0,27	0,5	4,0	0,4	15,3	116,5	29,6	0,1	16,4	0,3
4	7,62	1,62	0,1	1,3	0,8	188,6	792,4	2,6	3,4	72,7	2,0
5	7,85	-	-	9,7	2,6	338,9	1340,6	7,3	25,3	149,3	0,8

De oppervlaktewatermetingen leveren positieve gegevens op: ortho-fosfaat is overal laag en ook de stikstofconcentraties zijn laag. Totaal zwavel is relatief hoog en de alkaliniteit is gemiddeld.

Tabel 3.68: Oppervlaktewatermetingen in het Zuidlaardermeer, waarbij de alkaliniteit is gegeven meq/l en de overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

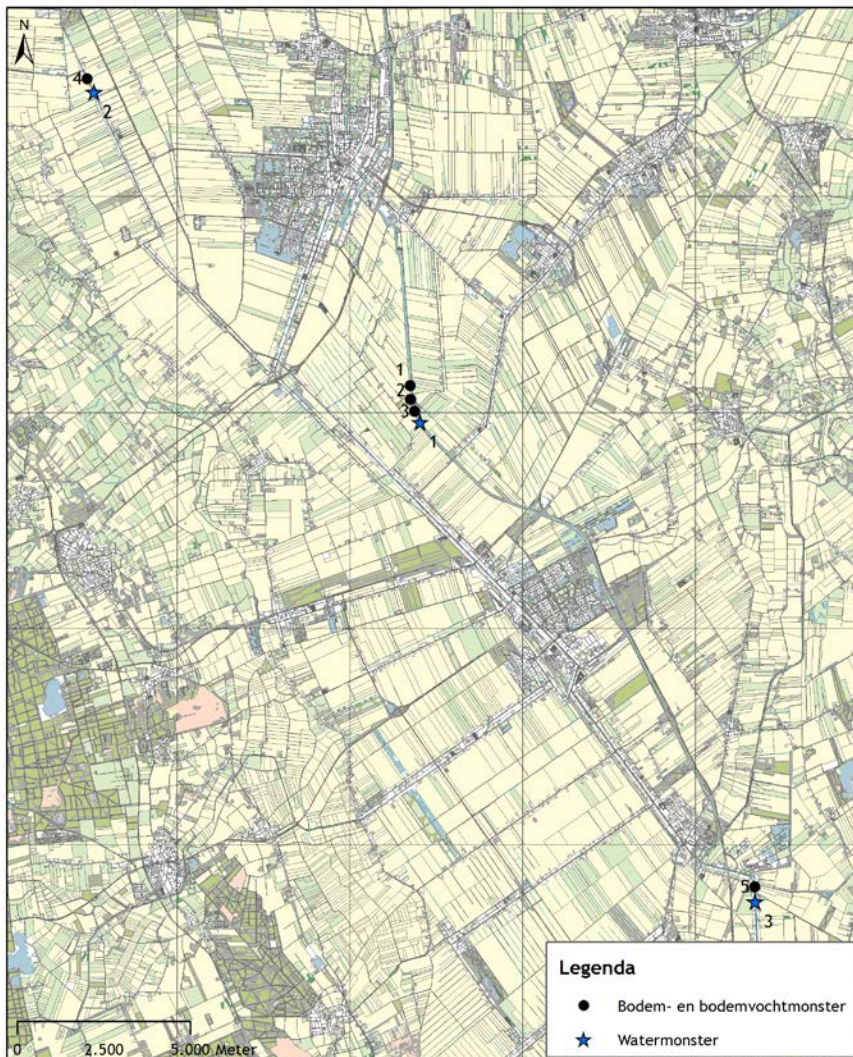
	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	8,37	2,48	1,57	0,59	315,25	1241,5	6,69	3,32	8,36
2	8,68	2,52	1,41	0,43	304,37	1243,3	5,35	4,10	6,93
3	8,78	2,48	1,41	0,44	286,09	1285,7	5,14	1,83	8,77

De bodem van het Zuidlaardermeer heeft een zeer lage nalevering (zowel fosfor als stikstof) en een zeer lage afbraaksnelheid. Op basis van deze metingen is dus te concluderen dat de onderwaterbodem nauwelijks een bijdrage levert aan de totale trofiegraad van het meer. Enige punt van onzekerheid is de diversiteit van de bodem in het Zuidlaardermeer, waardoor metingen aan naleveringssnelheden op een locatie met een andere bodemsamenstelling anders uit kunnen pakken.



Figuur 3.103: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in $\text{mg/m}^2/\text{dag}$ van de onderwaterbodems van het Zuidlaardermeer onder invloed van twee verschillende oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie.

Veenkoloniën



Figuur 3.106: Ligging van de bemonsterde locaties voor onderwaterbodem en oppervlaktewater in de Veenkoloniën (uitgevoerd op 07-07-2011).

Over een zeer grote afstand zijn er drie locaties in de Veenkoloniën bemonsterd, het is daardoor logisch dat er verschillen te zien zijn in de resultaten. Op locatie 1,2,3 is een zandige ondergrond aangetroffen met daarop 20 cm zacht slib met een hoog vochtgehalte. Op deze locatie is de bodem extreem ijzerrijk en in combinatie met het lage fosfor en zwavel gehalte resulteert dit in een gunstige uitgangssituatie; de kans op P-mobilisatie is zeer gering. Locatie 4 en 5 zijn met respectievelijk 136 en 205 mmol/l bodem minder ijzerrijk, maar bevatten ook vier keer minder fosfor. Het zwavelgehalte is aan de hoge kant, maar zorgt niet voor een negatieve (Fe-S)/P ratio.

Tabel 3.69: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van de Veenkoloniën in mmol/L verse bodem, tenzij anders aangegeven. Ratio's zijn in mol/mol.

	% Org. stof	% Vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1,2,3	20,8	81,2	0,21	5,5	49	405	24	38	16,7	10,7	15,2
s.e.m. 1,2,3	0,9	0,9	0,01	0,5	2	13	1	2	0,2	0,6	0,1
4	4,3	43,7	0,84	11,8	62	136	6	100	21,2	1,4	5,5
5	10,7	47,2	0,76	11,0	53	205	5	137	44,2	1,5	14,8

Het bodemvocht van de locatie 1,2,3 en 4 in de Veenkoloniën (zie tabel 3.70) heeft een hogere alkaliniteit (3,1 - 3,2 meq/l) dan locatie 5 (1,9 meq/l). Ammonium, dat gegenereerd wordt bij afbraakprocessen is licht verhoogd, maar niet extreem. De concentratie zwavel is op locatie 1,2,3 en 5 relatief hoog. Bij anaërobe omstandigheden en een hoog gehalte zwavel kunnen er Fe/S verbindingen gevormd worden waardoor fosfor naar de waterlaag kan mobiliseren. De verhouding ijzer ten opzichte van P is echter gunstig, zie ook de Fe/P ratio (variërend van 12 tot 41 mol/mol). Bij Fe/P > 10 wordt de kans op P-mobilisatie gering geacht, dus ondanks de verhoogde zwavelconcentraties is er geen direct gevaar voor nalevering van fosfor.

Tabel 3.70: Bodemvochtmetingen in het slib van de Veenkoloniën. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in µmol/l.

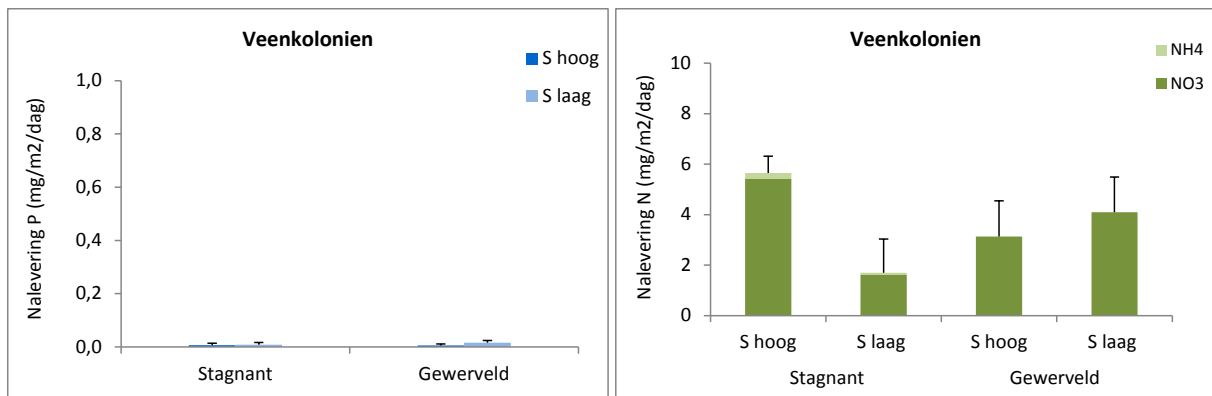
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1,2,3	7,00	3,12	0,0	19,4	2,9	456,4	1335,8	297,1	2,7	64,6	15,7
s.e.m. 1,2,3	0,02	0,11	0,0	2,8	0,4	33,9	12,2	26,5	0,7	10,2	1,7
4	7,39	3,20	0,0	4,3	2,0	165,9	1055,9	52,6	4,5	55,9	12,3
5	7,05	1,88	0,0	2,6	2,4	557,8	951,1	107,8	4,3	52,0	41,1

De concentratie ortho-fosfaat in het oppervlaktewater is op alle locaties laag, hetgeen betekent dat de kans op algenbloei ook laag is. De concentratie zwavel is relatief hoog (451 - 507 µmol/l) en op locatie drie is er een wat hoger nitraatgehalte in de waterlaag gemeten. Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt door externe bronnen vanuit landbouw.

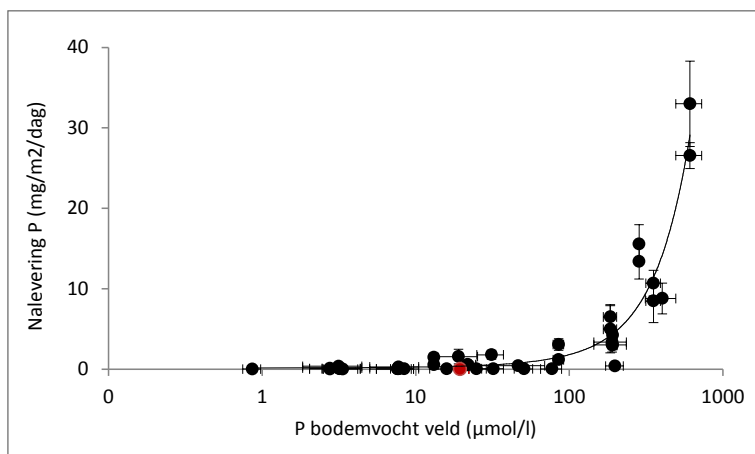
Tabel 3.71: Oppervlaktewatarmetingen in de Veenkoloniën, waarbij de alkaliniteit is gegeven meq/l en de overige parameters in µmol/l.

	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	8,41	2,58	0,67	0,38	507,33	1277,9	3,48	12,63	2,41
2	8,01	2,14	0,55	0,34	450,89	1190,1	2,63	23,08	3,14
3	7,38	2,21	0,66	0,51	477,71	1202,1	10,94	58,05	7,31

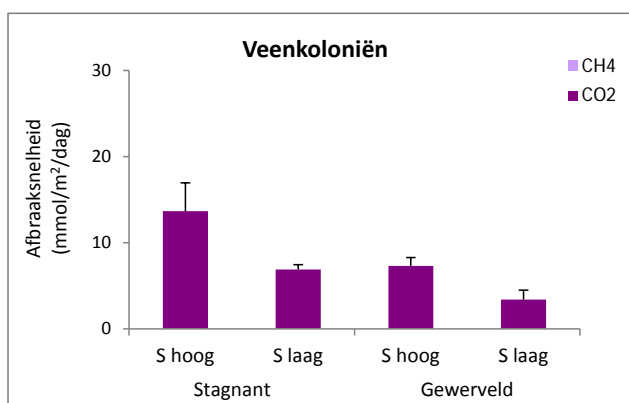
Aansluitend bij de bovenstaande bodem- en bodemvochtkarakteristieken is de mobilisatie van fosfor en stikstof vanuit het bodemvocht naar de waterlaag zeer laag (figuur 3.107). Er is nauwelijks een effect gemeten van de verschillende behandelingen. In figuur 3.108 is ook te zien dat de nalevering laag is, al ligt deze locatie wel in het moeilijk voorspelbare bereik van 10 - 100 µmol/l P in het bodemvocht. Er wordt wel organisch materiaal afgebroken (zie figuur 3.109), dit was ook af te leiden uit de licht verhoogde ammoniumconcentratie in het bodemvocht. De afbraaksnelheid geeft echter geen reden tot zorgen.



Figuur 3.107: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in mg/m²/dag van de onderwaterbodems van de Veenkoloniën onder invloed van twee verschillende oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie.



Figuur 3.108: Correlatie tussen de nalevering van fosfor uit de cilinderexperimenten en fosfor in het bodemvocht van de onderwaterbodems. Het rode punt vertegenwoordigt de bodem uit de Veenkoloniën.



Figuur 3.109: De afbraaksnelheid in mmol C/m²/dag van de onderwaterbodems van de Veenkoloniën onder invloed van twee oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie.

Sloene



Figuur 3.110: Ligging van de bemonsterde locaties voor

onderwaterbodem en oppervlaktewater in Sloene (uitgevoerd op 14-07-2011).

Het hoge gehalte organisch materiaal van de bodem in Sloene (tabel 3.72) geeft aan dat het slib bestaat uit afgebroken veen. Er is 1 tot 1,5 meter slib aanwezig, met daaronder intact veen. Het slib heeft een zeer hoog vochtgehalte en een lage bulk density. De bodem is niet erg ijzer- en calciumrijk en bevat lage fosforconcentraties. Er is echter ongeveer tweemaal zoveel zwavel als ijzer, hetgeen ongunstig is (Fe/S ratio < 1). Gunstig in deze situatie is de verdeling van de fosforfracties: ongeveer 21 - 23% is ijzer/aluminium gebonden P, terwijl 58 - 62% organisch gebonden P is. Deze laatste categorie is niet gevoelig voor redoxveranderingen en daarmee veel minder mobiliseerbaar dan de ijzergebonden fractie. Gekeken naar de $(Fe-S)/P$ ratio levert de bodemsamenstelling van Sloene risico op eutrofiëring door mobilisatie van P. Er is echter weinig fosfor aanwezig, en een deel ervan zit ingebouwd in organisch materiaal en komt niet makkelijk vrij.

Tabel 3.72: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van Sloene in mmol/L verse bodem, tenzij anders aangegeven. Ratio's zijn in mol/mol.

	% Org. stof	% Vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1,2,3	46,8	92,8	0,07	7,5	51	34	3	68	10,2	0,5	-10,5
s.e.m. 1,2,3	0,3	0,4	0,00	0,7	3	4	0	7	0,3	0,0	0,2
4	46,8	91,2	0,09	6,4	51	36	3	78	11,2	0,5	-12,7
5	48,0	93,1	0,07	8,7	46	34	3	68	10,6	0,5	-10,5
6	46,6	91,2	0,09	8,7	54	32	3	73	10,5	0,4	-13,7

Het bodemvocht van het slib van locatie Sloene wordt gekenmerkt door een hoge alkaliniteit en een daarmee samenhangende hoge ammoniumconcentratie. Bij afbraak van organisch stof wordt zowel ammonium geproduceerd en er is sprake van interne alkalinisering. Een hoog ammoniumgehalte kan

overigens voor problemen zorgen voor de vestiging van waterplanten; NH_4^+ > 100 $\mu\text{mol/l}$ is toxisch voor de meest gevoelige soorten. De concentratie zwavel is niet erg hoog, net zoals sulfide. Wel problematisch is de verhouding tussen fosfor en ijzer. Fosfor varieert tussen 19 en 36 $\mu\text{mol/l}$ en is daarmee niet heel erg hoog, de concentratie ijzer is echter erg laag, met als resultaat een Fe/P ratio lager dan 0,4 op alle locaties. Bij $\text{Fe/P} < 1$ is er grote kans op mobilisatie van P naar de waterlaag, eutrofe omstandigheden gevolg van kunnen zijn.

Tabel 3.73: Bodemvochtmetingen in het slib van Sloene. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

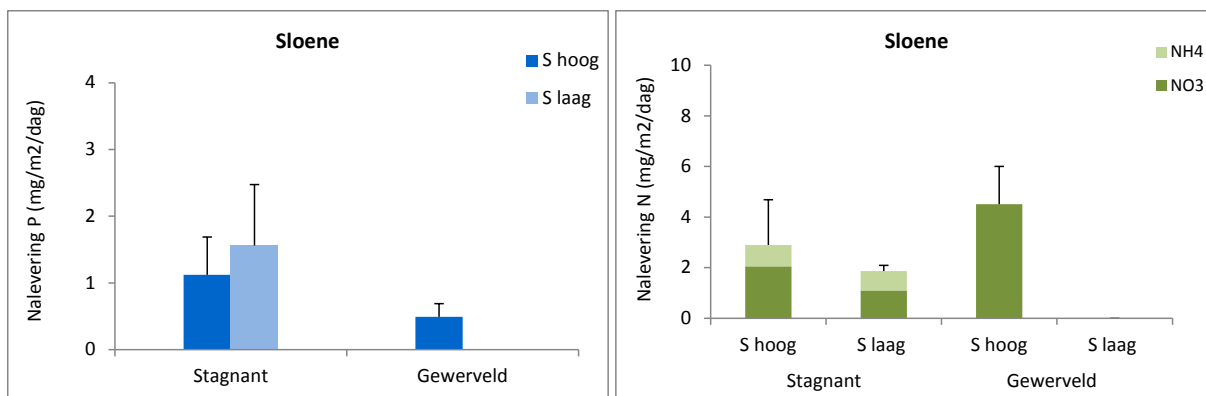
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1,2,3	7,29	5,54	1,6	19,0	17,4	396,6	1913,3	3,2	4,9	366,5	0,3
s.e.m. 1,2,3	0,02	0,67	0,5	6,3	6,4	130,5	73,5	0,6	3,6	78,3	0,2
4	7,28	5,02	2,1	29,4	22,8	210,1	1857,0	5,1	1,5	446,9	0,2
5	7,25	6,20	1,9	35,6	26,4	197,2	1933,1	13,4	1,4	353,9	0,4
6	7,19	5,09	1,9	26,9	21,4	319,9	1928,1	5,6	1,4	524,7	0,2

Het oppervlaktewater in Sloene is sterk gebufferd (pH 8,1 - 8,2 en alkaliniteit 3,2-3,4 meq/l) en verrijkt met ortho-fosfaat. Totaal zwavel is verhoogd en ook ammonium is iets verhoogd.

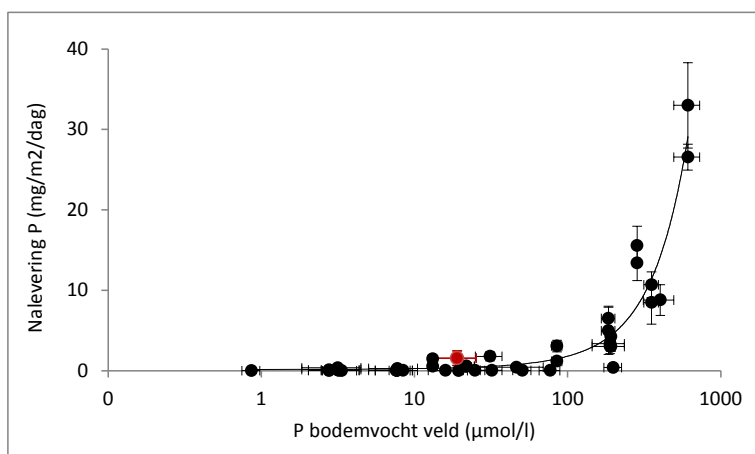
Tabel 3.74: Oppervlaktewaterringingen in Sloene, waarbij de alkaliniteit is gegeven meq/l en de overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	8,19	3,38	5,78	4,43	318,37	1529,7	0,25	3,88	15,13
2	8,24	3,29	5,71	2,96	317,74	1557,9	0,21	5,58	28,61
3	8,10	3,36	5,85	2,69	315,25	1529,7	0,33	7,72	29,22
4	8,05	3,22	5,86	3,94	322,73	1540,7	0,36	8,74	27,23

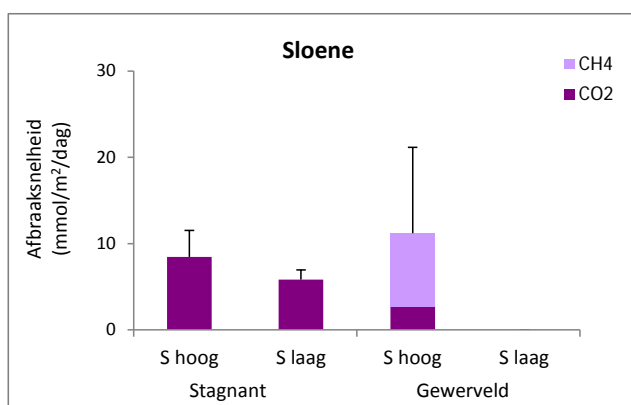
De nalevering van fosfor vanuit de onderwaterbodem naar de waterlaag in Sloene varieert behoorlijk (figuur 3.111). Gemiddeld 0,5 bij S hoog, gewerveld tot gemiddeld 1,5 $\text{mg/m}^2/\text{dag}$ voor S laag, stagnant (S laag gewerveld niet gemeten). Volgens modelvoorspellingen van Janse (2005) ligt het omslagpunt van helder naar troebel voor laagveenwateren op 1 $\text{mg/m}^2/\text{dag}$. In een stagnante situatie is de nalevering van de onderwaterbodems van Sloene dus hoger dan het omslagpunt. De nalevering van N en de afbraak zijn laag, zeker voor rijkere veenbodems.



Figuur 3.111: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in $\text{mg/m}^2/\text{dag}$ van de onderwaterbodems van Sloene onder invloed van twee verschillende oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie (bij gewerveld S laag niet uitgevoerd).



Figuur 3.112: Correlatie tussen de nalevering van fosfor uit de cilinderexperimenten en fosfor in het bodemvocht van de onderwaterbodems. Het rode punt vertegenwoordigt de bodem uit Sloene.



Figuur 3.113: De afbraaksnelheid in $\text{mmol C/m}^2/\text{dag}$ van de onderwaterbodems van Sloene onder invloed van twee oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie (bij gewerveld S laag niet uitgevoerd).

De Vecht



Figuur 3.114: Ligging van de bemonsterde locaties voor onderwaterbodem en oppervlaktewater in de Vecht (uitgevoerd op 08-06-2011).

De bodem van de Vecht op de bemonsterde locaties (figuur 3.75) is voornamelijk kleiig van aard. De locaties in de Vecht zijn op een andere diepte verzameld dan de 14 andere locaties. Met het oog op het mogelijk toekomstige baggeren is er op verzoek bodemmateriaal op 75 cm diepte (locatie 1,2,3), en op 25 diepte (locatie 5) verzameld. Op locatie 4 is zandige klei aangetroffen en de oorspronkelijke bemonsterdiepte van 125 cm is helaas niet behaald. Op deze locatie is de toplaag (0-15 cm) verzameld en geanalyseerd. De bodem in de Vecht is calcium en ijzerrijk (voornamelijk locatie 1,2,3) maar ook behoorlijk rijk aan fosfor (variërend van 19 - 74 mmol/l bodem). De bodem van locatie 1,2,3 en 4 bevat geen hoge concentratie zwavel en daardoor zijn de ratio's Fe/S en (Fe-S)/P positief (al is de verhouding Fe/P op locatie 1,2,3 niet optimaal). De bodem van locatie vijf heeft een hoger zwavelgehalte waardoor de ratio's net niet meer gunstig zijn (Fe/S 0,9 en (Fe-S)/P -0,3). Al is het minimaal, er is op locatie vijf een kans op mobilisatie van fosfor (bovendien is het P-gehalte in de bodem niet laag). Gezien de resultaten van locatie 1 t/m 4 is het mogelijk dat dieper in de bodem de ijzerrijkdom toeneemt en daarmee de problemen verdwijnen bij locatie vijf.

Tabel 3.75: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van de Vecht in mmol/L verse bodem, tenzij anders aangegeven. Ratio's zijn in mol/mol.

	% Org. stof	% Vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1,2,3	15,7	61,8	0,46	10,7	425	409	74	85	5,6	4,8	4,4
s.e.m. 1,2,3	0,2	0,2	0,00	0,2	11	10	1	2	0,2	0,2	0,2
4	9,7	50,7	0,66	9,0	408	215	19	68	11,2	3,2	7,7
5	16,1	74,0	0,28	9,1	144	134	50	151	2,7	0,9	-0,3

De alkaliniteit van het bodemvocht van de Vecht is, voornamelijk op locatie 1,2,3, hoog opgelopen. De concentratie ammonium correleert met de alkaliniteit, mogelijk duidend op afbraakprocessen. Ammonium is zo extreem hoog dat er zeker ook een relatie is met het stikstofrijke grondwater. De regio waar de Vecht stroomt staat bekend om het hoge nitraatgehalte van het grondwater, hetgeen de hoge ammoniumconcentratie wel zou kunnen verklaren (ammonificatie in de bodem). De fosforgehalten in het bodemvocht zijn laag, terwijl ijzer juist relatief hoog is (op locatie 1,2,3 en 4). Locatie vijf heeft een zeer laag ijzergehalte in het bodemvocht, waardoor de Fe/P ratio slechts 0,1 mol/mol is. De kans op P-mobilisatie wordt hierdoor groot, maar de aanvoer van nitraat zal de mobilisatie remmen (Lucassen, 2003).

Tabel 3.76: Bodemvochtmetingen in het slib van de Vecht. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in µmol/l. Er was niet voldoende materiaal om de sulfidemetingen geheel te kunnen doen (voor de meting van 1,2,3 is één mengmonster gemaakt).

	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1,2,3	7,50	13,79	0,2	15,9	3,0	116,0	3216,7	246,5	4,2	4947,8	17,8
s.e.m. 1,2,3	0,08	3,08	nvt	3,6	0,4	9,3	209,0	12,3	0,6	376,2	5,2
4	7,63	4,81	-	9,7	3,2	535,7	2519,5	53,3	11,6	39,3	5,5
5	7,53	5,18	2,7	63,0	45,4	27,9	2240,5	6,7	2,8	121,1	0,1

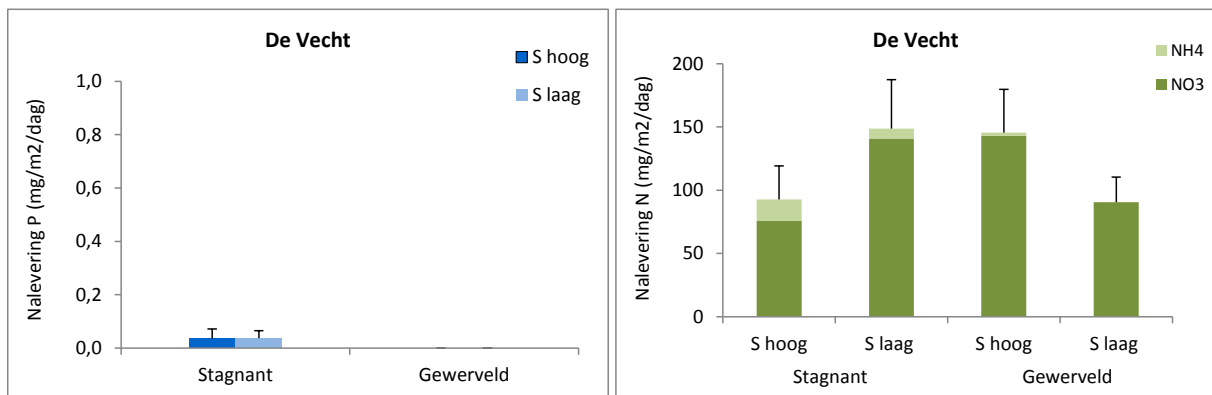
Het oppervlaktewater heeft een hoge pH en een gemiddelde alkaliniteit. Ortho-fosfaat schommelt rond 1 µmol/l, de concentratie die ongeveer de grens is waarboven de kans op algenbloei aanzienlijk toeneemt. Het water bevat een hoge concentratie zwavel, waardoor bij anaëroë omstandigheden, zeker in geval van lage ijzerconcentraties, fosfor gemobiliseerd kan worden.

Tabel 3.77: Oppervlaktewatermetingen in de Vecht, waarbij de alkaliniteit is gegeven meq/l en de overige parameters in µmol/l.

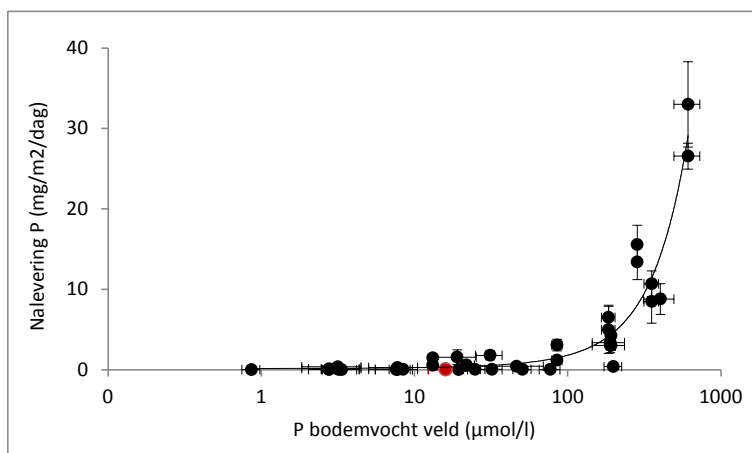
	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	8,19	2,35	1,35	0,97	1004,99	1581,8	0,23	13,11	2,69
2	7,52	3,88	3,99	1,07	592,45	2547,4	0,25	131,45	47,96
3	7,59	3,38	3,03	1,44	670,10	2108,0	0,15	57,09	16,00

Aansluitend bij de extreem hoge ammoniumconcentraties in het bodemvocht is de nalevering van stikstof erg hoog (tot 150 mg/m²/dag). De nalevering van fosfor is echter wel erg laag, zeer waarschijnlijk geremd door de aanwezigheid van het hoge stikstofgehalte in het bodemvocht. De afbraak, gegeven in figuur 3.117 is relatief hoog voor kleibodems. Er moet echter een kanttekening bij deze resultaten geplaatst worden: op locatie vijf is het mogelijk dat, gezien de negatieve (Fe-S)/P en zeer lage Fe/P ratio in het bodemvocht, dat de nalevering van fosfor een grotere rol speelt.

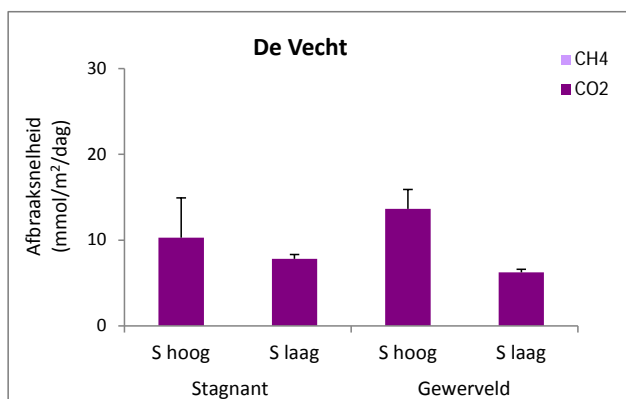
De concentratie ammonium is hier ook niet zo extreem, dus de remmende werking van nitraataanvoer, zoals hierboven beschreven, zal op locatie vijf vermoedelijk geen rol spelen. Op locatie vier bieden de resultaten een goed uitgangspunt. Vermoedelijk is de bodemsamenstelling in diepere lagen nog gunstiger (meer ijzer, minder fosfor).



Figuur 3.115: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in mg/m²/dag van de onderwaterbodems van de Vecht onder invloed van twee verschillende oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie.

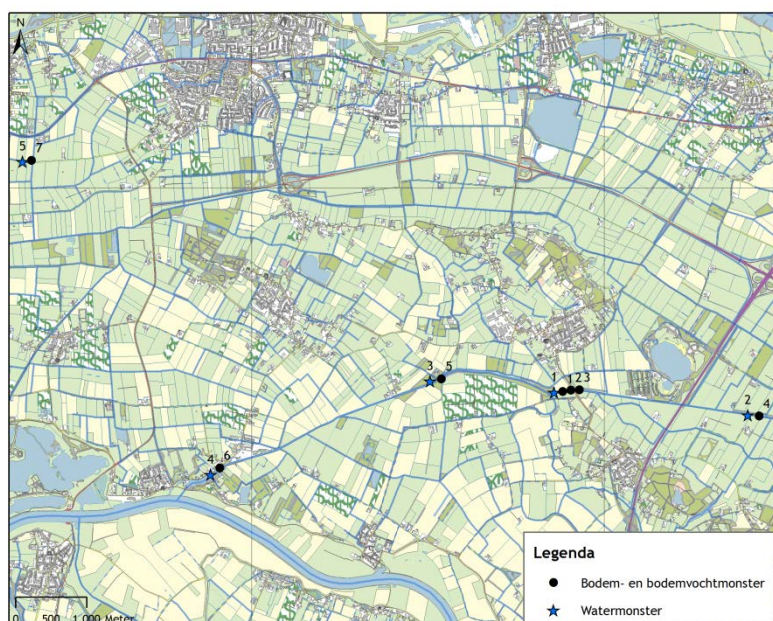


Figuur 3.116: Correlatie tussen de nalevering van fosfor uit de cilinderexperimenten en fosfor in het bodemvocht van de onderwaterbodems. Het rode punt vertegenwoordigt de bodem uit de Vecht.



Figuur 3.117: De afbraaknelheid in mmol C/m²/dag van de onderwaterbodems van de Vecht onder invloed van twee oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie.

Nieuwe Wetering



Figuur 3.118: Ligging van de bemonsterde locaties voor onderwaterbodem en oppervlaktewater in de Nieuwe Wetering (uitgevoerd op 11-07-2011)

Er is slechts een dunne laag slib aangetroffen op de bemonsterde locaties van de Nieuwe wetering. De bodems varieerden in ondergrond: locatie 1,2,3 en 4 zijn kleilig van aard, terwijl locatie 5 en 6 juist zandig zijn. Er is weinig organisch materiaal aanwezig in de bodems, en het vochtgehalte varieert van 22 - 76% (tabel 3.78). Locatie zeven, verzameld in een andere watergang dan de rest, wijkt duidelijk wat af van de overige locaties, er is op die locatie ook meer slib aangetroffen. Over het algemeen bevat de bodem aanzienlijke concentraties totaal calcium en ijzer. Totaal fosfor varieert behoorlijk: 8 mmol/l bodem op locatie 4 en 5, en 37 mmol/l bodem op locatie 1,2,3. Tegenover hogere fosforgehalten staan echter ook hogere ijzerconcentraties, waardoor, met uitzondering van locatie 7, de Fe/P ratio boven 10 uitkomt. Indien Fe/P hoger is dan 10, is er in principe voldoende ijzer is om al het fosfor te binden. De lage zwavelconcentraties zorgen ervoor dat ook de overige twee ratio's er gunstig uit zien.

Tabel 3.78: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van de Nieuwe Wetering in mmol/L verse bodem, tenzij anders aangegeven. Ratio's zijn in mol/mol.

	% Org. stof	% Vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1,2,3	5,6	50,2	0,70	6,7	230	384	37	41	10,3	9,5	9,2
s.e.m. 1,2,3	0,4	0,2	0,00	0,4	15	28	3	5	0,5	0,5	0,4
4	0,7	22,1	1,48	11,8	88	134	8	10	15,8	13,2	14,6
5	1,3	31,7	1,15	11,9	33	90	8	39	11,5	2,3	6,5
6	2,2	33,2	1,12	10,0	56	189	13	34	14,1	5,6	11,5
7	11,5	76,3	0,27	9,0	364	183	24	26	7,6	7,1	6,5

Ook de bodemvochtresultaten zijn zeer wisselend in de Nieuwe Wetering. Op locatie 1,2,3 is een hoge concentratie sulfide gemeten (sulfide > 10 al toxisch voor planten). Totaal S is op locatie 4 en 5 hoog, terwijl 1,2,3 en 6 lager zijn. Op locatie 1,2,3 en 4 is de verhouding tussen ijzer en fosfor zeer gunstig (Fe/P 22 en 32), terwijl op locatie 5 en 6 de verhouding minder gunstig is maar nog steeds hoger dan 1. Locatie zeven heeft een extreem hoge alkaliniteit (23,9 meq/l) en een daarbij aansluitend hoge ammoniumconcentratie. De concentratie ijzer is ook enorm hoog, waardoor de Fe/P ratio een recordhoogte haalt (69 mol/mol).

Tabel 3.79: Bodemvochtmetingen in het slib van de Nieuwe Wetering. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

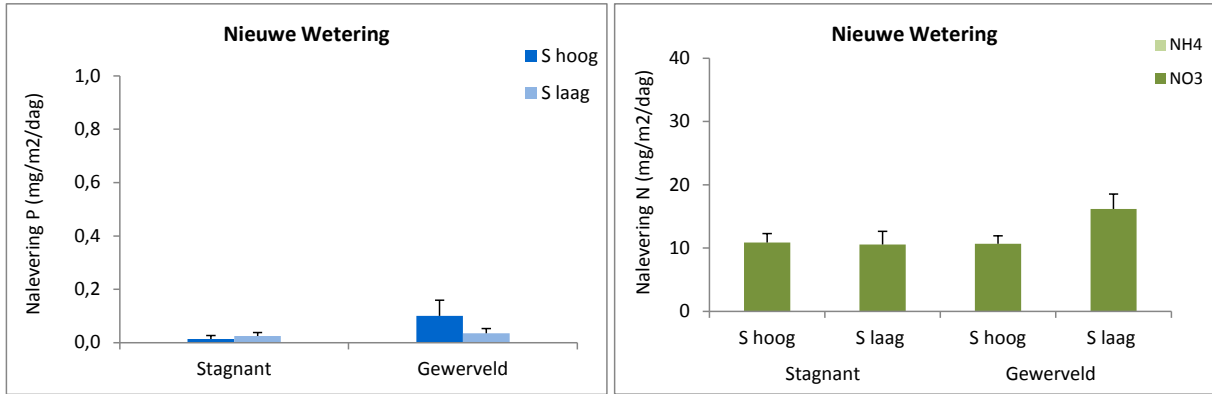
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1,2,3	6,60	4,06	63,3	8,4	1,5	128,3	1464,3	179,3	2,6	295,1	21,5
s.e.m. 1,2,3	0,46	0,11	59,3	0,9	0,3	34,6	75,1	1,4	0,9	31,1	2,2
4	7,27	2,54	0,3	0,4	0,4	1283,8	1885,0	13,7	153,3	336,1	31,9
5	7,22	2,78	0,6	17,8	5,7	676,6	1408,2	46,0	4,1	81,7	2,6
6	7,53	3,36	0,1	18,9	10,0	410,7	1397,7	21,6	2,7	72,9	1,1
7	6,90	23,85	0,7	25,1	0,9	82,4	7016,0	1720,0	5,1	3251,8	68,6

Het oppervlaktewater in de Nieuwe Wetering heeft een redelijke kwaliteit, al is zwavel in relatief hoge concentraties aanwezig. Verder is ortho-fosfaat op locatie 1,2 en 4 laag (circa 0,4 $\mu\text{mol/l}$) en op locatie 3 en 5 wat verhoogd. Op locatie 5, verzameld in de apart liggende kleinere sloot, zijn algen gesignaleerd in de waterlaag tijdens het bemonsteren. Stikstofconcentraties zijn overal laag, hooguit op locatie 1 en 2 beïnvloedt door aangekoppelde sloten die nitraatrijk water bevatten.

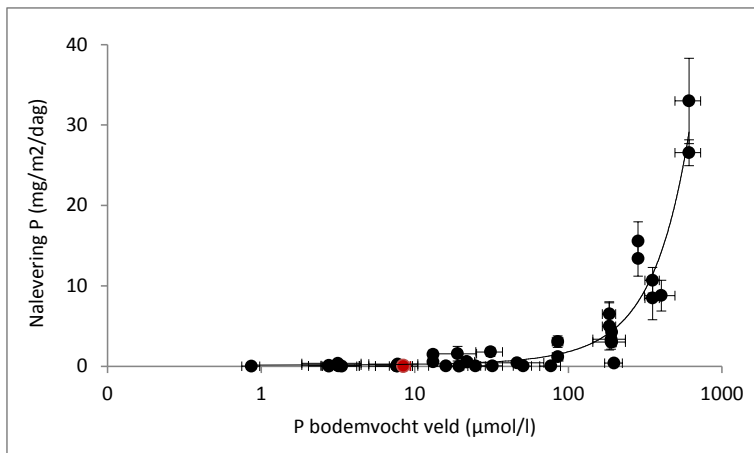
Tabel 3.80: Oppervlaktewatervormingen in de Nieuwe Wetering, waarbij de alkaliniteit is gegeven meq/l en de overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	7,32	2,50	0,47	0,45	632,99	1435,4	2,04	30,16	9,90
2	7,51	2,61	0,77	0,43	625,82	1426,6	2,60	39,95	9,29
3	7,62	2,63	2,45	1,50	615,53	1448,6	0,65	5,86	5,22
4	8,04	2,78	0,36	0,35	585,91	1440,1	0,56	2,95	2,67
5	8,68	2,27	2,90	1,41	572,50	1184,9	1,48	1,17	1,33

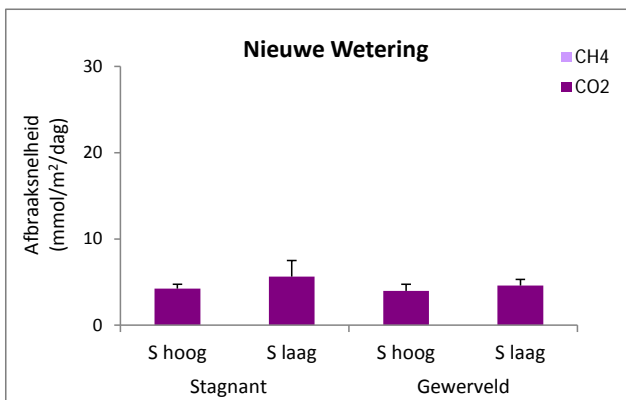
De nalevering van fosfor en stikstof vanuit de onderwaterbodem (zie figuur 3.119) zijn beide laag in de Nieuwe Wetering. Ook de overige locaties hebben nagenoeg allemaal behoorlijk gunstige uitgangssituatie wat betreft nalevering vanuit de bodem. Bij bodemlocatie 5 en 6 zou onder invloed van hoge zwavelgehalten de P-nalevering kunnen toenemen, aangezien de Fe/P ratio in het bodemvocht maar net hoger dan 1 is. De afbraaksnelheid is laag, zoals je zou kunnen verwachten bij bodems van kleiige of zandige aard.



Figuur 3.119: De nalevering van fosfor in mg/m²/dag van de onderwaterbodems van de Nieuwe Wetering onder invloed van twee verschillende oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie.



Figuur 3.120: Correlatie tussen de nalevering van fosfor uit de cilinderexperimenten en fosfor in het bodemvocht van de onderwaterbodems. Het rode punt vertegenwoordigt de bodem uit de Nieuwe Wetering.



Figuur 3.121: De afbraaksnelheid in mmol C/m²/dag van de onderwaterbodems van de Nieuwe Wetering onder invloed van twee oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie.

Grote Wetering



Figuur 3.122: Ligging van de bemonsterde locaties voor onderwaterbodem en oppervlaktewater in de Grote Wetering (uitgevoerd op 21-06-2011).

De bodem van de Grote Wetering (ook bemonsterd in het eerste jaar van Baggernut) laat een zeer laag organisch stofgehalte zien, een relatief laag vochtgehalte en een hoge bulk density. De bodem is kalkrijk en bevat een hoge concentratie ijzer (gemiddeld 225 mmol/l bodem op locatie 1-5 en gemiddeld 131 mmol/l bodem op locatie 6-10). De lage fosfor en zwavelgehalten zijn de juiste verhoudingen aanwezig en zorgen voor een gunstige uitgangssituatie waarbij de kans op nalevering gering is op alle locaties. Locatie 1 t/m 5 is het meest gunstig met Fe/P ratio van 27, een Fe/S ratio van 6 en (Fe-S)/P van 23.

In vergelijking met vorig jaar (in tussentijd gebaggerd) lijkt er niet heel veel veranderd. Locatie 1 t/m 5 heeft een lager calciumgehalte en juist een hoger gehalte aan ijzer ten opzichte van vorig jaar. Totaal fosfor is iets hoger, terwijl zwavel gelijk is. Daardoor zijn de drie ratio's voor deze locatie verbeterd ten opzichte van vorig jaar. Deze ratio's waren vorig jaar ook al zeer gunstig. Ook in de bodem van locatie 6 t/m 10 (ook vijf monsters kort bij elkaar verzameld) zijn geen belangrijke veranderingen aan het licht gekomen. Totaal calcium is gemiddeld gedaald van 153 naar 145 mmol/l bodem, totaal ijzer van 156 naar 131 mmol/l bodem, totaal fosfor van 13 naar 8 mmol/l bodem en totaal zwavel is gestegen, van 9 naar 43 mmol/l bodem. De Fe/P ratio is over het algemeen wat hoger, terwijl de Fe/S wat lager ligt (wel nog steeds ruim boven 1). De (Fe-S)/P ratio is ongeveer gelijk gebleven.

Tabel 3.81: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van de Grote Wetering in mmol/L verse bodem, tenzij anders aangegeven. Ratio's zijn in mol/mol.

	% Org. stof	% Vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1-5	1,8	23,6	1,42	10,3	95	225	9	37	27,4	6,2	22,5
s.e.m. 1-5	0,2	0,8	0,03	0,4	10	23	1	3	3,5	0,9	2,5
6	1,4	26,0	1,34	12,4	190	103	5	54	20,2	1,9	9,5
7	4,4	46,1	0,77	7,9	232	241	18	50	13,8	4,8	10,9
8	1,2	29,9	1,20	11,7	96	99	7	28	14,2	3,6	10,2
9	1,2	24,8	1,35	11,7	95	84	4	35	21,9	2,4	12,7
10	1,4	29,6	1,20	10,9	115	128	6	51	20,2	2,5	12,2

De alkaliniteit en pH van het bodemvocht zijn gemiddeld voor slibrijke locaties. De concentratie zwavel is laag en er heeft geen ophoping van sulfide plaatsgevonden. Totaal fosfor is in lage concentraties aanwezig en ook stikstof is niet erg hoog (NH₄⁺ op locatie 6 is wel wat verhoogd). Het gehalte ijzer in het bodemvocht is niet erg hoog, resulterend in een Fe/P ratio van gemiddeld 2 mol/mol op locatie 1-5 en gemiddeld 6,6 mol/mol op locatie 6-10.

Tabel 3.82: Bodemvochtmetingen in het slib van de Grote Wetering. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in µmol/l.

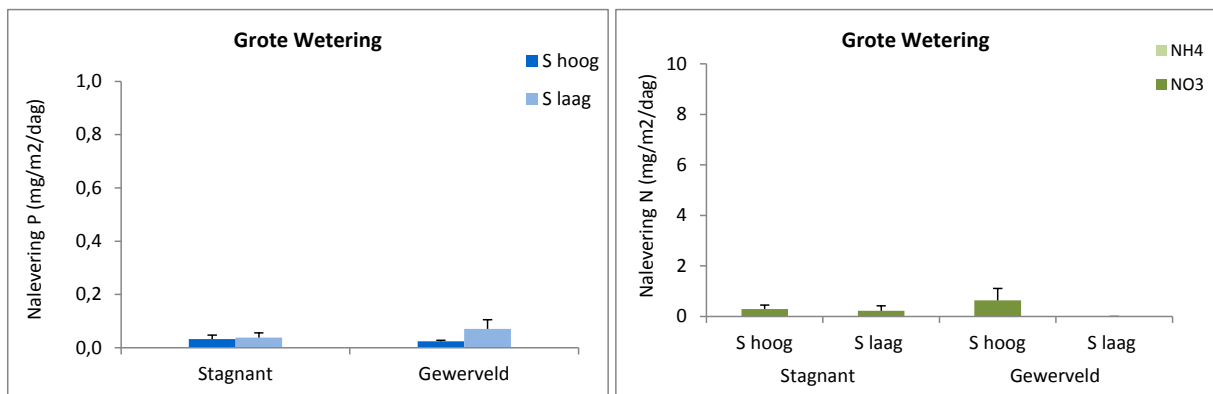
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1-5	7,71	2,96	0,0	7,7	4,6	144,3	1414,4	15,3	1,9	36,1	2,0
s.e.m. 1-5	0,04	0,11	0,0	0,9	0,7	15,0	45,1	3,3	0,2	1,9	0,4
6	7,30	4,74	0,0	26,7	5,8	325,7	1872,8	185,0	3,4	145,6	6,9
7	7,33	4,53	0,0	20,9	5,9	315,7	1813,6	125,7	1,2	96,4	6,0
8	7,53	3,66	0,0	2,9	1,5	222,4	1710,6	24,8	8,4	32,4	8,7
9	7,55	4,05	0,0	9,9	3,4	283,2	1746,3	66,8	3,1	62,8	6,7
10	7,58	3,56	0,0	7,3	1,5	265,8	1672,7	34,4	4,5	31,3	4,7

De oppervlaktewaterkwaliteit van de Grote Wetering is goed, met een gemiddelde alkaliniteit, een laag zwavelgehalte en een laag stikstofgehalte. Daarnaast is ook ortho-fosfaat laag en is de onderwatervegetatie redelijk goed ontwikkeld. Ten opzichte van vorig jaar is de concentratie PO₄ wat lager.

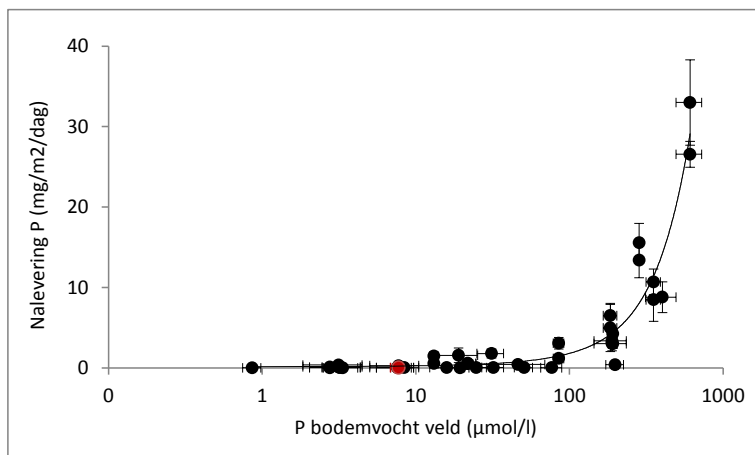
Tabel 3.83: Oppervlaktewatermetingen in de Grote Wetering, waarbij de alkaliniteit is gegeven meq/l en de overige parameters in µmol/l.

	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	7,94	2,84	0,93	0,43	123,28	1453,1	2,00	19,24	4,35
2	7,91	2,78	0,93	0,42	121,86	1431,6	1,97	19,39	4,82
3	7,99	3,35	1,00	0,41	203,38	1668,4	2,30	6,98	3,42
4	8,01	3,40	0,80	0,41	202,53	1666,7	2,35	10,10	7,30

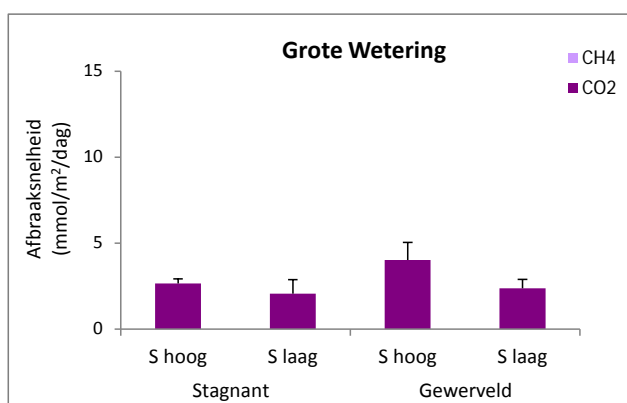
De nalevering van fosfor was vorig jaar ook al relatief laag (2010: 1 mg/m²/dag), net als in dit jaar (2011: maximaal 0,7 mg/m²/dag). Behalve de P-nalevering zijn ook de stikstofnalevering en voornamelijk de afbraaksnelheid (figuur 3.123) wat lager dit jaar. Het tussentijds baggeren lijkt de algehele kwaliteit, die vorig jaar ook al redelijk op orde was, dus ten goede gekomen te zijn.



Figuur 3.123: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in mg/m²/dag van de onderwaterbodems van de Grote Wetering onder invloed van twee verschillende oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie.



Figuur 3.124: Correlatie tussen de nalevering van fosfor uit de cilinderexperimenten en fosfor in het bodemvocht van de onderwaterbodems. Het rode punt vertegenwoordigt de bodem uit de Grote Wetering.



Figuur 3.125: De afbraaksnelheid in mmol C/m²/dag van de onderwaterbodems van de Grote Wetering onder invloed van twee oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie.

Loenderveense plas



Figuur 3.126: Ligging van de bemonsterde locaties voor onderwaterbodem en oppervlaktewater in de Loenderveense plas (uitgevoerd op 08-06-2011).

Op alle bemonsterde locaties in de Loenderveense plas is een veenbodem aangetroffen met variërende slibdikten. Het bemonsterde slib (resultaten weergegeven in tabel 3.84) heeft een hoog organisch stof en vochtgehalte, de bulk density is erg laag. De bodem is niet erg kalk- en ijzerrijk. Er is dermate weinig totaal P aanwezig in de bodem, dat ondanks de ongunstige Fe/S verhouding van 0,6 en 0,8, en negatieve (Fe-S)/P ratio's, er niet veel risico is op een P-nalevering. Ook is de fractie organisch gebonden P veel groter (gemiddeld 65%, data niet weergegeven) dan de ijzer/aluminium gebonden fractie. Dit geeft ook nog eens aan de het fosfor niet gemakkelijk mobiliseerbaar is.

Tabel 3.84: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van de Loenderveense plas in mmol/L verse bodem, tenzij anders aangegeven. Ratio's zijn in mol/mol.

	% Org. stof	% Vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1,2,3	65,0	91,0	0,09	8,2	60	28	1	45	19,8	0,6	-11,6
s.e.m. 1,2,3	0,5	0,1	0,00	0,7	4	1	0	2	0,5	0,0	0,7
4	68,1	94,4	0,05	11,3	32	19	2	24	12,0	0,8	-2,9
5	32,8	81,1	0,20	13,8	84	25	1	30	23,5	0,8	-5,6

Het bodemvocht van het slib in de Loenderveense plas kenmerkt zich door een relatief lage alkaliniteit, lage zwavelgehalten en een lage fosforconcentratie. IJzer varieert van 21 tot 39 $\mu\text{mol/l}$ en zorgt daarmee voor een gunstige Fe/P ratio. Op locatie 1,2,3 is de Fe/P ratio 7,4, op locatie 4 en 5 zelfs 11,5 resp. 21,9 mol/mol. Stikstof is wat aan de hoge kant op locatie vier (NH_4 222 $\mu\text{mol/l}$) en kan daardoor groei van wortelende waterplanten belemmeren (NH_4 toxisch vanaf 100 $\mu\text{mol/l}$ voor de meest gevoelige soorten).

Tabel 3.85: Bodemvochtmetingen in het slib van de Loenderveense plas. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

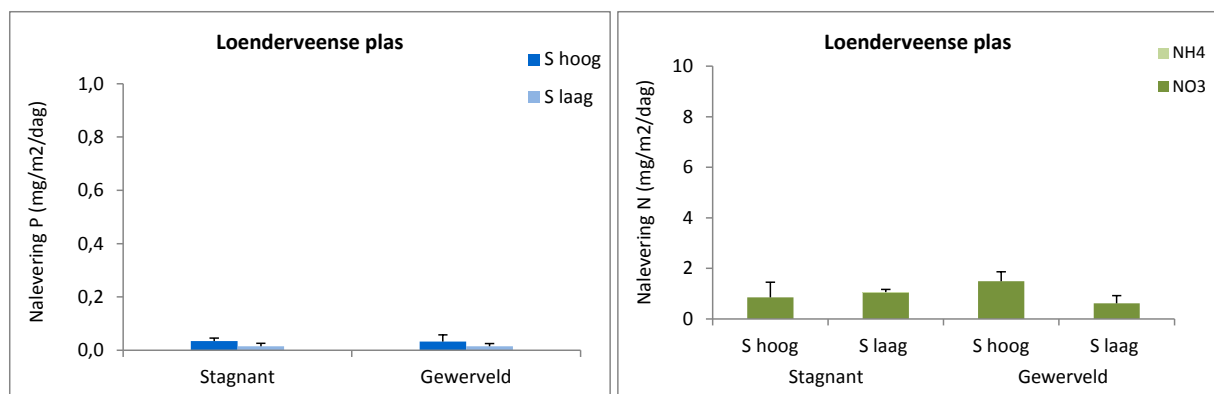
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1,2,3	7,07	2,92	1,7	3,3	1,3	74,9	1086,2	20,9	2,0	68,2	7,4
s.e.m. 1,2,3	0,02	0,32	1,1	0,8	0,3	17,2	105,5	2,9	0,5	6,8	2,5
4	6,81	2,21	1,3	3,4	1,0	143,6	793,9	38,5	1,4	222,3	11,5
5	7,22	2,84	0,9	1,2	0,5	15,9	838,1	27,2	1,3	32,5	21,9

De oppervlaktewaterkwaliteit is goed; ortho-fosfaat is op alle locaties lager dan 1, het zwavelgehalte is laag (max. 175 $\mu\text{mol/l}$) en ook het stikstofgehalte is laag. De dominante stikstofvorm is ammonium, duidend op anaërobe omstandigheden. Het water is helder en op locatie vijf is er zelfs sprake van een kranwiervegetatie.

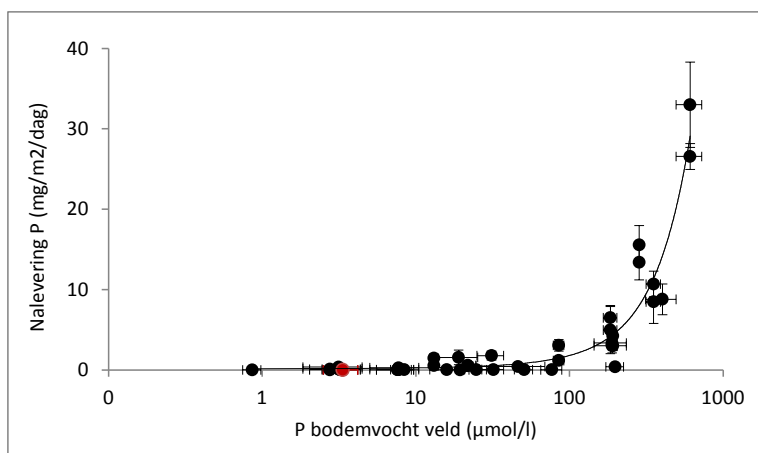
Tabel 3.86: Oppervlaktewatermetingen in de Loenderveense plas, waarbij de alkaliniteit is gegeven meq/l en de overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	8,02	1,70	0,97	0,96	174,65	857,0	0,06	2,04	16,33
2	7,76	1,64	0,74	0,70	163,80	769,7	0,09	1,63	15,86
3	8,35	1,65	0,54	0,52	166,20	819,1	0,00	2,04	3,80

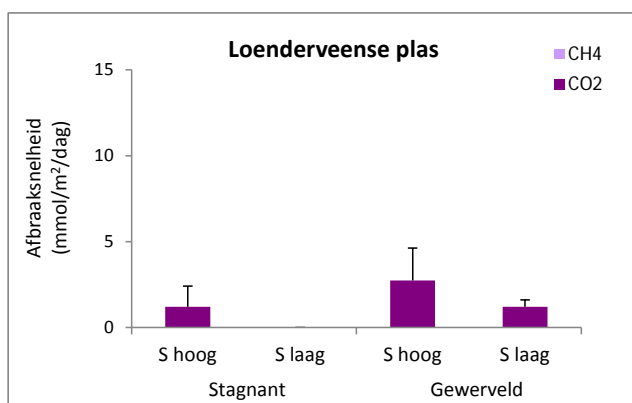
Na de gunstige resultaten wat betreft onderwaterbodem, bodemvocht en oppervlaktewater sluiten de naleveringssnelheden hier goed op aan: zowel P- als N-nalevering (figuur 3.127) zijn extreem laag. In figuur 3.128 is te zien dat de Loenderveense plas zich aan de 'onderkant' van de grafiek bevindt, met een lage nalevering en een laag P-gehalte in het bodemvocht. Aansluitend bij bovenstaand verhaal is ook de afbraaksnelheid zeer laag (figuur 3.129), zeker voor een venige bodem zoals aangetroffen op deze locatie.



Figuur 3.127: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in $\text{mg/m}^2/\text{dag}$ van de onderwaterbodems van de Loenderveense plas onder invloed van twee verschillende oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie.



Figuur 3.128: Correlatie tussen de nalevering van fosfor uit de cilinderexperimenten en fosfor in het bodemvocht van de onderwaterbodems. Het rode punt vertegenwoordigt de bodem uit de Loenderveense plas.



Figuur 3.129: De afbraaksnelheid in mmol C/m²/dag van de onderwaterbodems van de Loenderveense plas onder invloed van twee oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie.

Westbroekse Zodden



Figuur 3.130: Ligging van de bemonsterde locaties voor onderwaterbodem en oppervlaktewater in de Westbroekse Zodden (uitgevoerd op 29-06-2011).

De bodem op de bemonsterde locaties 1,2,3 en 4 van de Westbroekse Zodden bestaat bijna geheel uit zand, met een dunne laag veen erboven. Op locatie vijf is wel slib aangetroffen, dit is ook terug te zien aan het vochtgehalte en de bulk density (tabel 3.87). De verhouding tussen de verschillende bodemparameters is op locatie 1,2,3 het meest gunstig: weinig zwavel, een zeer lage fosfor concentratie en voldoende ijzer. Op deze locatie is de kans op nalevering dan ook zeer gering. Locatie 4 heeft ongeveer 50% meer ijzer in de bodem, maar ook 10 keer zoveel fosfor, waardoor de Fe/P ratio lager uitkomt (5,1). De zwavelconcentratie is echter ook laag op deze locatie, waardoor de ratio's Fe/S en (Fe-S)/P gunstig uitpakken. Op locatie vijf is de kans op nalevering groter doordat vrijwel alle ijzer uit de bodem is verdwenen; de ratio's zijn dan ook ongunstig.

Tabel 3.87: Gemeten parameters in de onderwaterbodem van de Westbroekse Zodden in mmol/L verse bodem, tenzij anders aangegeven. Ratio's zijn in mol/mol.

	% Org. stof	% Vocht	Bulk density (kg dw/l fw)	% CaCO ₃	Ca totaal	Fe totaal	P totaal	S totaal	Fe/P totaal	Fe/S totaal	(Fe-S)/P totaal
Gem. 1,2,3	5,8	43,6	0,82	13,6	66	26	1	13	17,5	2,0	8,5
s.e.m. 1,2,3	3,0	3,3	0,09	0,3	9	3	0	2	0,9	0,1	0,7
4	7,1	52,1	0,62	12,7	144	52	10	22	5,1	2,3	2,9
5	12,0	95,1	0,05	11,6	24	8	2	23	4,6	0,4	-8,4

Het bodemvocht van de bodems uit de Westbroekse Zodden laat wisselende resultaten zien. De alkaliniteit op locatie 4 is behoorlijk verhoogd (samen met het calciumgehalte, duidend op gebufferde omstandigheden), terwijl locatie 1,2,3 en 5 ongeveer de helft lager zijn (3 en 2,3 meq/l). De verhouding tussen ijzer en fosfor is voor locatie 1,2,3 en 4 gunstig (42 - 130 mol/mol), terwijl het voor locatie vijf ongunstig is door een hoge P-concentratie en een lage Fe-concentratie (0,7 mol/mol, Fe/P < 1 betekent een groot risico op P-mobilisatie). Indien de Fe/P ratio hoger is dan 10, is de kans op P-mobilisatie bij toenemende zwavelconcentraties zeer gering. De

concentratie ammonium is alleen hoog op locatie 5, een dergelijke concentratie is toxisch voor waterplanten.

Tabel 3.88: Bodemvochtmetingen in het slib van de Westbroekse Zodden. De alkaliniteit is gegeven in meq/l, overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

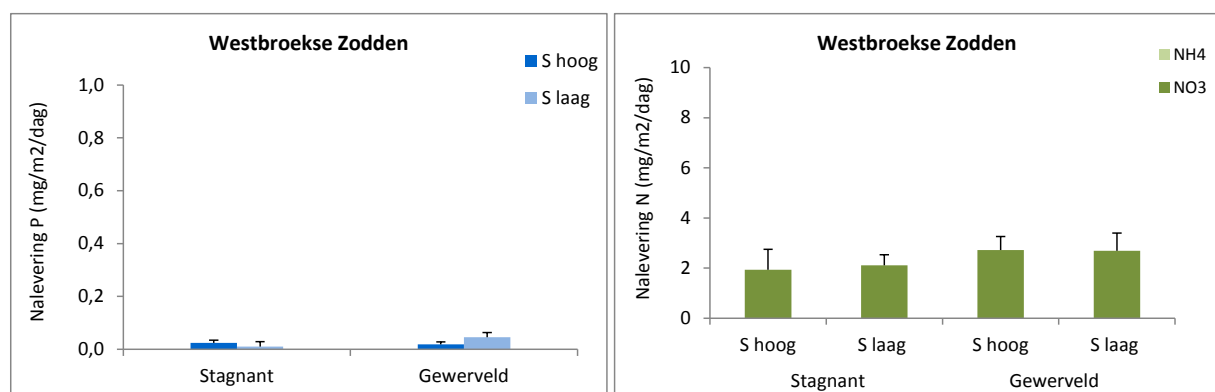
	pH	Alkaliniteit	Sulfide	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄	Fe/P
Gem. 1,2,3	7,11	2,99	0,0	0,9	0,2	27,4	1298,2	43,3	2,9	75,7	42,5
s.e.m. 1,2,3	0,09	1,27	0,0	0,1	0,1	2,0	445,9	33,0	1,7	2,0	28,8
4	7,27	6,18	0,0	2,5	0,1	41,8	2467,8	331,4	1,5	17,8	130,4
5	6,67	2,32	0,0	16,3	12,4	46,9	614,5	12,2	1,1	306,9	0,7

Het oppervlaktewater van alle locaties heeft een laag zwavelgehalte en een laag stikstofgehalte. Alleen op locatie 3 is er kans op algenbloei, af te lezen aan de verhoogde ortho-fosfaat concentratie. De waterdiepte van deze locatie is met 10-20 cm ook wel erg gering, de overige locaties hebben een waterdiepte van 40 cm (locatie 1,2,3) en 80 cm (locatie 4).

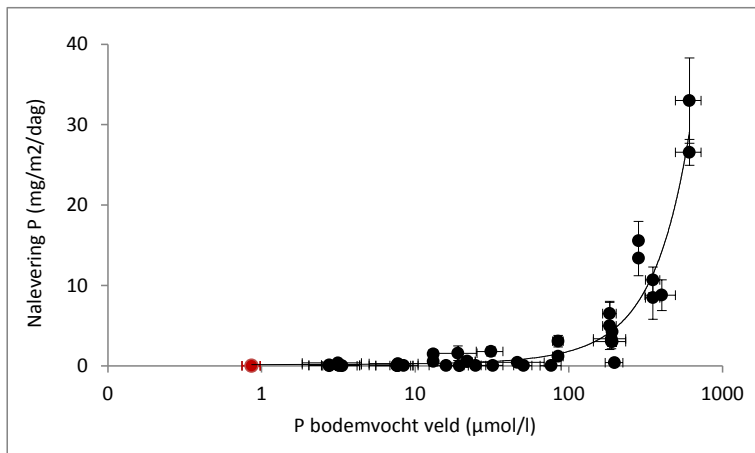
Tabel 3.89: Oppervlaktewatervormingen in de Westbroekse Zodden, waarbij de alkaliniteit is gegeven meq/l en de overige parameters in $\mu\text{mol/l}$.

	pH	Alkaliniteit	P	PO ₄	S	Ca	Fe	NO ₃	NH ₄
1	7,53	3,51	0,69	0,10	43,87	1544,9	41,15	3,92	16,68
2	7,45	2,58	0,64	0,09	40,29	1110,0	32,43	2,32	7,51
3	7,36	1,27	4,00	2,56	88,59	498,0	3,11	1,20	7,64

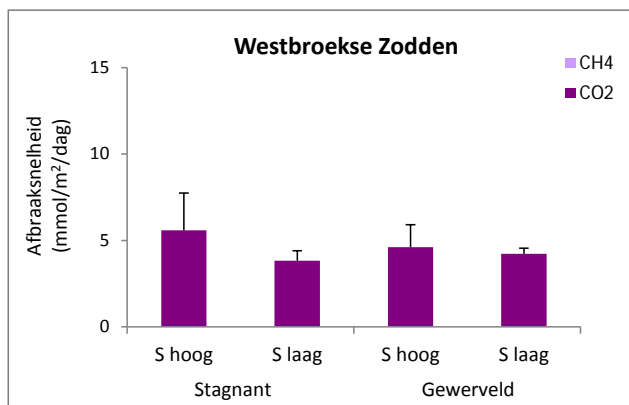
De sublocatie in de Westbroekse Zodden waarvan de nalevering is gemeten laat gunstige resultaten zien: een lage N- en P-nalevering (figuur 3.131) en een zeer geringe afbraaksnelheid (figuur 3.133). Locatie vier zou, afgaand op de bodem- en bodemvochtresultaten, vermoedelijk hetzelfde resultaat geven, maar locatie vijf is geheel anders. Met een negatieve (Fe-S)/P ratio en een Fe/P bodemvocht ratio lager dan 1 is de kans op nalevering van fosfor groot. De voorraad P in de bodem is erg laag, wat een voordeel is. Echter, de ondiepe situatie zorgt ervoor dat het water erg snel op kan warmen in de zomer, waarbij de nalevering toeneemt en algen wellicht eerder in het seizoen kunnen profiteren.



Figuur 3.131: De nalevering van fosfor (links) en stikstof (rechts) in $\text{mg/m}^2/\text{dag}$ van de onderwaterbodems van de Westbroekse Zodden onder invloed van twee verschillende oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie.



Figuur 3.132: Correlatie tussen de nalevering van fosfor uit de cilinderexperimenten en fosfor in het bodemvocht van de onderwaterbodems. Het rode punt vertegenwoordigt de bodem uit de Westbroekse Zodden.



Figuur 3.133: De afbraaksnelheid in mmol C/m²/dag van de onderwaterbodems van de Westbroekse Zodden onder invloed van twee oppervlaktewaterbehandelingen, gemeten in een stagnante en een gewervelde situatie.

4. Conclusies MIND-Baggernut

Hieronder zijn de voornaamste conclusies van het twee-jarige MIND-gedeelte van het Baggernutonderzoek samengevat:

Algemeen

- Er bestaan, zoals verwacht, **grote verschillen in watertypen en P-mobilisatie** tussen de verschillende locaties.
- Waterbeheer is ook **waterbodembeheer**, en daarmee is het essentieel voor waterbeheerders om ook **bodem(vocht)monsters** te nemen.
- Dit onderzoek levert, in combinatie met de Quickscan van het programma Baggernut, **eenvoudige en goedkope tools** voor de inschatting van interne mobilisatie van nutriënten en, in mindere mate, afbraaksnelheid voor de deelnemende waterbeheerders en overige waterbeheerders in Nederland (en daarbuiten).
- Deze waarden kunnen gebruikt worden in **nutriëntenbalansen** en voor de keuze van **beheersmaatregelen** ter verbetering van de waterkwaliteit.

P-mobilisatie

- De biogeochemische **P-mobilisatie** (flux) van de bodem naar de waterlaag blijkt goed voorspelbaar en standaardiseerbaar aan de hand van eenmalige bodemmeting (concentratie).
- De P-concentratie in het anaëroob bemonsterde bodemvocht blijkt de beste voorspellende waarde te hebben, de Fe-concentratie hoeft hierbij (vooralnog) niet betrokken te worden. Dit zal anders zijn bij (zeer) hoge Fe-concentraties in het bodemvocht.
- Het bodemvocht kan op eenvoudige wijze **anaëroob in het veld verzameld** worden (vacuüm extractie bodemvocht met keramische cup en spuit) of in een vers, anaëroob monster in het lab (rhizon monsteraars met spuiten). Het is hierbij wel van belang om precipitatie van ijzer en fosfaat (artefact door oxidatie) in het monster te voorkomen.
- Hiermee is dus **voor de waterbeheerder een eenvoudige, gestandaardiseerde en goedkope methode** beschikbaar om de interne bijdragen aan de eutrofiëring van oppervlaktewateren (interne eutrofiëring) te kunnen schatten, wat van groot belang is bij het opstellen van nutriëntenbalansen en het definiëren van kosteneffectieve maatregelen.
- De P-mobilisatie kan in **drie trajecten** onderverdeeld worden:

Totaal opgelost P in bodemvocht	P flux bij 15 ⁰ C
< 10 µmol/l (<0.3 mg P/l)	lage nalevering (0-0.4 mg/m ² /dag)
10 - 100 µmol/l (0.3-3 mg P/l)	0-3 mg/m ² /dag; voor exacte waarden zijn fluxmetingen nodig
> 100 µmol/l (>3 mg P/l)	te berekenen met formule

- Voor de **inschatting van de P-nalevering na baggeren** kan het beste de Olsen-P concentratie van de onderliggende bodemlaag gebruikt worden. P in bodemvocht is hiervoor niet geschikt.
- Aanvullend onderzoek binnen Baggernut (eindrapportage Baggernut) richt zich op de rol van vegetatie en visstand bij de nalevering van nutriënten.

Waterkwaliteit en P-mobilisatie

- Verhoogde **sulfaatconcentraties** kunnen tot verdubbeling of meer van de P-mobilisatie leiden; dit kan echter zowel bij lage als bij zeer hoge P-naleveringswaarden.
- Vooralsnog is er nog geen eenvoudige voorspellende factor beschikbaar om de sulfaatgevoeligheid van wateren in te schatten. De bodemkernproeven bleken wel geschikt om deze gevoeligheid in te schatten.
- De **hardheid** van het oppervlaktewater heeft, binnen de geteste periode, geen effect op de P-mobilisatie bij de onderzochte typen bodem met relatief hoge buffercapaciteit. Naar verwachting speelt dit alleen een rol bij zure en zwakgebufferde wateren.

Temperatuur en P-mobilisatie

- De **P fluxen bij temperaturen anders dan 15 °C** kunnen met behulp van de bijgeleverde rekenmodule (Excel) eenvoudig uitgerekend worden vanuit de gestandaardiseerde P flux bij 15 °C. Deze waarden kunnen in de jaarbalans voor de verschillende tijden in het jaar gebruikt worden.
- De twee opeenvolgende jaren gaven geen verschil. Het is echter belangrijk om de **effecten van het weer**, met name in het voorjaar, op de nalevering van P en helderheid beter te onderzoeken. Er zijn namelijk indicaties dat dit een prominente rol speelt bij de ontwikkeling van waterplanten (versus algen), en daarmee op de helderheid van het water.

N-mobilisatie

- De **netto N-mobilisatie naar de waterlaag** (i.e., zonder de N-verliezen naar de atmosfeer) is niet goed voorspelbaar aan de hand van de N-concentratie in het bodemvocht.
- De N-mobilisatie is echter sterk gecorreleerd met de P-mobilisatie, behalve voor bodems die nauwelijks P naleveren. Hiermee kan in principe de N-mobilisatie ook redelijk **ingeschat worden aan de hand van de P-concentratie** in het bodemvocht.

Bodemtype en nalevering

- De snelheid van interne nutriëntenmobilisatie is niet gekoppeld aan de snelheid van bodemafbraak (**decompositie**), maar aan de mate van P- en N-beschikbaarheid voor mobilisatie.
- Het **bodemtype** heeft geen voorspellende waarde voor de nalevering.

Werveling

- De toegepaste **werveling** had geen effect op zowel P- als N-nalevering. Bij werveling is er geen toename van zuurstof in de waterlaag geconstateerd, maar juist een afname veroorzaakt door zuurstof consumptie van rondzwevend organisch materiaal.

Decompositie en baggerproductie

- De snelheid van **decompositie** is niet voorspelbaar aan de hand van de gemeten bodemparameters, inclusief de geavanceerde organisch-stoffractioneringen. Hiermee is de **baggerproductie** helaas nog niet voorspelbaar gebleken.
- Bij een alkaliniteit van het bodemvocht van 2.5 meq/l of hoger blijkt de decompositie voor 50% te correleren met de alkaliniteit, anders dan bij lage alkaliniteit. Hiermee kan een **hoge alkaliniteit (≥2.5 meq/l)** als **indicatieve schatting voor de afbraaksnelheid** gebruikt worden. Bij een lage alkaliniteit is dit niet mogelijk.



Literatuur

- Boers, P.C.M., 1986. Studying the phosphorus release from the Loosdrecht Lakes sediments, using a continuous flow system. *Aquatic Ecology* 20: 51-60.
- Downing, J.A. & E. McCauley, 1992. The nitrogen - phosphorus relationship in lakes. *Limnology & Oceanography* 37: 936-945
- Evers, C.H.M. & R.A.E. Knoben, 2007. *Omschrijving MEP en maatlatten voor sloten en kanalen voor de Kaderrichtlijn water*. Rapport / STOWA (2007 32b), Utrecht, 144 p.
- Geurts, J., J. Sarneel, M. Dionisio Pires, G. Milder-Mulderij, J. Schouwenaars, M. Klinge, J. Verhoeven, S. van der Wielen, N. Jaarsma, W. Verberk, H. Esselink, B. Ibelings, E. van Donk, J. Roelofs & L. Lamers, 2008. *Onderzoek ten behoeve van het herstel en beheer van Nederlandse laagveenwateren*. Tussentijdse OBN-rapportage (Fase 2, tweede onderzoekjaar april 2008). Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Directie Kennis.
- Geurts J.J.M., A.J.P. Smolders, A.M. Banach, J.P.M. Van de Graaf, J.G.M. Roelofs & L.P.M. Lamers, 2010. The interaction between decomposition, net N and P mineralization and their mobilization to the surface water in fens. *Water Research* 40: 3487-3495.
- Goering, HK & PJ van Soest, 1972. *Forage fiber analyses, apparatus, reagents, procedures and some applications*. Agriculture Handbook 379, US Department of Agriculture, pp 1-20.
- Gulati, R. D., L. M. Dionisio Pires & E. van Donk, 2008. Lake restoration studies: failures, bottlenecks and prospects of new ecotechnological measures. *Limnologica* 38:233-247.
- Hovenkamp-Obbema, I. & L. Bijlmakers, 2001. Van troebel naar helder slotwater. *H2O* 34 (2): 11-14.
- Janse, J.H., 2005. *Model studies on the eutrophication of shallow lakes and ditches*. Proefschrift Wageningen Universiteit, Wageningen.
- Jeppesen E., M. Sondergaard & J.P. Jensen, 2005. Lake responses to reduced nutrient loading - an analysis of contemporary long-term data from 35 case studies. *Freshwater Biology* 50 (10): 1747-1771.
- Klinge, M., 2008. *Bureaustudie invloed aalscholvers IJsselmeer en Markermeer op visstand en beroepsvisserij*. Witteveen + Bos, Deventer.
- Lamers L.P.M., H.B.M. Tomassen & J.G.M. Roelofs, 1998. Sulfate induced eutrophication and phytotoxicity in freshwater wetlands. *Environmental Science & Technology* 32: 199-205.
- Lamers L.P.M., S.-J. Falla, E.M. Samborska, I.A.R. Van Dulken, G. van Hengstum & J.G.M. Roelofs, 2002a. Factors controlling the extent of eutrophication and toxicity in sulfate-polluted freshwater wetlands. *Limnology & Oceanography* 47: 585-593
- Lamers, L.P.M., A.J.P. Smolders & J.G.M. Roelofs, 2002b. The restoration of fens in the Netherlands. In: Nienhuis PH & Gulati R (eds.), *The ecological restoration of wetlands in the Netherlands*. Kluwer, Amsterdam. Also in *Hydrobiologia* 478: 107-130.
- Lamers L., Geurts J., Bontes B., Sarneel J., Pijnappel H., Boonstra H., Schouwenaars J., Klinge M., Verhoeven J., Ibelings B., Van Donk E., Verberk W., Kuijper B., Esselink H. & Roelofs J., 2006. *Onderzoek ten behoeve van het herstel en beheer van Nederlandse laagveenwateren. Eindrapportage 2003-2006*. Rapport DK-LNV nr. 2006/057-O, Ede.

- Lamers, L. (red.), J. Sarneel, J. Geurts, M. Dionisio Pires, E. Remke, H. van Kleef, M. Christianen, L. Bakker, G. Mulderij, J. Schouwenaars, M. Klinge, N. Jaarsma, S. van der Wielen, M. Soons, J. Verhoeven, B. Ibelings, E. van Donk, W. Verberk, H. Esselink & J. Roelofs, 2010. *Onderzoek ten behoeve van het herstel en beheer van Nederlandse laagveenwateren*. OBN Eindrapportage 2006-2009 (Fase 2). Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Directie Kennis, 251 pp.
- Ligtvoet, W. & P. Cleij, 2008. *Kwaliteit voor later: ex ante evaluatie Kaderrichtlijn water*. Planbureau voor de Leefomgeving, Bilthoven, 212 pp.
- Lijklema, L. 1985. Stabilization of organic-carbon and nitrogen in consolidating benthal deposits - discussion. *Water science and technology* 17 (8): 1334-1335.
- Lucassen, E.C.H.E.T., 2003. *Biogeochemical Constraints for Restorations of Sulphate-rich Fens*. Proefschrift Katholieke Universiteit Nijmegen, Nijmegen.
- Michielsen, B., L. Lamers & F. Smolders (2007). Interne eutrofiëring van veenplassen belangrijker dan voorheen erkend? *H₂O* 8: 51-54.
- Mitsch, W.J. & J.G. Gosselink. 1993. *Wetlands*, 2nd Ed. John Wiley & Sons, New York. 722 pp.
- Poelen, M., L. van den Berg, R. Bakkum en L. Lamers, 2011a. Quickscan voor inschatting interne nutriëntenmobilisatie. *H₂O* 22: 39-42.
- Poelen, M.D.M., van den Berg, L.J.L., ter Heerdt, G.N.J., Bakkum, R., Smolders, A.J.P., Jaarsma, N.G., Brederveld, R.J. en Lamers, L.P.M., 2011a. *WaterBODEMbeheer in Nederland: Maatregelen Baggeren en nutriënten (BAGGERNUT) - Metingen Interne Nutriëntenmobilisatie en Decompositie (MIND-BAGGERNUT), Tussenrapportage 2011*. B-Ware Research Centre, Nijmegen. 82 pp.
- Poelen, M., L. van den Berg, R. Bakkum & L. Lamers, 2011b. Quickscan voor inschatting interne nutriëntenmobilisatie. *H₂O* 22: 39-42
- Poelen, M.D.M., van den Berg, L.J.L., ter Heerdt, G.N.J., Bakkum, R., Smolders, A.J.P., Jaarsma, N.G., Brederveld, R.J. en Lamers, L.P.M., 2011c. *WaterBODEMbeheer in Nederland: Maatregelen Baggeren en nutriënten (BAGGERNUT) - Metingen Interne Nutriëntenmobilisatie en Decompositie (MIND-BAGGERNUT), Tussenrapportage 2012*. B-Ware Research Centre, Nijmegen. 90 pp.
- Pot, R., 2005. *Ecologische beoordeling van waterkwaliteit conform de Europese Kaderrichtlijn Water. QBWat Version 1.01*. Stowa / RIZA.
- Sas, H. & I. Ahlgren, 1989. *Lake restoration by reduction of nutrient loading: Expectations, experiences, extrapolations*. Academia Verlag Richarz, Sankt Augustin, 497 pp.
- Schreijer, M., 2008. *Waterbeheer in het veenweidegebied : pappen en nathouden? Beleidsnotitie*. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, 19 pp.
- Smolders AJP, Lamers LPM, Moonen M, Zwaga K, Roelofs JGM, 2001. Controlling phosphate release from phosphate-enriched sediments by adding various iron compounds. *Biogeochemistry* 54: 219-228.
- Smolders A.J.P., L.P.M. Lamers, E.C.H.E.T. Lucassen, G. Van der Velde & J.G.M. Roelofs, 2006. Internal eutrophication: 'How it works and what to do about it', a review. *Chemistry and Ecology* 22: 93-111.
- Van der Heide, T., A.J.P. Smolders, L.P.M. Lamers, M.M. van Katwijk MM & J.G.M. Roelofs, 2010. Nutrient mobility correlates with bicarbonate accumulation in marine and freshwater sediments - empirical evidence from pore water analyses. *Applied Geochemistry* 25: 1825-1829.

Bijlagen

BIJLAGE I: Conversietabel van $\mu\text{mol/l}$ naar mg/l voor de belangrijkste parameters in het bodemvocht en het oppervlaktewater (zie ook bijgevoegde excelfile 'de Zoutjes' voor meer informatie).

	$\mu\text{mol/l}$	mg/l
Fe	10	0,6
	50	2,8
	100	5,6
Ca	50	2,0
	500	20,0
	1000	40,1
	2000	80,2
S	50	1,6
	200	6,4
	500	16,0
P / PO ₄ -P	1	0,0
	5	0,2
	20	0,6
	100	3,1
PO ₄	1	0,1
	5	0,5
	20	1,9
	100	9,5
N / NH ₄ -N / NO ₃ -N	5	0,1
	20	0,3
	100	1,4
	500	7,0
NO ₃	5	0,3
	20	1,2
	100	6,2
NH ₄	50	0,9
	200	3,6
	500	9,0

BIJLAGE II: Conversietabel van mmol per liter vers naar mmol per kilogram droog sediment met behulp van de bulk density van het bodemmonster, te gebruiken voor totaalgehalten in het sediment.

Bulk density (kg droog/l vers)	mmol per liter vers sediment	mmol per kilogram droog sediment
0,1	5	50,0
0,3	5	16,7
0,6	5	8,3
1	5	5,0
1,5	5	3,3
0,1	10	100,0
0,3	10	33,3
0,6	10	16,7
1	10	10,0
1,5	10	6,7
0,1	20	200,0
0,3	20	66,7
0,6	20	33,3
1	20	20,0
1,5	20	13,3
0,1	50	500,0
0,3	50	166,7
0,6	50	83,3
1	50	50,0
1,5	50	33,3
0,1	100	1000,0
0,3	100	333,3
0,6	100	166,7
1	100	100,0
1,5	100	66,7
0,1	1000	10000,0
0,3	1000	3333,3
0,6	1000	1666,7
1	1000	1000,0
1,5	1000	666,7
0,1	5000	50000,0
0,3	5000	16666,7
0,6	5000	8333,3
1	5000	5000,0
1,5	5000	3333,3

