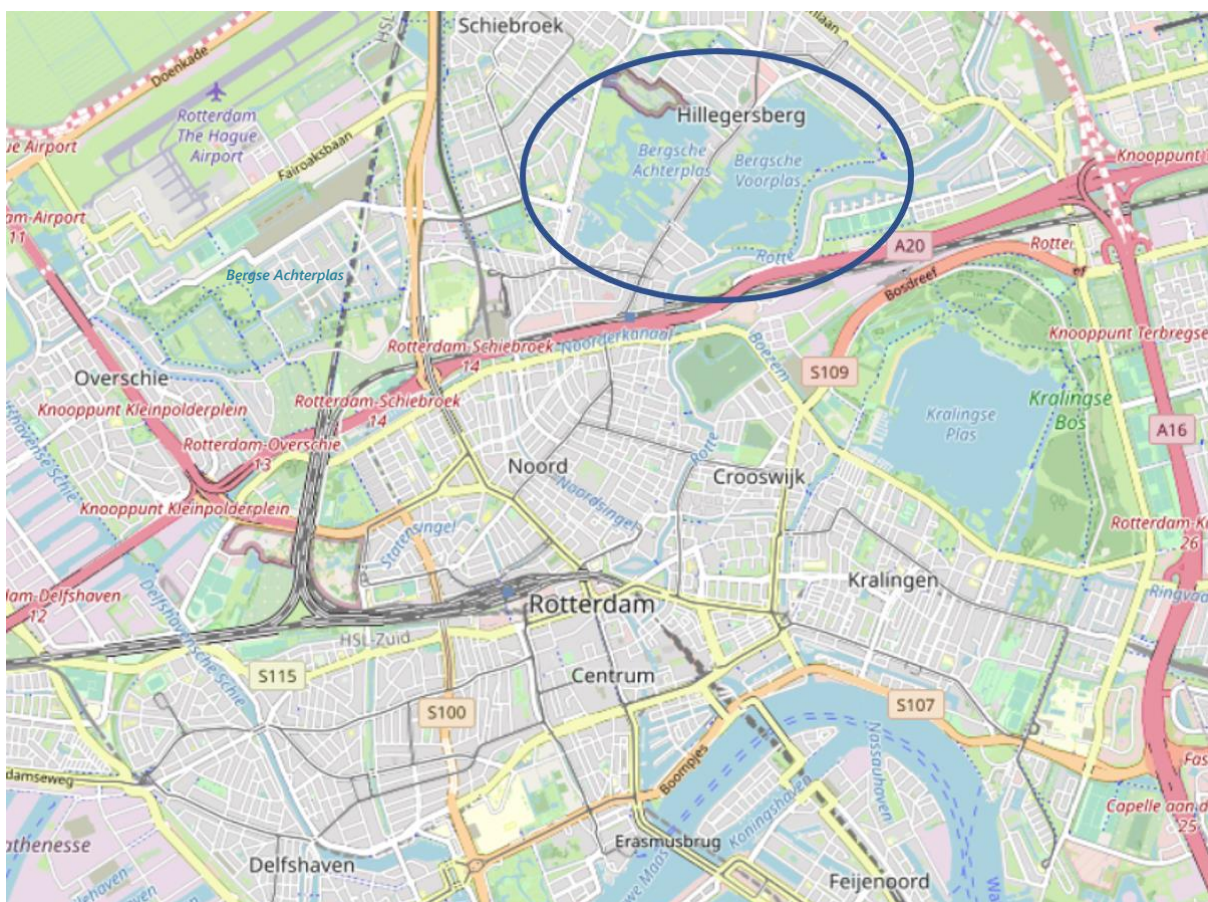


Sediment afdekken. Werkt dat langdurig tegen nalevering van nutriënten?

Leonard Osté (Deltares), Peter Overvest (Sanitas Water), Jack Hemelraad (Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard)

De waterbodems van de Bergse Plassen in Rotterdam zijn afgedekt met zand en deels met aluminiumhydroxide om nalevering van nutriënten tegen te gaan. Uit monitoring van het sediment blijkt dat het zand een duurzame fysieke barrière vormt tussen het oude eutrofe slib en het oppervlaktewater. De poriewaterconcentraties in de zandlaag blijven lange tijd lager dan in het oorspronkelijke slib en waar aluminiumhydroxide is toegevoegd, zijn de poriewaterconcentraties ook na tien jaar nog verlaagd. De binding van fosfaat aan aluminiumhydroxide in het veld blijkt ongeveer gelijk aan de vooraf berekende bindingscapaciteit op basis van laboratoriumexperimenten.

De Bergse Plassen in Rotterdam-Noord (afbeelding 1) zijn ontstaan door ontvening. De plassen zijn circa 2 meter diep en zijn via een smalle watergang met elkaar verbonden. De verblijftijd van het water in de Bergse Achterplas is ongeveer 400 dagen en in de Bergse Voorplas ongeveer 200 dagen [1].



Afbeelding 1. Ligging van de Bergse Plassen in Rotterdam-noord. Het linkerdeel is de Bergse Achterplas en het rechterdeel de Bergse voorplas [2]

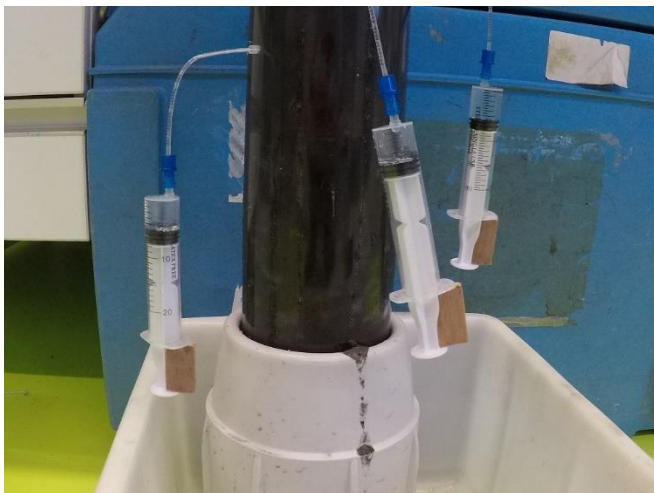
Tot 1997 voldeed de waterkwaliteit jarenlang niet aan de doelstellingen: er was jaarlijks een ernstige blauwalgenbloei, het water was bacteriologisch onbetrouwbaar en de ecologie bleef achter bij het gewenste beeld [3]. Om deze problemen op te lossen, is er een samenhangend maatregelenpakket opgesteld. Een van de maatregelen was gericht op het tegengaan van interne eutrofiëring door de historisch opgeladen waterbodem. De waterbodem van de Achterplas is daarom tussen 2000 en 2002 gebaggerd en afgedekt met zand. De bodem van de Voorplas is in 2011 afgedekt met zand. In de Voorplas treedt fosfaatrijke kwel op vanuit de Rotte. Dit speelt het sterkst bij de dijk aan de oostzijde van de plas. Daarom is besloten om de bindingscapaciteit van de zandlaag te vergroten door aan de oostzijde van de plas een laag aluminiumhydroxide aan te brengen onder het zand, die het fosfaat in de kwelstroom chemisch bindt [4]. Het toepassen van aluminiumhydroxide onder het zand heeft twee voordelen: 1) aluminiumhydroxide blijft stabiel, omdat de pH in het sediment het hele jaar door ongeveer 7 is; 2) aluminiumhydroxides kunnen niet door opwerveling van sediment in de waterkolom terecht komen en zich verplaatsen.

Het effect van alle maatregelen op de waterkwaliteit is door het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard (HHSK) blijvend gemonitord. Specifieke monitoring van de waterbodem in de Bergse Plassen heeft plaatsgevonden in 2009 (ca. 8 jaar na het afdekken van de Achterplas en 2 jaar voor het afdekken van de Voorplas), in 2011 (kort na het afdekken van de Voorplas) en in 2012. In 2022 is de waterbodem van zowel de Achterplas als de Voorplas opnieuw gemonitord [4]. Dit artikel doet verslag van de langjarige monitoring om een antwoord te geven op de vraag wat het effect is van afdekken en hoe lang dit effect duurt.

Uitvoering monitoring

Het afdekken met zand en het toevoegen van aluminiumhydroxide is uiteindelijk gericht op het terugdringen van eutrofiëringsproblemen in de Bergse Plassen. Het direct beoogde effect is het verlagen van de fosfaatconcentratie. HHSK heeft de fosfaatconcentraties (totaal-P en ortho-P) in het oppervlaktewater gedurende lange tijd gemeten, evenals andere waterkwaliteitsparameters als chlorofyl-A. De metingen vinden plaats op twee meetpunten. Het ene meetpunt ligt in het zuiden van de Achterplas, het andere meetpunt ligt in het noorden van de Voorplas.

De monitoring van het sediment vond plaats op dezelfde manier als in voorgaande jaren (2009-2011-2012). Met doorzichtige kunststof cilinders werden kolommen gestoken in de slib-, zand- en veenlagen. Het poriewater is bemonsterd met Rhizon-poriewatersamplers, die door een geboord gat horizontaal in de kolom worden geprikt. Na poriewatermonstering wordt de kolom in lagen gesneden. De laagdikte varieert van ongeveer 2 tot 12 centimeter, afhankelijk van de laag die wordt bemonsterd. Dunne lagen worden vooral op de grensvlakken water-slib en slib-zand bemonsterd. De monsters zijn onder meer geanalyseerd op fosfor, ijzer, zwavel, stikstof en koolstof.



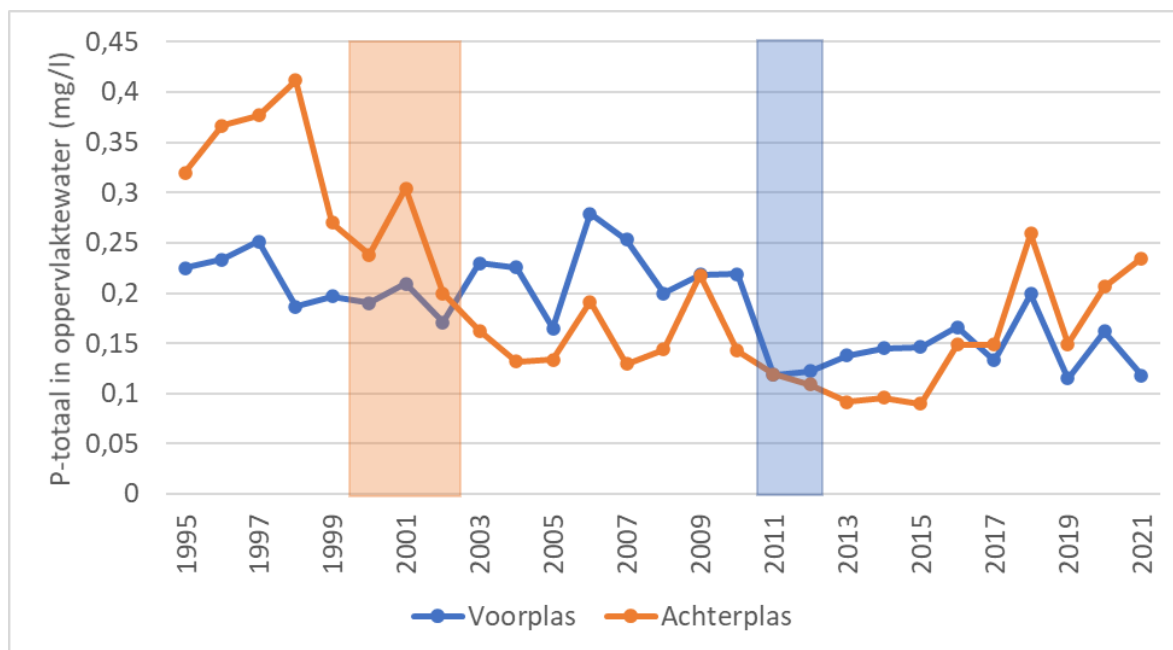
Afbeelding 2. Een gestoken kolom met horizontaal ingestoken Rhizon-samplers waarmee poriewater uit de kolom wordt gezogen

Naast de reguliere monitoring is in 2021 het toegevoegde aluminiumhydroxide apart bemonsterd en is bepaald hoeveel fosfaat daaraan is gebonden. Dit bleek mogelijk, omdat het aluminiumhydroxide na het drogen van het sediment een lichtgele kleur kreeg en daarmee visueel te onderscheiden was van slib en zand. De gemeten bindingscapaciteit in het veld kon worden vergeleken met de geschatte bindingscapaciteit die in 2011 is gebruikt om aluminiumdosering te bepalen.

Resultaten

Effect op de oppervlaktewaterkwaliteit

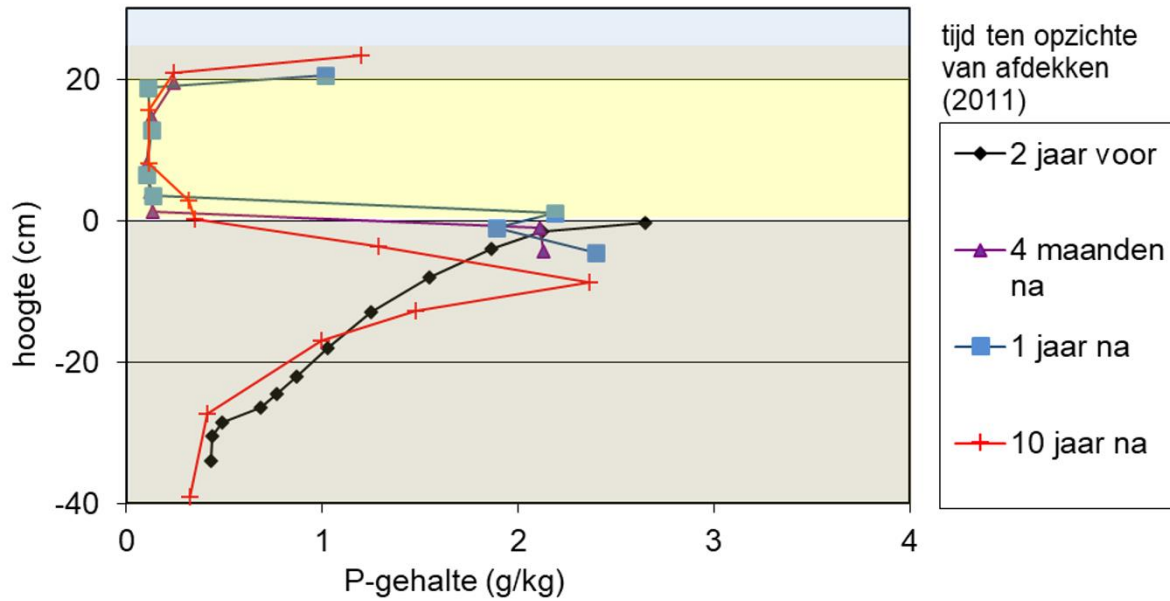
Afbeelding 3 toont de jaargemiddelde P-concentraties in het oppervlaktewater (zomer- en wintergemiddelde concentraties gaven een vergelijkbaar beeld). In de Achterplas is een sterke daling te zien vanaf eind jaren 90. In die periode zijn meerdere maatregelen genomen, zoals actief biologisch beheer, het terugdringen van emissies en het afdekken met zand. Vanaf 2015 lijkt er in de Achterplas een stijgende trend te zijn. De P-concentratie in de Voorplas was vóór de maatregelen (tot ca. 2000) lager dan in de Achterplas, maar waar de P-concentratie in de Achterplas daalde als gevolg van de maatregelen (emissies terugdringen/biologisch beheer), bleven de concentraties in de Voorplas stabiel tot 2010. Daarom is besloten het sediment alsnog af te dekken. Het afdekken is in april 2011 gestart en grotendeels in 2011 gerealiseerd. Dat is terug te zien in de jaargemiddelde P-concentratie in 2011; die daalt van 0,22 naar 0,12 mg P/l. Geleidelijk stijgt de jaargemiddelde concentratie naar 0,15 mg P/l. Na 2016 is er meer spreiding te zien, maar de concentratie lijkt vooralsnog lager te blijven dan de 0,2 mg P/l die rond 2000 werd gemeten. In de Achterplas lijkt de concentratie nog iets verder op te lopen, maar de verschillen tussen de jaren zijn relatief groot.



Afbeelding 3. Jaargemiddelde concentraties P-totaal in de Bergse Voor- en Achterplas. De balken geven de periodes weer waarin de plassen zijn afgedekt: in 1999-2002 de Achterplas en in 2011-2012 de Voorplas [5]

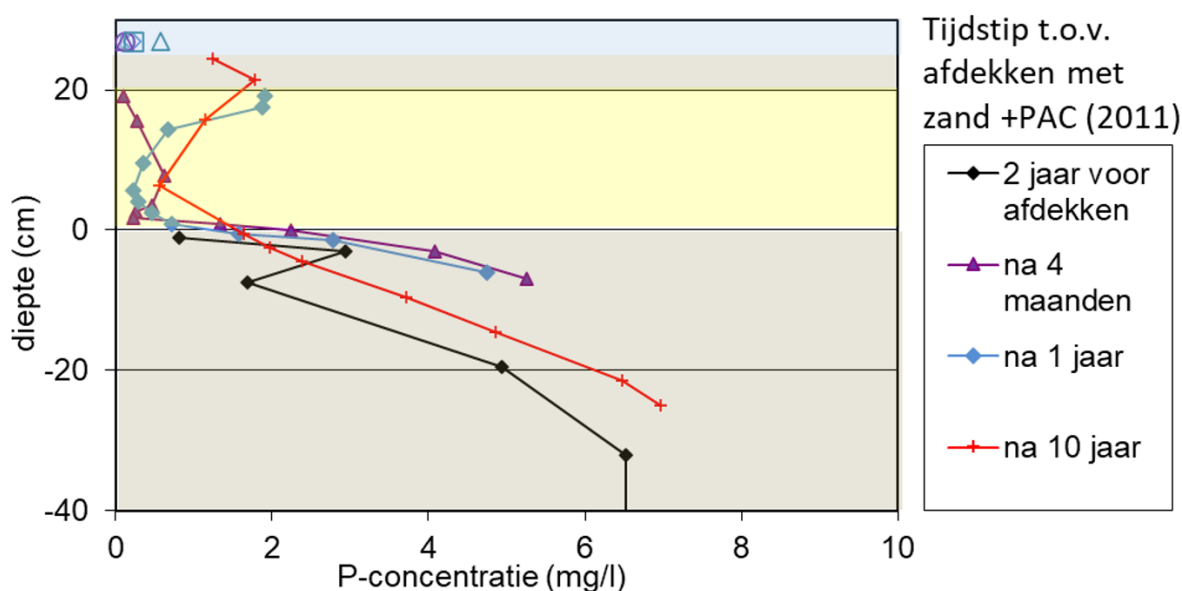
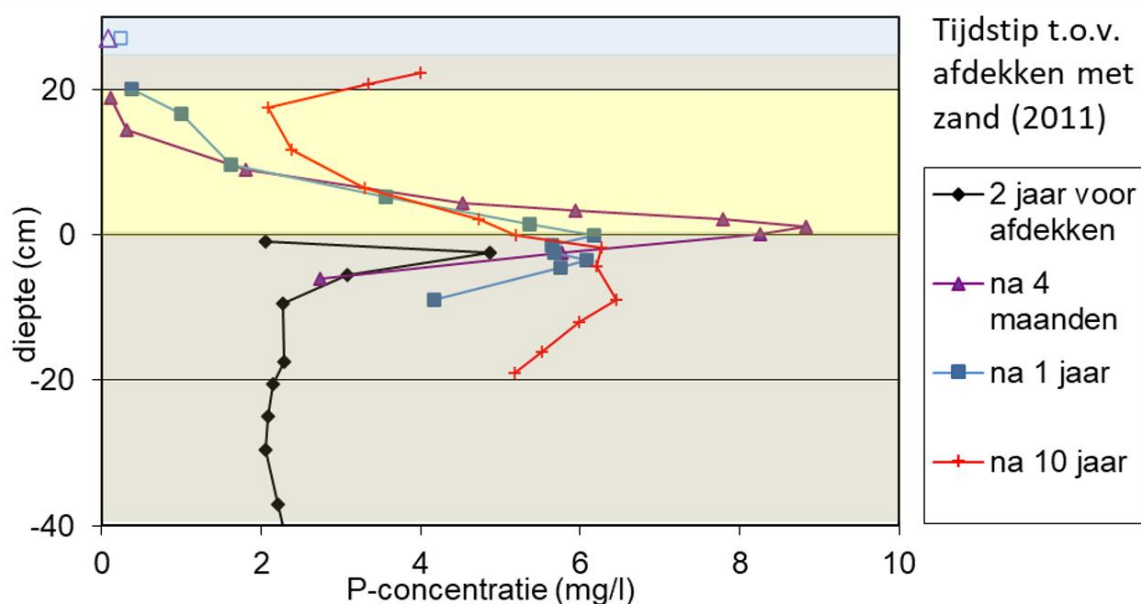
Effect op sediment en poriewater

De daling van P-concentraties in het oppervlaktewater is ook terug te zien in de sedimentprofielen. De totale P-gehalten in het sediment geven in essentie overall hetzelfde profiel: hoge gehalten (tot 5 g P/kg) in het oude slib, zeer lage gehalten (<0,2 g P/kg) in het zand (ook na 10/20 jaar) en in de tijd oplopende gehalten in het nieuw gevormde slib bovenop het zand (tot maximaal ca. 2,5 g/kg). Afbeelding 4 geeft de P-gehalten in de waterbodem op een van de locaties in de Voorplas weer. Het lijkt er op dat de P-gehalten in het nieuwe slib in het gebied met aluminiumhydroxide lager zijn, maar de spreiding is te groot om hier een conclusie op te baseren. Het P-profiel in de Achterplas is vergelijkbaar met dat in de Voorplas, maar de gehalten liggen zowel in het slib onder de zandlaag als in het slib op de zandlaag ongeveer een factor 2 hoger dan in de Voorplas.



Afbeelding 4. Voorbeeld van een P-profiel in een afgedekte bodem in de Voorplas. De nullijn is de oorspronkelijke waterbodem. Daarboven een 20 cm dikke zandlaag en ca. 5 cm nieuw gevormd slib. Bij +25 cm begint het oppervlaktewater

Waar afbeelding 4 het totaalgehalten in het sediment weergeeft, geeft afbeelding 5 de poriewaterprofielen van twee locaties in de Voorplas weer. Het verschil is dat de bovenste grafiek in afbeelding 5 een locatie is die met alleen zand is afgedekt, terwijl de onderste grafiek een locatie is met aluminiumhydroxide. Op de locatie met alleen zand ontstaat na afdekken een sterk verhoogde P-concentratie op het grensvlak tussen het oude slib en het zand (0 cm in afbeelding 5), terwijl op de locatie met aluminiumhydroxide juist een hele lage concentratie voorkomt op het grensvlak zand-oud slib. Dit is toe te schrijven aan het aluminiumhydroxide dat als 'sink' werkt voor fosfaat in poriewater. Het profiel met alleen zand geeft een duidelijke concentratiegradiënt, waarbij diffusie optreedt richting het oppervlaktewater. Het aanbrengen van aluminiumhydroxide voorkomt zo'n sterke gradiënt in de zandlaag. Hoewel er na 10 jaar nog verschil te zien is, lijkt het fosfaatporiewaterprofiel van beide locaties in 2021 wel meer op elkaar dan in 2011.



Afbeelding 5. Poriewaterprofielen voor de locatie in de Voorplas die met alleen zand is afgedekt (boven) en de locatie met aluminiumhydroxide bovenop het oude slib en onder het zand (onder). De nullijn is de oorspronkelijke waterbodem. In het geval van aluminiumhydroxidetoevoeging ligt daar een zeer dun laagje aluminium op en daarboven een 20 cm dikke zandlaag en ca. 5 cm nieuw gevormd slib. Bij +25 cm begint het oppervlaktewater

Nadere studie naar de binding van P aan aluminiumhydroxides in-situ

Het aluminiumhydroxide is zo 'puur' mogelijk verzameld, maar alle monsters bleken ook natuurlijke bestanddelen (vooral zand) te bevatten. Op basis van de vaste verhouding tussen barium en aluminium in het zand, kon geschat worden hoeveel natuurlijk aluminium aanwezig was in een monster. Voor het overige aluminium werd aangenomen dat het toegevoegd was. Omdat natuurlijk aluminiumhydroxide vooral aanwezig is als aluminiumsilicaat, zal hier nauwelijks P aan binden. Verondersteld wordt dus dat het P-gehalte in het monster volledig aan het toegevoegd aluminiumhydroxide is geadsorbeerd. Als al het P wordt gedeeld op het toegevoegde aluminium, resulteert dat in een binding van ca. 80 g P/kg Al [6]. Op basis van laboratoriumexperimenten in 2010 was geschat dat verouderde aluminiumhydroxides ongeveer 90 gram P per kilogram Al zouden kunnen binden bij

(porie)waterconcentraties van ongeveer 2 mg P/l, zoals ook gemeten op het slib/zandgrensvlak (zie onderste grafiek afbeelding 5). Bij deze poriewaterconcentratie is dus de meeste bindingscapaciteit gebruikt.

Bij een dosering van 130 g Al/m² heeft het aluminiumhydroxide ongeveer 11 gram P per m² gebonden. Ter vergelijking: Witteveen+Bos [1] schat de interne nalevering in de Voorplas – dus de hoeveelheid fosfaat die vanuit de waterbodem naar het oppervlaktewater gaat – op ongeveer 0,35 g/m²/jaar.

Conclusies

In de Voorplas is in 2011, kort na afdekken, een duidelijke daling te zien in de P-concentraties in het oppervlaktewater en lijkt ook de huidige jaargemiddelde P-concentratie (ca. 0,15 mg P/l) nog steeds iets lager te liggen dan voor het afdekken (ca. 0,2 mg/l). Bij het afdekken van de Achterplas zijn tegelijkertijd andere maatregelen uitgevoerd, wat het moeilijk maakt om een specifiek effect aan het afdekken toe te schrijven.

Afdekken leidt tot een blijvende fysieke scheiding van oud eutroof slib en het oppervlaktewater. Er treedt geen menging op. Wel ontstaat er door externe belasting nieuw slib, waarin de gehalten vooral worden bepaald door de productiviteit van de plas en mogelijk door diffusie door de zandlaag heen.

De poriewaterprofielen tonen een duidelijk en langdurig verschil tussen locaties die alleen met zand zijn afgedekt en locaties waar ook aluminiumhydroxide is toegevoegd. Aluminiumhydroxide verlaagt de concentraties op het grensvlak tussen het oude slib en de zandlaag sterk, waardoor er nauwelijks een concentratiegradiënt ontstaat in de zandlaag en er ook nauwelijks diffusie optreedt. Afdekken met alleen zand werkt in elk geval om het transport van waterbodem naar oppervlaktewater te vertragen ten opzichte van de situatie waarbij eutroof slib direct in contact staat met het oppervlaktewater.

Uit de metingen blijkt dat er ongeveer 80 gram P per kilogram Al is gebonden aan het toegevoegde aluminiumhydroxide. Dit is gelijk aan de vooraf geschatte hoeveelheid op basis van laboratoriumexperimenten in 2010. De experimenten blijken dus een goede voorspeller van de bindingscapaciteit.

Referenties

1. Witteveen+Bos (2020). *Nadere systeemanalyse Bergse Plassen*. Rapport 114985/20-003.460
2. <https://app.pdok.nl/viewer/>
3. Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard (2019). *Evaluatie Waterkwaliteit Bergse Plassen (1997-2018)*.
4. Deltares (2011). *De Bodem Bedekt. Het onderzoeken en aanbrengen van een fosfaatbindende afdeklaag in de Bergse Voorplas*. Deltares-rapport 1201913.
5. <https://www.schielandendekrimpenerwaard.nl/actueel/actuele-metingen-waterstanden-en-waterkwaliteit/>
6. Deltares (2022). *De Bodem Bedekt Revisited. Langetermijneffecten van het afdekken van de waterbodem in de Bergse Plassen met zand en aluminiumhydroxide*. Deltares-rapport 11207135-002-ZWS-0001.