



[Foto Victoria Balaca]

Een van de testlocaties: drainage met ijzerzandfilter in de ondergrond, sloot met gezond water

AUTEURS

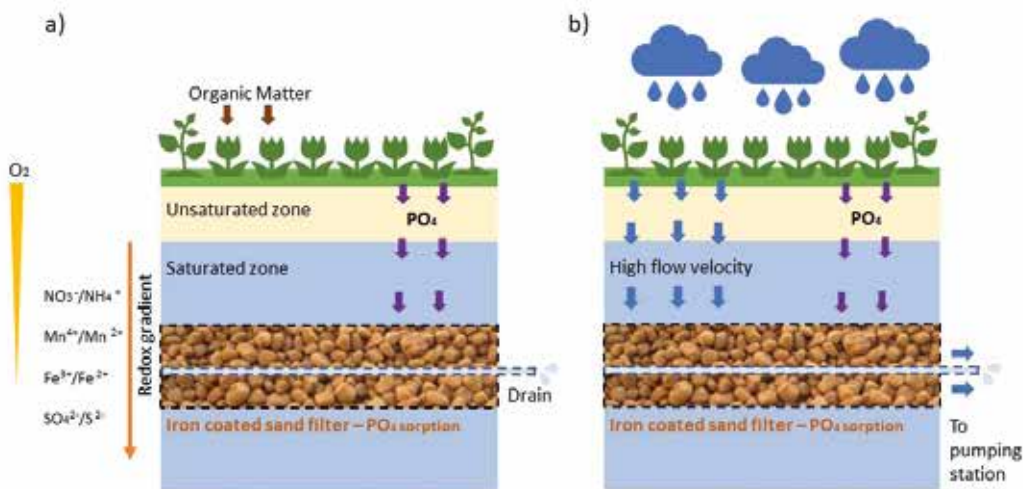
Victoria Barcala
(TAUW)Arjon Buijert
(Arcadis)Thijs Lieverse
(Arcadis)Leonard Osté
(Deltares)Joachim Rozemeijer en Stefan Jansen
(Deltares)

FOSFAATVERWIJDERING MET IJZERZANDFILTERS: WAT WERKT EN WAT NIET?

Een van de oorzaken van de slechte waterkwaliteit in Nederland is de overbelasting met fosfaat en stikstof. Een belangrijk deel van de fosfor is afkomstig van bemesting van gewassen in de landbouw. IJzerzand (ICS) kan fosfaat binden en zo voorkomen dat het fosfaat afstroomt naar rivieren en meren. Waaraan moet een goed ijzerzandfilter voldoen?

Een deel van het fosfaat uit fosforbemesting verdwijnt vanuit de bodem naar rivieren en meren, waar hoge fosfaatconcentraties tot eutrofiëring leiden. Dat is vervolgens de oorzaak van onder andere algenbloei. Om de ecologische kwaliteit van het oppervlaktewater te verbeteren is het daarom belangrijk om de diffuse verspreiding van fosfor vanuit de landbouw te verminderen. Eén van de methoden daarvoor is het te laten binden aan ijzerzand (iron coated sand, ofwel ICS). IJzerzandfilters rond drainagebuizen kunnen op die manier fosfaat buiten het drainagewater houden [1, 2].

Het vermogen van ijzerzandfilters om fosfaat te binden wordt beïnvloed door adsorptiekinetiek en redox-omstandigheden. Hoe ziet een optimaal filterontwerp eruit, rekening



Abbeelding 1. Schema van ijzerzandfilters rond drainagebuizen om fosfaat te verwijderen. De belangrijkste problemen waarvan wordt verwacht dat ze de efficiëntie van fosfaatadsorptie beïnvloeden, zijn weergegeven in a) een redoxgradiënt en in b) korte retentietijden (kinetisch effect) veroorzaakt door zware regen of pompen.

houdend met de adsorptiekinetiek en de (mogelijk verminderde) stabiliteit onder gereduceerde omstandigheden? En meer specifiek: wat is het effect op de adsorptiecapaciteit van het ICS van de verblijftijd en de stroomsnelheid in het filter? En wat gebeurt er als het filter permanent onder water staat en de omstandigheden reducerend zijn (het ijzer gaat dan roesten en vormt onder andere ijzer-(hydr)oxides)?

Het experiment

Het veldwerk voor dit onderzoek werd gedaan in twee velden in de Bollenstreek, een gebied met intensieve landbouw (bollenteelt) op zandgronden. In 2018 werd hier als experiment ijzerhoudend zand rond de drains aangebracht (afbeelding 2). Het filtermateriaal lag sindsdien gedurende lange perioden onder de grondwaterstand. Het effect van ijzerreductie op het vasthouden van fosfaat werd onderzocht in de twee proefvelden en met microkosmosexperimenten in het laboratorium. Daarnaast werden in het laboratorium kolomstudies gedaan om de adsorptiekinetiek te bepalen. [3, 4]

Doordat de drainagebuizen een groot deel van de tijd onder de grondwaterstand liggen, is de zuurstoftoevoer beperkt. In combinatie met de aanwezigheid van snel afbreekbaar organisch materiaal kan een gereduceerd milieu ontstaan doordat micro-organismen nitraat, mangaan, ijzer(hydr)oxiden, sulfaat en/of CO_2 gebruiken als terminale elektronenacceptoren (anaerobe respiratie) (afbeelding 1a).

Resultaten

We zagen dat de drie jaar oude ijzerzandfilters nog steeds efficiënt fosfaat verwijderden, ondanks de ijzer- en

mangaangereduceerde omstandigheden. Dat wil zeggen: ondanks dat het ijzer ging roesten. Ook in het laboratorium testten we het effect van het verslechteren van de omstandigheden op de stabiliteit van het ijzerzand en de adsorptie van fosfaat. De laboratoriumomstandigheden waren vergelijkbaar met die in het veld. Voor ijzerzand met een molaire P/Fe-verhouding van 0,013 en blootstellingstijden van 45 dagen bleef het fosfaat gebonden aan het ijzerzand, zelfs na het gedeeltelijk oplossen van ijzer en mangaan onder zwakke, matige en sterk gereduceerde omstandigheden. Er werden bijna geen veranderingen waargenomen in de fosfaatsorptiecapaciteit of in de minerale structuur van het ijzerzand. Onder sterk gereduceerde omstandigheden kwamen ijzer en mangaan vrij en werden lage percentages ijzersulfiden gevormd in de buitenste laag van het ijzerzand, maar zonder dat er fosfaat vrijkwam.

De stroomsnelheid in het filter beïnvloedt de retentietijd en de kinetiek van fosfaatadsorptie in de ijzerzandfilters (afbeelding 1b). Adsorptie van fosfaat aan ijzerzand vindt plaats in twee fasen: snelle adsorptie op het oppervlak van de korrels, gevolgd door langzame kinetische adsorptie in de microporiën in de ijzercoating.

Een rekenmodel voor de relatie tussen transport door stroming (advectie) en adsorptie werd door ons gekalibreerd en gevalideerd om de kinetiek van fosfaatadsorptie in ijzerzand te beschrijven. De parameters zijn gebaseerd op langdurige kolomexperimenten met twee stroomsnelheden, en beschrijven met succes adsorptie- en desorptieprocessen, zelfs in stop-flow omstandigheden. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk om de effluentfosfaatconcentraties te modelleren met verschillende

Tabel 1. Eigenschappen van ijzerzandfilters

Adsorptie (kinetische) eigenschappen	
snelle (instant) adsorptiecapaciteit	5%
langzame adsorptiecapaciteit	95%
tijd om evenwicht te bereiken	circa 300 dagen (bij 1,7 mg P/l influent)
kinetische aanbevelingen	lage stroomsnelheid (<10 cm/u), rustperioden
ontwerp- en verificatiemodel	Vrij beschikbaar op https://github.com/victoriabarcala/ICS_adsorptionmodel
Redoxgedrag	
Verwachte levensduur in matig reducerende omstandigheden	circa 20 jaar
Aanbevelingen voor redoxcondities	hogere percentage Fe als de omstandigheden meervoudig reducerend zijn
	monitoring van Mn en Fe in het uitstromende water
	<i>niet</i> aanbevolen voor drainagewater met H ₂ S

stroomsnelheden en stop-flow. Ook eventuele desorptie wordt dus berekend. [4]. (Onze modelcode is vrij beschikbaar in GitHub en kan in coderingsprogramma R worden uitgevoerd voor het ontwerp van nieuwe filters of de verificatie van bestaande.) De levensduur van het filter wordt bepaald door de benodigde tijd voor diffusie van fosfaat in de binnenste lagen van de ijzercoating. Slechts ongeveer 5% van de (snelle) adsorptiecapaciteit bevindt zich op de buitenkant van de ijzerzandkorrels. De overige 95% van de retentiecapaciteit bevindt zich dieper in de ijzercoating. Het bereiken van evenwicht in de ijzercoating door diffusie is een langzaam proces dat ongeveer 300 dagen duurt.

Implicaties voor filterontwerp

Wij raden aan om ijzerzandfilters die onder de grondwaterstand worden geplaatst te ontwerpen met een lage molaire P/Fe-verhouding [3]. Onder de bestudeerde omstandigheden is de fosfaatafgifte niet relevant binnen de levensduur van de drainagebuizen, ongeveer 20 jaar. De vorming van ijzersulfiden is omkeerbaar: als het materiaal wordt blootgesteld aan (water met opgeloste) zuurstof, wordt het gereduceerde ijzer weer geoxideerd tot ijzeroxiden. De gevoeligheid van ijzer voor redoxcondities kan beperkingen opleveren bij het gebruik van ijzerzand of ijzerslib onder sterk gereduceerde omstandigheden. Als de sulfideconcentratie in het drainagewater hoog is of als er tekenen zijn van sulfaatreductie, is het gebruik van ijzerzand mogelijk niet de beste oplossing.

Onder sterk gereduceerde omstandigheden lossen mangaan- en ijzeroxide in ijzerzand gedeeltelijk op. Mangaan lost meestal eerder op dan ijzer, dus mangaanconcentraties kunnen worden gemeten als een vroege waarschuwing voor gereduceerde omstandigheden [4].

Om de totale fosfaatretentiecapaciteit te benutten, is het belangrijk om het fosfaat de tijd te geven om zich in de ijzerzandkorrels te verspreiden. Wij adviseren het gebruik van ijzerzandfilters in slow-flow-systemen met een stroming onder de 10 cm/uur. Het aanbrengen van de ijzerzandfilters rond de drains in plaats van in units aan het eind van een of meerdere drains [6, 7] heeft het voordeel dat lagere snelheden en een lagere P/Fe-verhouding mogelijk zijn. Er is dan meer materiaal nodig, maar ijzerzand, een restproduct van de drinkwaterbereiding, is gemakkelijk in grote hoeveelheden verkrijgbaar. Het grootste nadeel is de lastige toegankelijkheid voor verwijdering of onderhoud.

Tijdens de verblijftijd (rustperiode) in zo'n slow-flow-filter diffundeert het fosfaat van de buitenste naar de binnenste lagen van de coating naar de binnenste. Praktisch kan dit worden bereikt door twee parallelle filters te hebben en die afwisselend te gebruiken. Dit is goed te realiseren in gedecentraliseerde systemen, zoals voor kasafvalwater. Ook is langzame adsorptie een goede fosfaatverwijderingsmethode in natuurlijke systemen. Die hebben immers tussen regenperioden van nature rustperioden waarin het fosfaat in de coating kan diffunderen. Een andere aantrekkelijke toepassing van ijzerzandfilters is in de uitstroom van waterretentiebekkens, of in combinatie met helofytenfilters. IJzerzandfilters functioneren door adsorptie en niet door biologische processen. Daarom werken ze ook in de winter, wanneer de verwijderingsefficiëntie door helofytenfilters mogelijk minder is.

Victoria Barcala (TAUM), Arjon Buijert, Thijs Lieverse (Arcadis), Leonard Osté, Joachim Rozemeijer, Stefan Jansen (Deltares)

(Foto Victoria Balcal)



Afbeelding 2. Het leggen van drainagebuizen en ijzerzand

BRONNEN

1. Chardon, W.J., Groenenberg, J. E., Temminghoff, E. J. M., & Koopmans, G. F. (2012). Use of Reactive Materials to Bind Phosphorus. *Journal of Environmental Quality*, 41(3), 636–646. <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0055>
2. Groenenberg, J. E., Chardon, W. J., & Koopmans, G. F. (2013). Reducing Phosphorus Loading of Surface Water Using Iron-Coated Sand. *Journal of Environmental Quality*, 42(1), 250–259. <https://doi.org/10.2134/jeq2012.0344>
3. Barcala, V., Jansen, S., Gerritse, J., Mangold, S., Voegelin, A., & Behrends, T. (2022). Phosphorus adsorption on iron-coated sand under reducing conditions. *Journal of Environmental Quality*, 52(1), 74–87. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20432>
4. Barcala, V., Zech, A., Osté, L., & Behrends, T. (2023). Transport-limited kinetics of phosphate retention on iron-coated sand and practical implications. In *Journal of Contaminant Hydrology* (Vol. 255). <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2023.104160>
5. Chardon, Wim J., Groenenberg, J. E., Vink, J. P. M., Voegelin, A., & Koopmans, G. F. (2021). Use of iron-coated sand for removing soluble phosphorus from drainage water. In *Science of The Total Environment*. Science of the Total Environment. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152738> Lambert, N., Van Aken, P., Van den Broeck, R., & Dewil, R. (2020). Adsorption of phosphate on iron-coated sand granules as a robust end-of-pipe purification strategy in the horticulture sector. *Chemosphere*, 267, 129276. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129276>
6. Vandermoere, S., Ralaizafisoloarivony, N. A., Van Ranst, E., & De Neve, S. (2018). Reducing phosphorus (P) losses from drained agricultural fields with iron coated sand (- glauconite) filters. *Water Research*, 141, 329–339. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.05.022>

SAMENVATTING

Nederland heeft dringend behoefte aan vermindering van de belasting van oppervlaktewater met fosfaat. Een van de methoden is het gebruik van ijzerzandfilters rond drainagebuizen. Het ijzerzand adsorbeert het fosfaat. De hoofdvraag van het hier beschreven veld- en laboratoriumonderzoek was hoe ijzerzandfilters kunnen worden ontworpen en geoptimaliseerd, rekening houdend met adsorptiekinetiek en gereduceerde omstandigheden. De ijzerzandfilters geven geen fosfor af onder zwak en matig gereduceerde omstandigheden, zelfs niet na het gedeeltelijk oplossen van ijzer en mangaan. Sterk gereduceerde omstandigheden kunnen de effectiviteit van de fosfaatbinding verminderen, met name door de vorming van (ijzer)sulfiden. De pomp-snelheid en de doorloopsnelheid zijn van invloed op de fosfaatretentie in de ijzerzandfilters. De optimale werking van een ijzerzandfilter vraagt om rustperiodes die de diffusietijd van fosfaat in de korrelcoating verlengen.