



Jacqueline de Danschutter, Waternet
Enna Klaversma, Waternet
Peter Piekema, Waternet

Kosten en duurzaamheid van de technieken voor fosfaatverwijdering

Waterschap Amstel, Gooi en Vecht en Waternet hebben een studie uitgevoerd naar de meest optimale fosfaatverwijdering op rwzi Amsterdam West. In de studie lag de nadruk op milieu en kosten. Een vergelijking is gemaakt tussen biologische fosfaatverwijdering aangevuld met coagulantdosering in de waterlijn, struvietwinning uit centraat of uit uitgegist slib en volledige chemische fosfaatverwijdering in de waterlijn. De milieu-effecten zijn onderzocht met een zogeheten levenscyclusanalyse, waarin ook terugwinning van fosfaat is meegenomen. Hieruit bleek de winning van struviet uit uitgegist slib het milieuvriendelijkste alternatief, mede omdat hierdoor de ontwaterbaarheid van het slib verbetert. Ook qua kosten scoorde dit alternatief goed. Met een multicriteria-analyse is uiteindelijk geconcludeerd dat struvietwinning uit uitgegist slib voor de rwzi Amsterdam West de meest aantrekkelijke fosfaatverwijderingstechniek is.

Rwzi Amsterdam West (één miljoen i.e.) is eigendom van Waterschap Amstel, Gooi en Vecht (AGV) en wordt beheerd door Waternet. De rwzi is ontworpen voor volledige biologische fosfaatverwijdering, maar maakt dagelijks

gebruik van aanvullende chemische fosfaatverwijdering om aan de lozingsen te kunnen voldoen. Uit proeven bleek dat de biologische fosfaatverwijdering naar behoren functioneert. Het probleem ligt dan ook niet bij de biologie, maar komt voort uit

een samenhang van factoren. De belangrijkste daarvan zijn het lange aanvoerstelsel en de centraatstroom van de slibontwatering. Door het gebruik van slibgisting gevolgd door ontwatering, waarin ook een grote hoeveelheid extern biofosfaatslib wordt verwerkt, ligt de fosfaatvracht in voorbezonden water ongeveer een factor 1,4 hoger dan de influentvracht.

Om de fosfaatverwijdering op de rwzi te optimaliseren, voerde Waternet een studie uit waarin de bestaande technieken met elkaar vergeleken zijn. De nadruk lag daarbij op het milieu en de kosten. De studie is in eerste instantie uitgevoerd met gegevens van rwzi Amsterdam West, maar de resultaten (met name op milieugebied) zijn eventueel door te vertalen naar andere rwzi's.

Onderzochte alternatieven

Om een inschatting te kunnen maken welke maatregelen daadwerkelijk een optimalisatie van de fosfaatverwijdering teweeg brengen, is begonnen met een modelstudie. Aan de hand van de resultaten van de modelstudie zijn vier groepen van alternatieven geselecteerd voor verder onderzoek:

- biologische fosfaatverwijdering met aanvullende chemische fosfaatverwijdering in de waterlijn (de huidige situatie en daarmee de referentie);

Tabel 1: Onderzochte alternatieven.

bio-P + aanvullend chemisch waterlijn	P-verwijdering centraat + bio-P + aanvullend chemisch waterlijn	P-verwijdering uitgegist slib + bio-P + aanvullend chemisch waterlijn	volledige chemische P-verwijdering waterlijn
FeCl ₃ (referentie)	MgO in centraat en FeCl ₃ in waterlijn	MgCl ₂ in uitgegist slib en FeCl ₃ in waterlijn	FeCl ₃
Fe(II)SO ₄		MgCl ₂ in uitgegist slib en FeSO ₄ in waterlijn	FeSO ₄
AlCl ₃ of Al(OH)Cl ₂		MgCl ₂ in uitgegist slib en NaAlO ₂ in waterlijn	NaAlO ₂
ijzerhoudend drinkwaterslib en FeCl ₃		MgO in uitgegist slib en FeCl ₃ in waterlijn	FeClSO ₄
NaAlO ₂			
FeClSO ₄			

- fosfaatverwijdering in de centraatstroom van de slibontwatering, in combinatie met fosfaatverwijdering in de waterlijn;
- fosfaatverwijdering in het uitgestist slib, in combinatie met fosfaatverwijdering in de waterlijn;
- volledige chemische fosfaatverwijdering in de waterlijn.

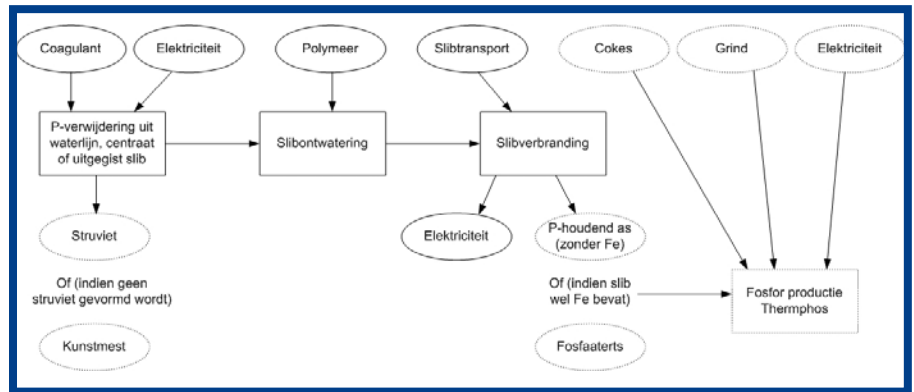
Voor alle alternatieven geldt dat voor de aanvullende chemische fosfaatverwijdering is gekeken naar verschillende coagulanten, zowel ijzer- als aluminiumproducten. Voor de alternatieven in de tweede en derde groep geldt dat de fosfaatverwijdering in het centraat / uitgestist slib plaatsvindt door middel van het vormen van struviet. Het vormen van struviet in het uitgestist slib is door Waternet vorig jaar mei op pilotschaal getest met goede resultaten. Het leverde bijvoorbeeld een verbeterde ontwaterbaarheid van het slib op (van 22 naar 25 procent droge stof, met een 10 tot 20 procent lager polymeergebruik¹⁾.

In totaal zijn 15 alternatieven onderzocht (zie tabel 1).

Milieu

Om de alternatieven op milieugebied met elkaar te kunnen vergelijken, is een levenscyclusanalyse uitgevoerd. Deze berekent de milieu-effecten van de totale levensloop van een product of proces²⁾.

Afbeelding 1 toont de producten en processen die meegenomen zijn in de analyse. De hoeveelheden die van elk product nodig zijn of geproduceerd worden, verschillen per alternatief. De mogelijkheden van terugwinning van fosfaat vormen een belangrijk onderdeel van de levenscyclusanalyse, aangezien verwacht wordt dat fosfaaterts tussen 2030 en 2050 schaars zal worden. Hiervoor zijn bij alle alternatieven de geproduceerde hoeveelheden fosfaatproducten gelijk getrokken. Bij de alternatieven waar geen struviet wordt geproduceerd, moet daarvoor in de plaats extern kunstmest gemaakt worden. Hierbij is aangenomen dat kunstmest een effectievere fosfaatbron voor de bodem is dan struviet. De gehanteerde aanname is dat de bemestende werking van



Afb. 1: Schematische weergave van producten en processen in de levenscyclusanalyse.

het fosfor in struviet 25 procent lager ligt dan van het fosfor in kunstmest.

Aangenomen is ook dat as na slibverbranding geschikt is als vervanging voor fosfaaterts in het proces van de fosfaatfabriek Thermphos in Zeeland, zolang er geen ijzer in het slib zit. Bij de alternatieven waar het as na slibverbranding wel ijzer bevat, moet in plaats van fosfaat uit as extern fosfaaterts worden gebruikt voor eenzelfde hoeveelheid eindproduct (fosforzuur). In het proces bij Thermphos belasten de andere benodigde hoeveelheden (onder andere elektriciteit) het milieu dusdanig fors dat de verschillen in de alternatieven voor fosfaatverwijdering minder zichtbaar worden. Daarom is alleen rekening gehouden met de vervanging van fosfaaterts door slib, en is aangenomen dat de andere hoeveelheden gelijk blijven en dus buiten de vergelijking gehouden kunnen worden.

Bij de slibverbranding is verder aangenomen dat er een kleine positieve verbrandingswaarde is waarmee elektriciteit geproduceerd wordt. Dit is afhankelijk van het gehalte chemisch slib en het gehalte droge stof en daardoor per alternatief verschillend.

Resultaten analyse

In afbeelding 2 worden de resultaten van de levenscyclusanalyse weergegeven in zogeheten ecopunten per dag. De waarde van de ecopunten is zo gekozen dat de gemiddelde milieubelasting van een West-

Europeaan 1.000 punten per jaar bedraagt ofwel ongeveer drie punten per dag. De huidige totale milieubelasting van de rwzi Amsterdam West bedraagt circa 2.700 punten per dag.

Uit de levenscyclusanalyse blijkt dat de meest milieuvriendelijke manier van fosfaatverwijdering struviet winnen uit uitgestist slib is. De verbetering van de ontwaterbaarheid van het slib en de daardoor hogere calorische waarde en extra elektriciteitsproductie spelen daarin een belangrijke rol. Maar ook zonder deze winst scoort de struvietwinning het beste in de analyse, hoewel de verschillen dan aanzienlijk kleiner zijn.

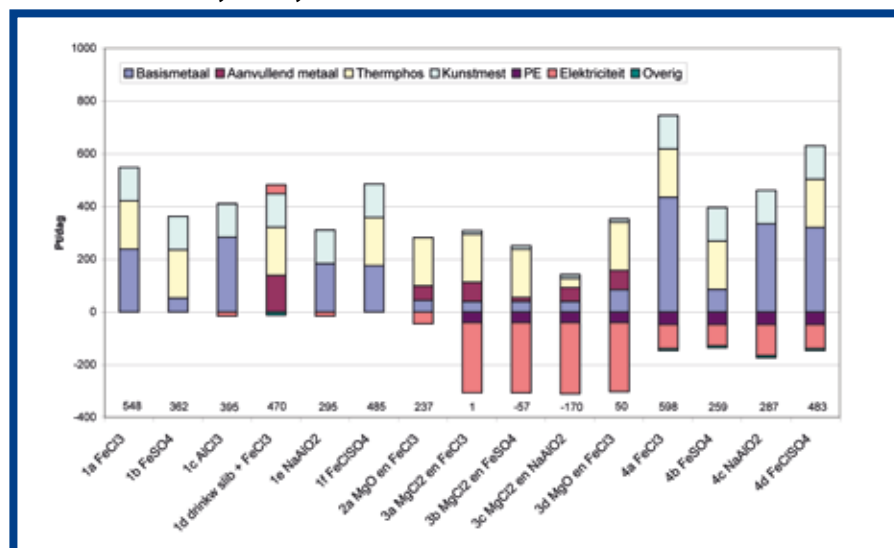
De beste combinatie van chemicaliën om het fosfaat volledig te verwijderen, is struvietwinnning uit uitgestist slib met $MgCl_2$ en aanvullend $NaAlO_2$ -doserend in de waterlijn. $MgCl_2$ bleek beter te scoren dan MgO , omdat het eenvoudig uit de Nederlandse bodem gewonnen wordt (vergelijkbaar met keukenzout). Bij gebruik van een aluminiumzout kan ook fosfaaterts worden uitgespaard. Wel is het economisch minder gunstig om as te gebruiken van slib waar vooraf struviet uit is verwijderd, aangezien het fosfaatgehalte in het as dan lager is dan de gewenste $250 \text{ mg } P_2O_5/\text{kg as}$ ³⁾.

Bij dit alternatief spelen twee vormen van fosfaatertugwinning. Bij het terugwinnen van struviet blijkt $0,4 \text{ Pt/kg P}$ bespaard te kunnen worden en bij het terugwinnen via Thermphos $0,1 \text{ Pt/kg P}$. Geconcludeerd kan dus worden dat fosfaatertugwinning via struviet beter is voor het milieu. Een kanttekening hierbij is wel dat via de struvietroute nooit al het fosfaat teruggewonnen kan worden en via de Thermphosroute wel.

Een belangrijke voorwaarde voor hergebruik via Thermphos is dat al het slib ijzervrij is en in een monoslibverbrander verwerkt wordt. De huidige slibverwerking door het AfvalEnergieBedrijf (co-verbranding in een huisvuiloven) is hiervoor niet geschikt. Bovendien wordt op rwzi West ook slib verwerkt van andere rwzi's waar nog wel ijzer wordt gedoseerd.

Een andere belangrijke uitkomst van de levenscyclusanalyse is dat de productiewijze van de chemicaliën een groot effect kan hebben. De exacte productiewijze van de chemicaliën die Waternet inkocht, is niet

Afb. 2: Uitkomsten levenscyclusanalyse.



altijd duidelijk. In de levenscyclusanalyse zijn de standaard productiemethoden in Nederland of Europa toegepast. Waarschijnlijk komen deze overeen met de daadwerkelijke productiemethoden van de gebruikte chemicaliën, maar het is ook mogelijk dat er afwijkingen zijn. Een afwijking kan bijvoorbeeld veroorzaakt worden doordat chemicaliën voor afvalwaterzuivering minder zuiver hoeven te zijn dan voor andere industrieën en daardoor milieuvriendelijker geproduceerd kunnen worden óf dat in Nederland specifieke bijproducten met lage milieubelasting in grote hoeveelheden beschikbaar zijn. De uitkomsten van de analyse zijn daarom vooral betrouwbaar op het vlak van elektriciteit, Thermphos en kunstmest, maar minder op het vlak van de chemicaliën.

Een laatste opvallende uitkomst van de analyse is dat de milieuscores van volledig chemische fosfaatverwijdering dicht bij de scores van biologische fosfaatverwijdering liggen zolang geen struviet wordt gewonnen. Door het elektriciteitsverbruik in de anaerobe zone (menging en recirculatie) en door verslechtering van de ontwaterbaarheid blijkt biologische fosfaatverwijdering niet zo bijzonder milieuvriendelijk uit te pakken. Afhankelijk van het type coagulant kan volledig chemisch zelfs beter scoren (FeSO₄). Dit is van belang om in de toekomst mee te wegen, met name bij kleine rwzi's met eigen gisting en ontwatering. Hoewel ook dan geldt dat biologische fosfaatverwijdering met struvietwinning uit uitgestig slib het meest milieuvriendelijke alternatief is, kunnen de kosten voor anaerobe tanks plus struvietwinning wel eens dusdanig hoog zijn dat volledig chemische verwijdering in een multicriteria-analyse aantrekkelijker blijkt.

Kostenvergelijking

Binnen de kostenvergelijking zijn dezelfde alternatieven vergeleken als binnen de levenscyclusanalyse; alleen volledig chemische verwijdering is niet meegenomen. Dat is namelijk voor rwzi Amsterdam West niet relevant, aangezien biologische fosfaatverwijdering daar al aanwezig is. Bij toepassing van FeCl₃, AlCl₃ of Al(OH)Cl₂, NaAlO₂ en FeClSO₄ hoeft niet geïnvesteerd te worden. De fosfaatvracht wordt biologisch verwijderd en aangevuld met chemische verwijdering in de waterlijn. Dit kan plaatsvinden met de huidige doseerinstallatie.

alternatief	jaarlijkse kosten (euro)	jaarlijkse besparing t.o.v. referentie (euro)
FeCl ₃ (referentie)	441.000	0
Fe(II)SO ₄	328.000	113.000
AlOHCl ₂	508.000	- 67.000
Drinkwaterslib & FeCl ₃	484.000	- 43.000
NaAlO ₂	473.000	- 32.000
FeClSO ₄	402.000	39.000
MgO & FeCl ₃ (centraat)	362.000	79.000
MgCl & FeCl ₃	20.000	421.000
MgCl & Fe(II)SO ₄	30.000	411.000
MgCl & NaAlO ₂	76.000	365.000
MgO & FeCl ₃	30.000	411.000

Tabel 2: Jaarlijkse kosten en besparingen van de alternatieven.

Bij het gebruik van een aluminiumproduct in plaats van een ijzerproduct zal de totale hoeveelheid af te voeren slibmassa afnemen. Dit wordt veroorzaakt doordat aluminium een lagere molecuulmassa heeft dan ijzer.

Bij toepassing van Fe(II)SO₄ wordt ijzersulfaat gebruikt in een vaste vorm. Dat dient dus eerst opgelost te worden. Ook moet het ijzer nog omgezet worden van Fe²⁺ naar Fe³⁺ om fosfaatbinding mogelijk te maken. Voor deze omzetting is zuurstof nodig en dus extra beluchting.

Voor toepassing van ijzerhoudend drinkwaterslib en FeCl₃ geldt dat de huidige doseerinstallatie blijft bestaan, maar dat een kleinere hoeveelheid gedoseerd zal worden. Voor het doseren van drinkwaterslib is een aanvullende installatie noodzakelijk. De hoeveelheid werkzaam ijzer in drinkwaterslib ligt lager dan in bijvoorbeeld ijzerchloride. De hoeveelheid af te voeren slib zal hierdoor toenemen. Daarnaast zal de biogasproductie in lichte mate toenemen. Tevens zijn er baten bij de sector drinkwater: de afzet- en afvoerkosten voor het drinkwaterslib zullen lager worden.

Bij fosfaatverwijdering in de centraatstroom van de slibontwatering én in het uitgestig slib wordt de standaard biologische en chemische verwijdering van fosfaat in de waterlijn uitgebreid met struvietvorming in de sliblijn. In de waterlijn is dan minder

coagulant nodig ten opzichte van de referentie. In beide groepen moet geïnvesteerd worden in een struvietreactor. In deze reactor wordt een magnesiumzout gedoseerd.

Voor alle alternatieven worden de jaarlijkse kapitaalslasten van de te bouwen installaties alsmede de onderhoudskosten meegenomen, evenals de kosten van chemicaliën, energie, personeel en verandering van slibafzetkosten. Door het vormen van struviet in uitgestig slib zal de ongecontroleerde struvietvorming sterk afnemen. Hierdoor zullen alle installatieonderdelen na de struvietreactor in de sliblijn minder last hebben van slijtage en verstoppingen. De besparing op dit vlak is niet meegenomen in het kostenoverzicht.

Resultaten kostenvergelijking

In tabel 2 zijn de jaarlijkse kosten per alternatief aangegeven. Ook is de besparing ten opzichte van het referentiealternatief weergegeven. Een negatief getal betekent extra kosten.

Om op korte termijn op de rwzi Amsterdam West te kunnen besparen zonder investeringen te hoeven doen, is het veranderen van ijzerchloride door ijzerchloridesulfaat de beste optie. De besparing die hiermee te behalen is, is echter gering. Door te investeren in de bouw van een oploskelder en ijzerchloride te vervangen door ijzer(II)

Tabel 3: Multicriteria-analyse van de technieken voor fosfaatverwijdering.

aspect	gewicht	ijzer-coagulant	FeSO ₄	drinkwaterslib	aluminium-coagulant	struviet-centraat	struviet uitgestig slib
kosten	25	2	3	1	1	3	5
duurzaamheid	18	1	2	1	2	3	5
ruimtegebruik	11	4	2	3	4	1	1
bedrijfszekerheid	18	2	1	1	2	1	3
innovatie	14	1	1	2	2	3	4
flexibiliteit	14	3	1	2	3	2	2
totaal	100	204	179	150	211	228	364

sulfaat is de besparing omvangrijker. Voor hogere besparingen moet geïnvesteerd worden in een struvietreactor in de sliblijn.

Conclusie

Naast milieu en kosten spelen andere factoren een rol, zoals ruimtegebruik, bedrijfszekerheid, innovatie en flexibiliteit. Binnen de beoordeling van het criterium 'ruimtegebruik' is gekeken naar het ruimtebeslag en de mogelijke locaties voor nieuw te bouwen installaties. Binnen het criterium 'bedrijfszekerheid' ligt de nadruk op risico. Beoordeeld is op het risico dat een installatie niet naar behoren functioneert en als gevolg hiervan de kans op overschrijdingen van de Wabo- en/of watervergunningen. Met het criterium 'flexibiliteit' wordt beoordeeld in hoeverre een installatie eenvoudig aangepast kan worden aan toekomstige veranderingen op het gebied van afvalwa-

terkwaliteit en -kwantiteit en veranderingen van lozings- en milieueisen.

Om de alternatieven goed te kunnen vergelijken op alle criteria, is gebruik gemaakt van een multicriteria-analyse. In tabel 3 is het resultaat hiervan te zien. De gewichten van de criteria zijn bepaald door ze één voor één onderling af te wegen. De scores van de alternatieven zijn in vijf klassen ingedeeld: 1 (slechtste score) tot en met 5 (beste score). In tabel 3 worden de scores zonder vermenigvuldiging met het gewicht weergegeven. De totaalscore bestaat uit de som van de producten van elke score en het gewicht ervan.

Uit de resultaten van de multicriteria-analyse concludeert Waternet dat het toepassen van een struvietreactor uit uitgestig slib het beste alternatief is voor de fosfaatverwij-

dering op rwzi Amsterdam West. Daarom wordt hiervoor financiering bij Waterschap Amstel, Gooi en Vecht aangevraagd.

LITERATUUR

- 1) Veltman A., J. de Danschutter en C. Uijterlinde (2010). Terugwinnen van fosfaatkunstmest uit zuiveringsslib verlaagt kosten van slibverwerking. H₂O nr. 11, pag. 4-5.
- 2) Klaversma E. (2010). Toepassing van milieuanalyses via de LCA-techniek bij Waternet. WT afvalwater nr. 3.
- 3) STOWA (2007). Fosfaat teruggewinning uit ijzerarm slib van rioolwaterzuiveringsinrichtingen. Rapport 2007-31.