

ADSORPTIE VAN FOSFAAT ALS NABEHANDELINGSTECHNIEK



RAPPORT

2007
26

ADSORPTIE VAN FOSFAAT ALS NABEHANDELINGSTECHNIEK
HAALBAARHEIDSONDERZOEK

RAPPORT

2007
26

ISBN 978.90.5773.376.5



stowa@stowa.nl www.stowa.nl
TEL 030 232 11 99 FAX 030 232 17 66
Arthur van Schendelstraat 816
POSTBUS 8090 3503 RB UTRECHT

Publicaties en het publicatie overzicht van de STOWA kunt u uitsluitend bestellen bij:
Hageman Fulfilment POSTBUS 1110, 3300 CC Zwijndrecht,
TEL 078 623 05 00 FAX 078 610 610 42 87 EMAIL info@hageman.nl
onder vermelding van ISBN of STOWA rapportnummer en een duidelijk afleveradres.

COLOFON

Utrecht, 2007

UITGAVE
STOWA, Utrecht

Auteurs

Martijn van Leusden (Royal Haskoning)
Jans Kruit (Royal Haskoning)

Begeleidingscommissie

Anna van den Bor (Hoogheemraadschap van Delfland)
Wim van der Hulst (Waterschap Aa en Maas)
Mark van Loosdrecht (TUD)
Hans Mollen (Waterschap Brabantse Delta)
Dennis Piron (Waterschap Rivierenland)
Alex Sengers (Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard)
Cora Uijterlinde (STOWA)

Foto's omslag

Prepress/druk

Van de Garde | Jémé, Eindhoven

STOWA

Rapportnummer 2007-26
ISBN 978.90.5773.376.5

SAMENVATTING

Voor het bereiken van een goed ecologisch potentieel of een goede ecologische toestand, zoals is vastgelegd in de Kaderrichtlijn Water (KRW), is het noodzakelijk dat de hydrologie, de morfologie en de chemie van het oppervlaktewater hiervoor toereikend zijn. Ten aanzien van de chemie bepalen de nutriënten stikstof en fosfor in belangrijke mate het ecologisch potentieel. Van fosfor is bekend dat dit in de meeste gevallen de beperkende factor vormt voor algenbloei in de Nederlandse binnenwateren [RIVM 2002]. Fosfaat is daarmee een belangrijke parameter voor het bereiken van een 'goede toestand' in de Nederlandse binnenwateren, zoals deze in de KRW benoemd is. Ten aanzien van de lozingen op oppervlaktewater blijkt dat de meeste rwzi's in Nederland fosfaat verwijderen en dat de installaties zonder fosfaatverwijdering over het algemeen de kleinere installaties zijn. Echter, het aantal rwzi's dat fosfaat verregaand verwijderd (0,5 mg/l) is tot op heden minimaal. Dat verregaande fosfaatverwijdering mogelijk is, blijkt uit een recente studie naar de achtergronden van de fosfaatvastlegging met verticaal doorstroomde helofytenfilters [STOWA, 2005]. Hieruit bleek dat de adsorptie van opgelost fosfaat (ortho-fosfaat) plaats kan vinden aan ijzer(hydr)oxides, dat deze reactie snel verloopt en dat deze kan leiden tot zeer lage fosfaatgehalten in het effluent (<0,05 mg PO₄-P/l). Er is echter nog weinig inzicht in de beladingen die bereikt kunnen worden.

In deze rapportage wordt verslag gedaan van een haalbaarheidsonderzoek naar de toepassing van filtermateriaal uit de drinkwaterbereiding voor de verwijdering van fosfaat uit rwzi effluent. De rapportage bestaat uit een literatuuronderzoek naar de theorie van fosfaatbinding aan ijzer(hydr)oxiden. Tevens beschrijft deze rapportage de schudproeven die uitgevoerd zijn om de mogelijkheden die ijzer(hydr)oxides bieden voor de verlaging van (ortho)-fosfaatgehalten te onderzoeken. De ijzer(hydr)oxiden die voor de proeven zijn gebruikt, zijn afkomstig uit de eerste (zand)filtratiestap bij de drinkwaterbereiding.

Met schudproeven is onderzocht in welke mate fosfaat uit rwzi effluent geadsorbeerd kan worden aan ijzer(hydr)oxiden. De conclusies van dit haalbaarheidsonderzoek zijn:

- Uit de analyses van het filtermateriaal is gebleken dat de hoeveelheden ijzer en calcium van het filtergrind of antraciet per pompstation sterk varieert.
- Uit de schudproeven wordt geconcludeerd dat adsorptie van fosfaat aan het filtermateriaal optrad. Zeer lage fosfaatconcentraties (< 0,15 mg PO₄-P/l) worden behaald bij een belading van 5 tot 10 g P/kg Fe en/of bij 0,10 tot 0,15 g P/kg d.s.
- Het verwijderen van fosfaat uit RWZI effluent door adsorptie aan filtermateriaal uit de drinkwaterbereiding met als doel om zeer lage effluentconcentraties (< 0,15 mg PO₄-P/l) te behalen is in principe mogelijk, doch de verhouding tussen benodigd filtermateriaal en de hoeveelheid fosfaat die deze kan binden is dusdanig dat deze techniek niet geschikt is voor de praktijk. Verdergaand onderzoek (kolomproeven, pilot plant) wordt derhalve niet aanbevolen.

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n zes miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 030 -2321199.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

ADSORPTIE VAN FOSFAAT ALS NABEHANDELINGSTECHNIEK

HAALBAARHEIDSONDERZOEK

INHOUD

SAMENVATTING

STOWA IN HET KORT

1	INLEIDING	1
2	FOSFAATADSORPTIE	3
2.1	Precipitatie	3
2.2	Adsorptie	3
2.3	IJzerhydroxiden en drinkwaterbereiding	4
3	EXPERIMENTEN	6
3.1	Opzet	6
3.2	Materiaal	6
3.2.1	Adsorbens	6

	3.2.2	RWZI effluent	7
	3.2.3	Variatie ratio P:Fe	7
	3.2.4	Menging	7
	3.2.5	Scheiding adsorbens	7
	3.3	Resultaten	8
4		DISCUSSIE EN CONCLUSIES	10
	4.1	Discussie	10
	4.1.1	Materialen	10
	4.1.2	Methode	10
	4.1.3	Praktijk toepassing	10
	4.2	Conclusies	11
5		REFERENTIES	12
		BIJLAGE 1: FOTO'S FILTERMATERIAAL	13
		BIJLAGE 2: ANALYSERESULTATEN	15

1

INLEIDING

Voor het bereiken van een goed ecologisch potentieel of een goede ecologische toestand, zoals is vastgelegd in de Kaderrichtlijn Water (KRW), is het noodzakelijk dat de hydrologie, de morfologie en de chemie van het oppervlaktewater hiervoor toereikend zijn. Ten aanzien van de chemie bepalen de nutriënten stikstof en fosfor in belangrijke mate het ecologisch potentieel. Van fosfor is bekend dat dit in de meeste gevallen de beperkende factor vormt voor algenbloei in de Nederlandse binnenwateren [RIVM 2002]. Fosfaat is daarmee een belangrijke parameter voor het bereiken van een 'goede toestand' in de Nederlandse binnenwateren, zoals deze in de KRW benoemd is. Fosfaat komt in het oppervlaktewater terecht door uitloging uit de omliggende gronden, door de zogenoemde 'interne belasting' (desorptie uit sedimenten), bovenstroomse aanvoer en lozingen.

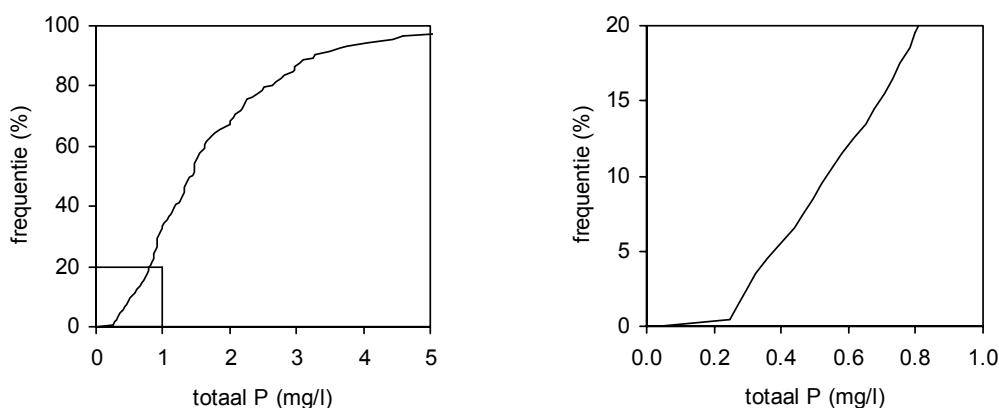
Ten aanzien van de lozingen op oppervlaktewater blijkt uit gegevens van het CBS [CBS, 2004] dat de meeste rwzi's in Nederland fosfaat verwijderen en dat de installaties zonder fosfaatverwijdering over het algemeen de kleinere installaties zijn (zie tabel 1).

TABEL 1: TYPE FOSFAATVERWIJDERING UITGEZET TEGEN HET AANTAL NEDERLANDSE RWZI'S RESPECTIEVELIJK DE SOM VAN DE GEZAMENLIJKE ONTWERPCAPACITEIT [CBS, 2004]

Type fosfaatverwijdering	Aantal [-]	Ontwerpcapaciteit [x 1.000 i.e. à 54 g BZV]
Installaties zonder fosfaatverwijdering	113	3.251
Installaties met fosfaatverwijdering	262	21.933

Echter, het aantal rwzi's dat fosfaat verregaand verwijderd (0,5 mg/l) is tot op heden minimaal [CBS, 2003]. Dit is weergegeven in figuur 1.

FIGUUR 1: FREQUENTIEVERDELING (OP AANTAL) VAN DE EFFLUENTKWALITEIT VAN FOSFOR VAN DE NEDERLANDSE RWZI'S [CBS, 2003], WAARBIJ DE RECHTERFIGUUR EEN UITVERGROTING IS VAN HET AANGEGEVEN GEBIED LINKSONDER IN DE LINKERFIGUUR



Dat verregaande fosfaatverwijdering mogelijk is, blijkt uit een recente studie naar de achtergronden van de fosfaatvastlegging met verticaal doorstroomde helofytenfilters [STOWA, 2005]. In deze studie werd ingegaan op de chemie van fosfaatverwijdering met gefixeerde ijzer(hydr)oxides en zijn oriënterende schud- en kolomproeven uitgevoerd. Uit het literatuuronderzoek en de schud- en kolomexperimenten bleek dat de adsorptie van opgelost fosfaat (ortho-fosfaat) plaatsvindt aan ijzer(hydr)oxides, snel verloopt en kan leiden tot zeer lage fosfaatgehalten in het effluent (<0,05 mg PO₄-P/l). Deze wijze van fosfaatadsorptie is bekend uit de bodemkunde, maar wordt als kolomproces eigenlijk alleen in verticaal doorstroomde helofytenfilters toegepast bij het behandelen van oppervlakte- en/of afvalwater. Het nut van deze wijze van fosfaatadsorptie reikt echter verder dan verticaal doorstroomde helofytenfilters:

- 1 Als kolomproces kan het worden toegepast bij het behandelen van RWZI-effluent of oppervlaktewater, waarbij een combinatie met zandfiltratie voor de hand ligt.
- 2 In infiltratievoorzieningen (Wadi's) kan het gebruikt worden om fosfaat uit afstromend hemelwater te verwijderen.

Er is echter nog weinig inzicht in de stabiliteit van de processen op langere termijn en de beladingen die bereikt kunnen worden. In deze rapportage wordt verslag gedaan van een aanvullend literatuuronderzoek naar de theorie van fosfaatbinding aan ijzer(hydr)oxiden. Tevens beschrijft deze rapportage schudproeven die uitgevoerd zijn om de mogelijkheden die ijzer(hydr)oxiden bieden voor de verlaging van (ortho-) fosfaatgehalten te onderzoeken. Het haalbaarheidsonderzoek moet uitwijzen of deze manier van fosfaatverwijdering in de praktijk een aanvulling kan zijn op bestaande technieken als nabehandelingstechniek voor de effluënten van rwzi's.

De ijzer(hydr)oxiden die voor de proeven zijn gebruikt, zijn afkomstig uit de drinkwaterbereiding. Bij de drinkwaterbereiding uit grondwater wordt tijdens de eerste filtratiestap (zandfiltratie) ijzer uit het water verwijderd door deze te oxideren. Het neerslag van het geoxideerde ijzer vult de poriën van het filter en bindt zich aan het filtermateriaal. Doordat de poriën zich opvullen met het neerslag vermindert de porositeit van het filter en daarmee de capaciteit van het filter. Het filter dient regelmatig teruggespoeld te worden om dit neerslag te verwijderen. Deze neerslag wordt "waterijzer" genoemd. Het filtermateriaal zelf wordt periodiek vervangen. In 2005 is in totaal circa 6.000 ton filtermateriaal vervangen en afgezet. De toepassing van dit materiaal is veelal in geluidswallen [Reststoffenunie, 2007]. In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van dit type filtermateriaal als adsorbens.

2

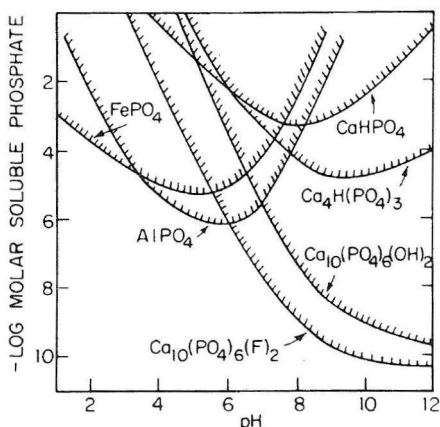
FOSFAATADSORPTIE

Fosfaatverwijdering uit afvalwater kan onderverdeeld worden in biologische en (fysisch-) chemische technieken. De theorie over fosfaatadsorptie zoals gepresenteerd in dit hoofdstuk gaat beperkt in op precipitatie met metaalionen en uitgebreider op de adsorptie van fosfaat aan ijzer(hydr)oxiden. Andere mechanismen om fosfaten te verwijderen (biologische opname, filtratietechnieken, etc.) vallen buiten het doel van dit rapport. Voor biologische fosfaatverwijdering wordt verwezen naar het "Handboek biologische fosfaatverwijdering", STOWA 2001-15. Chemische fosfaatverwijdering is onder andere omschreven in STOWA 93-06 "Handboek chemische P-verwijdering".

2.1 PRECIPITATIE

Er wordt van precipitatie gesproken als twee in opgeloste vorm aanwezige ionen een reactie met elkaar aangaan, waarbij een neerslag ontstaat. De mate waarin deze reactie verloopt is hoofdzakelijk afhankelijk van de concentraties van beide ionen en de omgevingsfactoren zoals pH. Precipitatie wordt op de Nederlandse rwzi's veelvuldig toegepast om fosfaat te verwijderen door bijvoorbeeld ijzer- of aluminiumzouten te doseren. Ook calcium slaat neer als het reageert met fosfaat. Zowel calcium als fosfaat kunnen in verschillende verschijningsvormen voorkomen en in deze vormen met elkaar reageren. Een oplosbaarheidsgrafiek van diverse metaalfosfaten en calciumfosfaten is weergegeven in figuur 2.

FIGUUR 2: OPLOSBAARHEID VAN METAALFOSFATEN [STUMM, 1981]¹



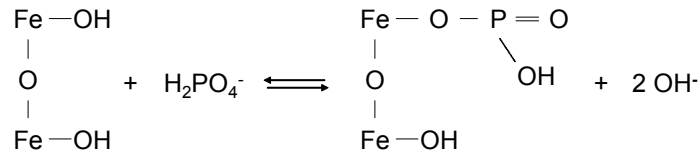
2.2 ADSORPTIE

Een andere techniek om fosfaten te verwijderen is door deze te adsorberen aan een complexant. Wellicht de meest beschreven complexvormende moleculen voor binding van fosfaat zijn de ijzer(hydr)oxiden. Indien het fosfaat gebonden is aan de complexant wordt gesproken van een complex. Indien het fosfaat gebonden wordt door meerdere atomen die functioneren als elektron donor wordt gesproken van een chelaat. Het verschil is weergegeven in figuur 3, waarin zowel een enkele binding als een dubbele binding tussen ijzerhydroxide en fosfaat wordt weergegeven.

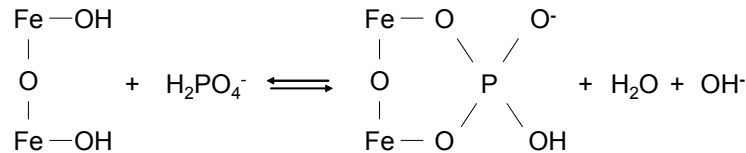
1. Deze grafiek is samengesteld onder een aantal aannamen ten aanzien van onder andere reactieconstanten, temperatuur en ionsterkte. Voor meer informatie omtrent de aannamen wordt verwezen naar de bron [Stumm, 1981].

FIGUUR 3: MOGELIJKE BINDING VAN FOSFAAT AAN EEN IJZERHYDROXIDE ALS COMPLEX (A) OF ALS CHELAAT (B)

A

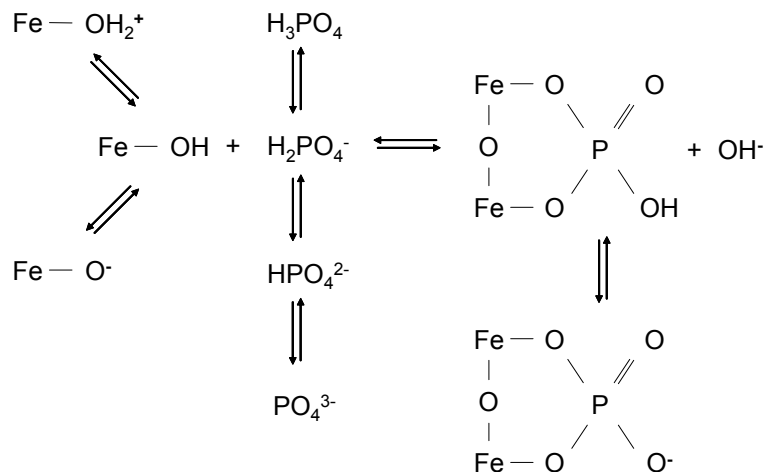


B



Uit deze reactievergelijkingen volgt dat bij een dalende pH de fosfaatbinding verbetert. Echter bij een verlaging van de pH wordt het oppervlakte van het ijzerhydroxide geprotoneerd en wordt fosfaat omgezet in fosforzuur. Hierdoor bereikt de adsorptie van fosfaat aan ijzerhydroxide een maximum bij een bepaalde pH. De wedijverende reactievergelijkingen zijn weergegeven in figuur 4. In dit voorbeeld is een chelaat weergegeven.

FIGUUR 4: MOGELIJKE REACTIEVERGELIJKING VAN DE BINDING VAN FOSFAAT AAN EEN IJZERHYDROXIDE (CHELAAT) BIJ VARIATIE VAN DE PH



Naast de pH zijn er andere factoren die de binding van het fosfaat aan het ijzer bevorderen of tegenwerken. Bijvoorbeeld het voorkomen van de ijzerhydroxide in amorfe vorm of in een kristalstructuur en de vorm van de kristalstructuur is bepalend voor de hoeveelheid fosfaat die gebonden kan worden.

2.3 IJZERHYDROXIDEN EN DRINKWATERBEREIDING

In de drinkwaterbereiding ontstaat zowel bij het ontijzeren van grondwater als bij het coaguleren van vervuiling uit oppervlaktewater een neerslag van ijzer(hydr)oxiden. Deze neerslag wordt grotendeels afgescheiden door middel van een filtratiestap in het begin van de

drinkwaterbereiding. Het terugspoelwater van deze filters bevat een dergelijke concentratie aan ijzer (> 30 gew%) dat dit waterijzer wordt genoemd. In het verleden is onderzocht of dit waterijzer geschikt is voor fosfaatverwijdering in de hoofdwaterstroom of in een deelstroom op rwzi's [STOWA 94-12]. In het STOWA rapport wordt verwezen naar een Duits laboratorium-onderzoek waarbij de adsorptie van fosfaat aan ijzerhydroxideslib is onderzocht. Hieruit volgde dat 20 tot 60 g P adsorbeert per kilogram Fe bij een neutrale pH (7 – 8).

Onderzoek naar de fosfaatbinding op gefixeerde ijzer(hydr)oxiden (filtermateriaal) is reeds uitgevoerd en beschreven in STOWA 2005-19. Hierbij is echter geen gebruik gemaakt van het afvalproduct uit de drinkwaterindustrie, maar is gebruik gemaakt van hoogovenslak, staal-slak, slakzand, ijzerschaafsel, verbrijzeld kalksteen en verbrijzeld dolomiet. Uit laboratorium-onderzoek bleek dat met deze adsorbentia een maximale belading van 0,5 tot 0,75 g PO₄-P/kg Fe bereikt kan worden.

3

EXPERIMENTEN

Om de toepassing van filtermateriaal uit de drinkwaterbereiding voor fosfaatverwijdering uit RWZI effluent te onderzoeken, zijn schudproeven op laboratoriumniveau uitgevoerd. Hierbij zijn een tiental filtermaterialen getest op de maximale beladingsgraad die ermee behaald kan worden. Dit is gebeurd door het filtermateriaal in contact te brengen met fosfaat-houdend afvalwater. De schudproeven dienen om de adsorptiecapaciteit van het filtermateriaal vast te stellen.

3.1 OPZET

De opzet van de proef is relatief eenvoudig. In een afgesloten testbuis is een bekende hoeveelheid filtermateriaal samengevoegd met een bekende hoeveelheid fosfaathoudend afvalwater. Na ten minste 24 uur mengen is van de vloeistof het PO₄-P gehalte bepaald. Door variatie van de hoeveelheid fosfaat en de hoeveelheid adsorbens is vervolgens een adsorptie-isotherm bepaald.

3.2 MATERIAAL

3.2.1 ADSORBENS

Van 10 drinkwaterpompstations in Nederland is uit de filtratiestap een monster van het filtermateriaal genomen. De karakteristieken van de bemonsterde pompstations staan weergegeven in tabel 2. Van deze monsters is het drogestofgehalte, het calcium- en het ijzergehalte bepaald. In tabel 3 staan van de 10 monsters deze karakteristieken weergegeven.

TABEL 2: KARAKTERISTIEKEN BEMONSTERDE POMPSTATION

Pompstation	Bron	Standtijd jaar	Belasting m/h	Fe mg/l	As µg/l	O ₂ mg/l
Beegden	grondwater	± 7	4	13	2 – 4	0
Beilen	grondwater	3,6	15	8	0,5	0
Bergen	IJsselmeer*	15	?	0,5	0,1	0 – 2
Eindhoven	grondwater	5,0	18	4,7	0,8	0,7
Heel	Maas	6,3	4,2	4	2 – 4	0
Katwijk	Maas*			<i>geen data beschikbaar</i>		
Kralingen	Biesbosch	30	10	1,1	1	verzadigd
Lekkerkerk	oevergrondwater	9**	?	2,8	4,7	<1
Scheveningen	Maas*			<i>geen data beschikbaar</i>		
Spanenburg	grondwater			<i>geen data beschikbaar</i>		

* na bodempassage

**reeds 2 maal extern gereinigd

TABEL 3: KARAKTERISTIEKEN ADSORBENS

Pompstation	Type	Drogestofgehalte %	Calcium g Ca/kg d.s.	IJzer g Fe/kg d.s.
Beegden	Filterzand	92,5	3,1	67
Beilen	Filterzand	78,5	11	210
Bergen	Filterzand	64,1	6,4	19
Eindhoven	Filterzand	89,9	3,9	84
Heel	Filterzand	85,4	1,1	17
Katwijk	Antraciet	86,3	70	17
Kralingen	Antraciet	86,5	0,83	3,5
Lekkerkerk	Filterzand	94,1	6,5	44
Scheveningen	Puimsteen	47,3	40	11
Spannenburg	Filterzand	91,4	4,8	39

De calcium- en ijzergehalten van het adsorbens variëren aanzienlijk. Voor calcium lopen de concentraties uiteen van 0,83 g Ca/kg d.s. (antraciet Kralingen) tot 70 g Ca/kg d.s. (antraciet Katwijk). Ook de ijzergehalten vertonen een forse spreiding. Het antraciet uit pompstation Kralingen bevat ten tijde van de bemonstering 3,5 g Fe/kg d.s. en het filterzand uit Beilen bevat 210 g Fe/kg d.s.

De grote spreiding in samenstelling is mogelijk veroorzaakt door het type water dat verwerkt wordt tot drinkwater en de standtijd van het filtermateriaal ten tijde van de bemonstering.

In bijlage 1 zijn foto's opgenomen van het filtermateriaal.

3.2.2 RWZI EFFLUENT

Op 17 januari 2007 is van RWZI Ootmarsum een steekmonster genomen van het effluent. Dit monster is gekoeld opgeslagen en gebruikt voor de adsorptietesten.

3.2.3 VARIATIE RATIO P:FE

De ratio tussen fosfaat en ijzer is gevarieerd om een adsorptie-isotherm op te stellen. Aangezien het filtermateriaal een bepaald hoeveelheid ijzer bevat en hetzelfde geldt ten aanzien van de fosfaatconcentratie van het afvalwater, was het nodig om:

- 1 de hoeveelheid adsorbens te variëren;
- 2 de fosfaatconcentratie van het afvalwater (kunstmatig) te verhogen; bij het verhogen van de fosfaatconcentratie met kaliumwaterstoffosfaat heeft een pH correctie tot pH 7,0 plaatsgevonden om de invloed van pH effecten te minimaliseren.

3.2.4 MENGING

Menging vond plaats in een end-over-end mixer met een rotatiesnelheid van 30 rpm. In de end-over-end mixer wordt het testbuisje aan een roterende schijf gemonteerd. De testbuisjes zijn gedurende ten minste 24 uur gemengd. Om eventuele temperatuureffecten te voorkomen draait de onderzijde van de end-over-end mixer door een waterbad met een constante temperatuur van 15°C.

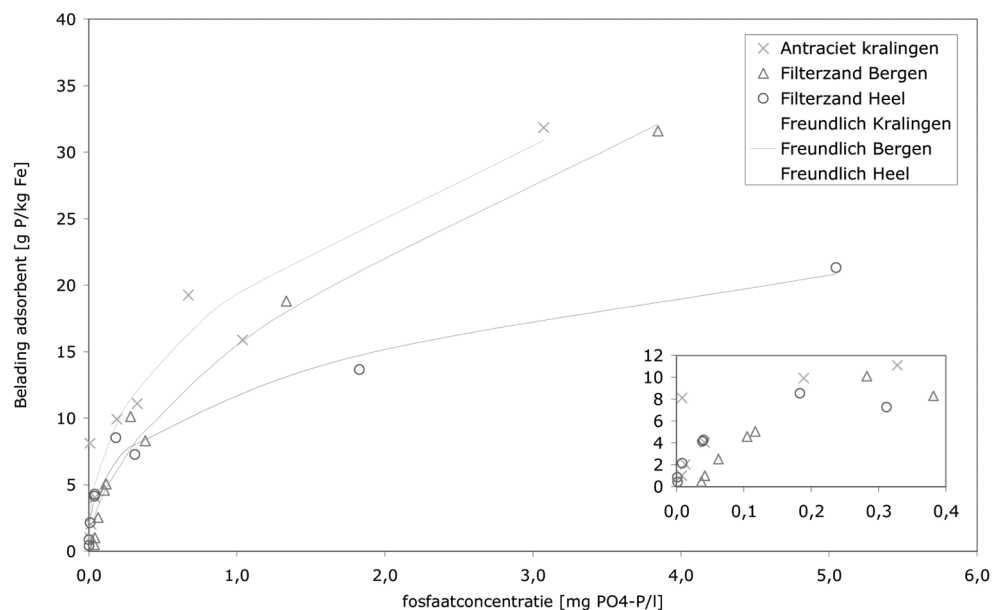
3.2.5 SCHEIDING ADSORBENS

De scheiding van het adsorbens met de vloeibare fractie heeft plaatsgevonden door filtratie over 0,45 µm. Van het filtraat is vervolgens het PO₄-P gehalte bepaald.

3.3 RESULTATEN

Van de tien geteste adsorbentia springen er drie duidelijk bovenuit in termen van adsorptiecapaciteit. Dit zijn de monsters afkomstig uit de pompstations Kralingen, Bergen en Heel. De adsorptie-isothermen van deze drie adsorbents zijn weergegeven in figuur 5. De figuur bevat een inzet om het gebied linksonder uit te vergroten. Hierin is af te lezen dat de belading van het filtermateriaal, waarbij zeer lage fosfaatconcentraties ($< 0,15 \text{ mg PO}_4\text{-P/l}$) behaald worden, in de orde grootte van 5 – 10 g P/kg Fe ligt.

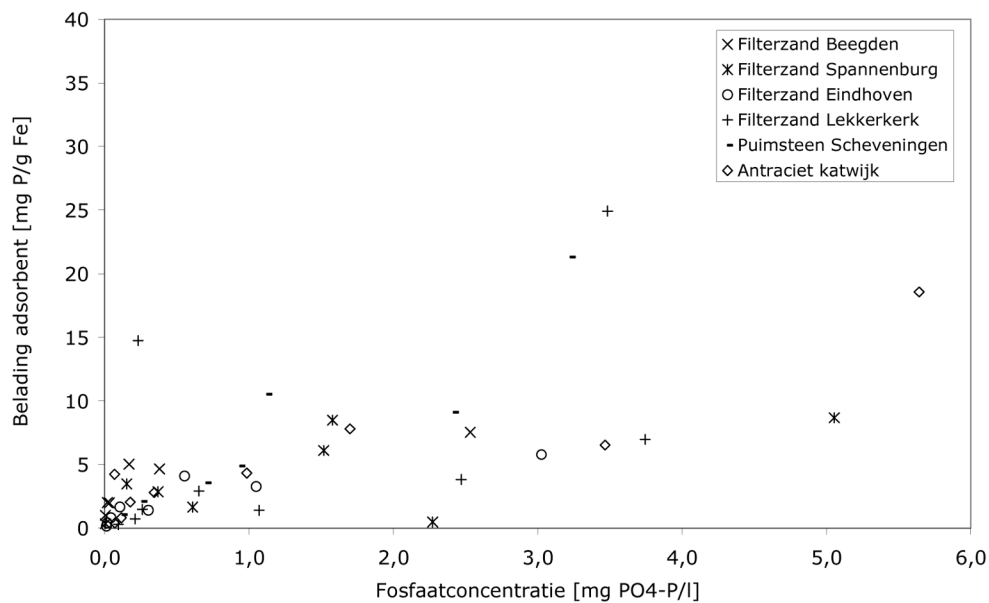
FIGUUR 5: ADSORPTIE-ISOTHERMEN VAN DE DRIE BESTE ADSORBENTS. DE INZET IS EEN UITVERGROTING VAN HET GEBIED LINKS ONDER



De meetpunten van zes overige adsorbents zijn weergegeven in figuur 6. Om zeer lage fosfaatconcentraties ($< 0,15 \text{ mg PO}_4\text{-P/l}$) te behalen, zal de belading van deze filtermaterialen lager dan 5 g P/kg Fe moeten bedragen. Een duidelijke ondergrens is door de spreiding in de getallen niet aan te geven.

Het filterzand van pompstation Beilen bevatte een hogere concentratie aan ijzer (zie tabel 3). Om de belading van het adsorbent voldoende te variëren waren dermate hoge concentraties aan fosfaat nodig (fosfaatconcentraties tot $100 \text{ mg PO}_4\text{-P/l}$) dat er ongewenste neerslagreacties begonnen op te treden. Dit leidt tot een onjuiste conclusie ten aanzien van de adsorptie eigenschappen. De schudproeven met dit filterzand zijn derhalve niet uitgevoerd.

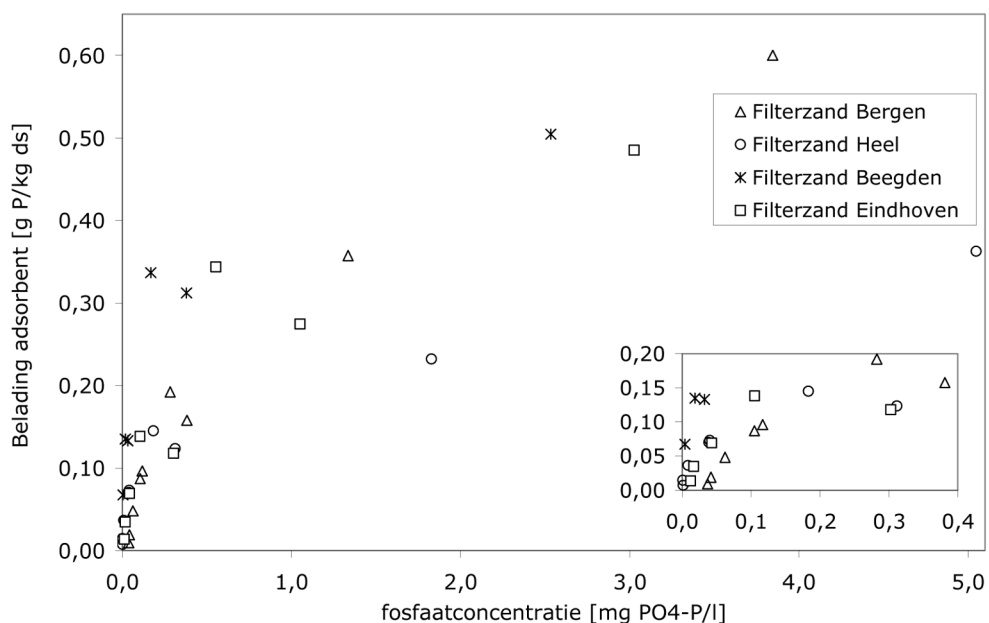
FIGUUR 6: MEETPUNTEN VAN DE OVERIGE ADSORBENTS. DOOR DE SPREIDING IS GEKOZEN OM GEEN ISOTHERMEN WEER TE GEVEN



Adsorptie per gram drogestof

Theoretisch wordt adsorptie van fosfaat aan ijzer(hydr)oxyden voorzien. Echter, de ijzerconcentraties van het bemonsterde materiaal lopen fors uiteen. Zo wordt het antraciet uit Kralingen zeer positief beoordeeld (figuur 5) op basis van de fosfaatbinding per kilogram Fe, terwijl het materiaal de laagste concentraties Fe bevat (zie tabel 3). In de praktijk zal dit materiaal dus niet geprefereerd worden. Indien de fosfaatconcentratie na het bereiken van evenwicht uitgezet wordt tegen het drogestofgehalte, verschijnt een "top 4" zoals is weergegeven in figuur 7.

FIGUUR 7: ADSORPTIE-ISOTHERMEN VAN DE OVERIGE ADSORBENTS



Uit figuur 7 blijkt het filtermateriaal afkomstig van de pompstations Bergen, Beegden en Eindhoven de beste adsorptie-eigenschappen te bezitten.

4

DISCUSSIE EN CONCLUSIES

4.1 DISCUSSIE

4.1.1 MATERIALEN

De tien bemonsterde grondwater pompstations variëren in type innamewater en in concentraties ijzer in het opgepompte water. De standtijd van alle bemonsterde filters bedroeg meer dan 3 jaar. Uit analyses bleek dat alle monsters ijzer bevatten. De pompstations zijn in overleg met de Reststoffenunie geselecteerd en de tien geteste filtermaterialen geven een representatief beeld van het filtermateriaal dat afgezet wordt vanuit de drinkwater pompstations.

4.1.2 METHODE

De toegepaste methode is gestandaardiseerd en relatief eenvoudig. Dit verkleint de kans op fouten. Eén filtermateriaal (Beilen) bleek niet geschikt voor deze methode, omdat hierbij vroegtijdig een neerslag ontstond, ten gevolge van de hogere concentraties van fosfaat (tot 100 mg/l). Voor de uitwerking van de resultaten van de overige proeven zijn evenwichtsconcentraties van fosfaat tot circa 5 mg/l meegenomen. De hogere fosfaatwaarden worden niet verwacht in RWZI effluent en zijn daarmee niet representatief.

4.1.3 PRAKTIJK TOEPASSING

Het onderzochte filtermateriaal kan in principe worden ingezet als nabehandelingstechniek op een RWZI. Voor deze toepassing zijn lage effluentconcentraties ($< 0,15$ mg $\text{PO}_4\text{-P/l}$) gewenst. Uit de schudproeven is geconcludeerd dat deze concentratie bereikt kan worden bij een belading van 5 tot 10 g P/kg Fe en/of bij 0,10 tot 0,15 g P/kg d.s. Voor het berekenen van de haalbaarheid om dit materiaal in de praktijk in te zetten wordt uitgegaan van de in tabel 4 weergegeven waarden.

TABEL 4: UITGANGSPUNTEN BEREKENINGEN HAALBAARHEID FULL-SCALE TOEPASSING

Parameter	Waarde	Eenheid	Basis / bron
Belasting filtermateriaal	0,15	g P/kg d.s.	labproef
Drogestofgehalte	80	%	labproef
Afzet filtermateriaal	6.000	ton/j	Reststoffenunie
P-tot in effluent	1,5	mg/l	CBS
Streefwaarde in effluent	0,15	mg/l	MTR
Aandeel $\text{PO}_4\text{-P}$ in P-tot	60	%	STOWA 2001-15
te verwijderen PO_4	0,9	mg P/l	indien rest = $\text{PO}_4\text{-P}$
te verwijderen PO_4	0,75	mg P/l	indien rest = $\text{PO}_4\text{-P}$
Behandeling afvalwater per i.e.	100	$\text{m}^3/\text{j} \cdot \text{i.e.}$ (54 g BZV)	CBS

Berekeningen

Uit deze uitgangspunten wordt eenvoudig berekend dat het inzetten van de reststof voor het zuiveren van RWZI effluent geen groot potentieel heeft:

Potentieel fosfaatverwijdering:

$$0,15 \text{ g P/kg d.s.} * 6.000 \text{ ton/j} * 80\% = 720 \text{ kg PO}_4\text{-P/j}$$

Te behandelen RWZI effluent:

$$720 \text{ kg P/j} / 0,75 \text{ mg PO}_4\text{-P/l} * 1000 \text{ g/kg} = 0,96 \cdot 10^6 \text{ m}^3\text{/j}$$

Potentie voor zuivering:

$$0,96 \cdot 10^6 \text{ m}^3\text{/j} / 100 \text{ m}^3\text{/j.i.e.} = 9.600 \text{ i.e. (54 g BZV)}$$

Indien al het vrijkomende filtermateriaal wordt ingezet, dan is dit voldoende voor het verwijderen van fosfaat van een RWZI van ongeveer 10.000 i.e. (à 54 g BZV).

4.2 CONCLUSIES

Met representatieve monsters van filtermateriaal uit de drinkwaterbereiding zijn via een betrouwbare methode evenwichtstesten uitgevoerd om de binding van fosfaat uit RWZI effluent aan dit materiaal te onderzoeken. De conclusies van dit onderzoek zijn:

- Uit de analyses van het filtermateriaal is gebleken dat de hoeveelheden ijzer en calcium van het filtergrind of antraciet per pompstation sterk varieert.
- Uit de schudproeven wordt geconcludeerd dat adsorptie van fosfaat aan het filtermateriaal optrad. Zeer lage fosfaatconcentraties (< 0,15 mg PO₄-P/l) worden behaald bij een belading van 5 tot 10 g P/kg Fe en/of bij 0,10 tot 0,15 g P/kg d.s.
- Het verwijderen van fosfaat uit RWZI effluent door adsorptie aan filtermateriaal uit de drinkwaterbereiding met als doel om zeer lage effluentconcentraties (< 0,15 mg PO₄-P/l) te behalen is in principe mogelijk, doch de verhouding tussen benodigd filtermateriaal en de hoeveelheid fosfaat die deze kan binden is dusdanig dat deze techniek niet geschikt is voor de praktijk. Verdergaand onderzoek (kolomproeven, pilot plant) wordt derhalve niet aanbevolen.

5

REFERENTIES

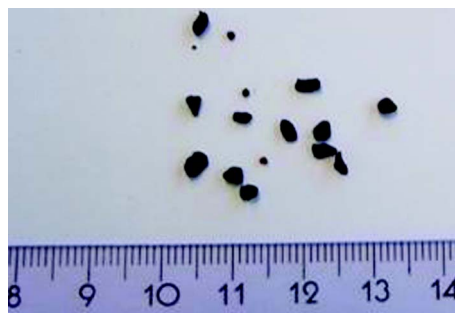
- [1] Stumm, W., Morgan, J.J., Aquatic Chemistry, an introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters. 2nd Edition, 1981.
- [2] Handboek chemische P-verwijdering, STOWA 1993 – 06.
- [3] Toepassing van drinkwaterslib op rioolwaterzuiveringsinrichtingen, STOWA 1994 – 12
- [4] Handboek biologische fosfaatverwijdering, STOWA 2001 – 15
- [5] Watertype gerichte normstelling voor nutriënten in oppervlaktewater, RIVM rapport 703715005/2002, februari 2002
- [6] Technische kenmerken van stedelijke afvalwaterzuiveringsinstallaties, Centraal Bureau van de Statistiek Voorburg/Heerlen, 2003
- [7] Technische kenmerken van stedelijke afvalwaterzuiveringsinstallaties, Centraal Bureau van de Statistiek Voorburg/Heerlen, 2004
- [8] Vergaande verwijdering van fosfaat met helofytenfilters, STOWA 2005 – 19
- [9] Reststoffenunie 2007, Dhr. H. de Bruin; mondeling

BIJLAGE 1

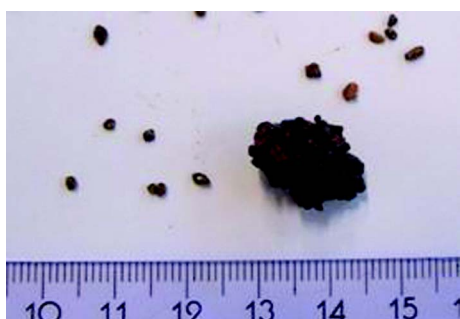
FOTO'S FILTERMATERIAAL



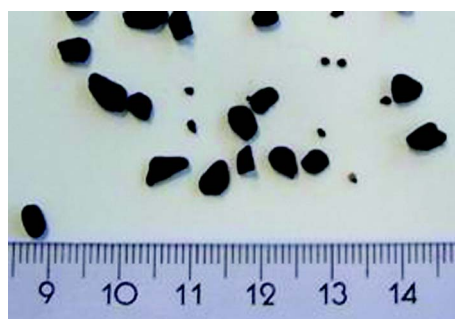
Pompstation Lekkerkerk



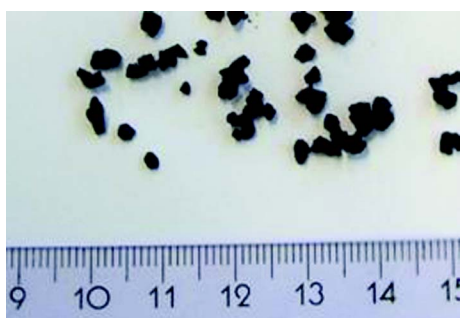
Pompstation Bergen



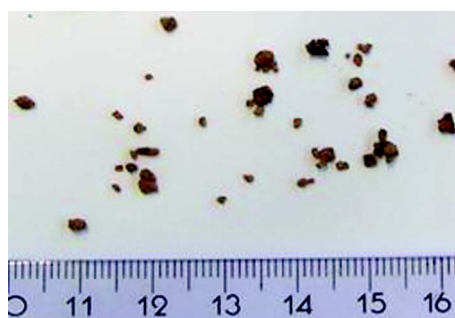
Pompstation Beilen



Pompstation Scheveningen



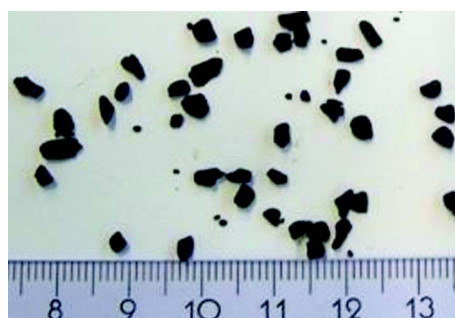
Pompstation Kralingen



Pompstation Eindhoven



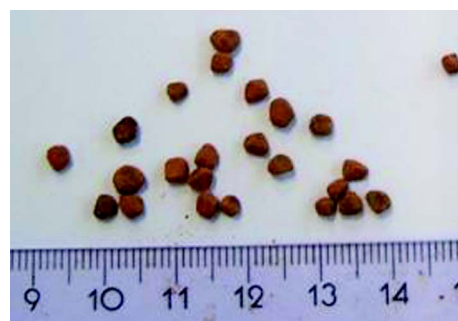
Pompstation Heel



Pompstation Katwijk



Pompstation De Spanenburg



Pompstation Beegden

BIJLAGE 2

ANALYSERESULTATEN SCHUDPROEVEN

Antraciet Katwijk													
Gewenste testparameters		Samenstelling adsorbent			Smst water		Totaal Fe Totaal P		Verhoudig	Metingen aanvang experiment			
Massa sample [gr]	Massa vloeistof [ml]	DS [fractie]	Ca [mg/kg ds]	Fe [mg/kg ds]	Fosfaat in water [mg/l]	[mg]	[mg]	P:Fe [mg/g]	Datum [dd-mm-yy]	Antraciet [gr (nat)]	pH [-]	Redox [mV]	Cond [mS]
0,64	40	0,863	70.000	17.000	20	9,39	0,80	85,20	12-2-2007	0,6504	7,08	337,2	0,69
0,64	40	0,863	70.000	17.000	10	9,39	0,40	42,60	12-2-2007	0,6355	7,08	335,7	0,64
0,64	40	0,863	70.000	17.000	5	9,39	0,20	21,30	12-2-2007	0,6356	7,61	345,2	0,60
0,64	40	0,863	70.000	17.000	2	9,39	0,08	8,52	12-2-2007	0,6422	7,07	345,3	0,58
0,64	40	0,863	70.000	17.000	1	9,39	0,04	4,26	12-2-2007	0,6364	7,07	353,7	0,57
4,00	25	0,863	70.000	17.000	20	58,68	0,50	8,52	31-1-2007		7,10	335,8	0,69
4,00	25	0,863	70.000	17.000	10	58,68	0,25	4,26	31-1-2007		7,05	334,6	0,65
4,00	25	0,863	70.000	17.000	5	58,68	0,13	2,13	31-1-2007		7,06	342,5	0,60
4,00	25	0,863	70.000	17.000	2	58,68	0,05	0,85	31-1-2007		7,01	343,2	0,60
4,00	25	0,863	70.000	17.000	1	58,68	0,03	0,43	31-1-2007		7,11	351,2	0,58

Antraciet katwijk											
Metingen na afloop experiment				Fosfaatgehalte		Berekeningen					
Datum [dd-mm-yy]	pH [ml]	Redox [mV]	Cond [mS]	Uitlezing [mg P/dm3]	Conc [mg P/dm3]	P-aanbod [mg P]	P-rest [mg P]	P-ads [mg P]	Fe [mg Fe]	P-load [mg P/g Fe]	P-conc [mg P/dm3]
13-2-2007	7,32	274,0	0,65	10,00	27,49	0,80	1,099		9,4		
13-2-2007	7,31	263,0	0,63	2,06	5,64	0,40	0,226	0,174	9,4	18,6	5,64
13-2-2007	7,41	263,4	0,60	1,27	3,47	0,20	0,139	0,061	9,4	6,5	3,47
13-2-2007	7,48	263,2	0,60	0,37	0,98	0,08	0,039	0,041	9,4	4,3	0,98
13-2-2007	7,52	231,2	0,60	0,14	0,34	0,04	0,014	0,026	9,4	2,8	0,34
1-2-2007				0,58	1,70	0,50	0,042	0,458	58,7	7,8	1,70
1-2-2007				0,03	0,07	0,25	0,002	0,248	58,7	4,2	0,07
1-2-2007				0,06	0,18	0,13	0,004	0,121	58,7	2,1	0,18
1-2-2007				0,04	0,11	0,05	0,003	0,047	58,7	0,8	0,11
1-2-2007				0,03	0,07	0,03	0,002	0,023	58,7	0,4	0,07

Antraciet Kralingen													
Gewenste testparameters		Samenstelling adsorbent			Smst water		Totaal Fe Totaal P		Verhoudig	Metingen aanvang experiment			
Massa sample [gr]	Massa vloeistof [ml]	DS [fractie]	Ca [mg/kg ds]	Fe [mg/kg ds]	Fosfaat in water [mg/l]	[mg]	[mg]	P:Fe [mg/g]	Datum [dd-mm-yy]	Antraciet [gr (nat)]	pH [-]	Redox [mV]	Cond [mS]
0,80	40	0,865	830	3.500	10	2,42	0,40	165,15	12-2-2007	0,6369	7,08	337,2	0,69
0,80	40	0,865	830	3.500	5	2,42	0,20	82,58	12-2-2007	0,6386	7,08	335,7	0,64
0,80	40	0,865	830	3.500	2	2,42	0,08	33,03	12-2-2007	0,6411	7,61	345,2	0,60
0,80	40	0,865	830	3.500	1	2,42	0,04	16,52	12-2-2007	0,6407	7,07	345,3	0,58
0,80	40	0,865	830	3.500	1	2,42	0,02	8,26	12-2-2007	0,6376	7,07	353,7	0,57
4,00	25	0,865	830	3.500	10	12,11	0,25	20,64	31-1-2007		7,10	335,8	0,69
4,00	25	0,865	830	3.500	5	12,11	0,13	10,32	31-1-2007		7,05	334,6	0,65
4,00	25	0,865	830	3.500	2	12,11	0,05	4,13	31-1-2007		7,06	342,5	0,60
4,00	25	0,865	830	3.500	1	12,11	0,03	2,06	31-1-2007		7,01	343,2	0,60
4,00	25	0,865	830	3.500	1	12,11	0,01	1,03	31-1-2007		7,11	351,2	0,58

Antraciet Kralingen											
Metingen na afloop experiment				Fosfaatgehalte		Berekeningen					
Datum [dd-mm-yy]	pH [ml]	Redox [mV]	Cond [mS]	Uitlezing [mg P/dm3]	Conc [mg P/dm3]	P-aanbod [mg P]	P-rest [mg P]	P-ads [mg P]	Fe [mg Fe]	P-load [mg P/g Fe]	P-conc [mg P/dm3]
13-2-2007	7,31	265,2	0,63	2,12	5,80	0,40	0,232	0,168	2,4	69,3	5,80
13-2-2007	7,21	269,9	0,60	1,13	3,07	0,20	0,123	0,077	2,4	31,8	3,07
13-2-2007	7,20	270,1	0,58	0,39	1,04	0,08	0,042	0,038	2,4	15,9	1,04
13-2-2007	7,25	271,2	0,56	0,13	0,33	0,04	0,013	0,027	2,4	11,1	0,33
13-2-2007	6,95	275,1	0,56	0,01	0,01	0,02	0,000	0,020	2,4	8,1	0,01
1-2-2007				0,23	0,67	0,25	0,017	0,233	12,1	19,3	0,67
1-2-2007				0,07	0,19	0,13	0,005	0,120	12,1	9,9	0,19
1-2-2007				0,02	0,04	0,05	0,001	0,049	12,1	4,0	0,04
1-2-2007				0,01	0,01	0,03	0,000	0,025	12,1	2,0	0,01
1-2-2007				0,01	0,01	0,01	0,000	0,012	12,1	1,0	0,01

Filterzand Bergen													
Gewenste testparameters		Samenstelling adsorbent			Smst water		Totaal Fe Totaal P		Verhoudig	Metingen aanvang experiment			
Massa sample [gr]	Massa vloeistof [ml]	DS [fractie]	Ca [mg/kg ds]	Fe [mg/kg ds]	Fosfaat in water [mg/l]	[mg]	[mg]	P:Fe [mg/g]	Datum [dd-mm-yy]	Antraciet [gr (nat)]	pH [-]	Redox [mV]	Cond [mS]
0,64	40	0,641	6.400	19.000	20	7,79	0,80	102,64	12-2-2007	0,6395	7,08	337,2	0,69
0,64	40	0,641	6.400	19.000	10	7,79	0,40	51,32	12-2-2007	0,6416	7,08	335,7	0,64
0,64	40	0,641	6.400	19.000	5	7,79	0,20	25,66	12-2-2007	0,6407	7,61	345,2	0,60
0,64	40	0,641	6.400	19.000	2	7,79	0,08	10,26	12-2-2007	0,6381	7,07	345,3	0,58
0,64	40	0,641	6.400	19.000	1	7,79	0,04	5,13	12-2-2007	0,6379	7,07	353,7	0,57
4,00	25	0,641	6.400	19.000	20	48,72	0,50	10,26	31-1-2007		7,10	335,8	0,69
4,00	25	0,641	6.400	19.000	10	48,72	0,25	5,13	31-1-2007		7,05	334,6	0,65
4,00	25	0,641	6.400	19.000	5	48,72	0,13	2,57	31-1-2007		7,06	342,5	0,60
4,00	25	0,641	6.400	19.000	2	48,72	0,05	1,03	31-1-2007		7,01	343,2	0,60
4,00	25	0,641	6.400	19.000	1	48,72	0,03	0,51	31-1-2007		7,11	351,2	0,58

Filterzand Bergen											
Metingen na afloop experiment				Fosfaatgehalte		Berekeningen					
Datum [dd-mm-yy]	pH [ml]	Redox [mV]	Cond [mS]	Uitlezing [mg P/dm3]	Conc [mg P/dm3]	P-aanbod [mg P]	P-rest [mg P]	P-ads [mg P]	Fe [mg Fe]	P-load [mg P/g Fe]	P-conc [mg P/dm3]
13-2-2007	7,47	248,0	0,66	4,46	12,25	0,80	0,490	0,310	7,8	39,8	12,25
13-2-2007	7,43	247,0	0,65	1,41	3,84	0,40	0,154	0,246	7,8	31,5	3,84
13-2-2007	7,41	250,0	0,60	0,50	1,33	0,20	0,053	0,147	7,8	18,8	1,33
13-2-2007	7,42	253,0	0,60	0,15	0,38	0,08	0,015	0,065	7,8	8,3	0,38
13-2-2007	7,41	246,1	0,57	0,05	0,10	0,04	0,004	0,036	7,8	4,6	0,10
1-2-2007				0,10	0,28	0,50	0,007	0,493	48,7	10,1	0,28
1-2-2007				0,04	0,12	0,25	0,003	0,247	48,7	5,1	0,12
1-2-2007				0,03	0,06	0,13	0,002	0,123	48,7	2,5	0,06
1-2-2007				0,02	0,04	0,05	0,001	0,049	48,7	1,0	0,04
1-2-2007				0,02	0,04	0,03	0,001	0,024	48,7	0,5	0,04

Filterzand Heel													
Gewenste testparameters		Samenstelling adsorbent			Smst water		Totaal Fe Totaal P		Verhoudig	Metingen aanvang experiment			
Massa sample [gr]	Massa vloeistof [ml]	DS [fractie]	Ca [mg/kg ds]	Fe [mg/kg ds]	Fosfaat in water [mg/l]	[mg]	[mg]	P:Fe [mg/g]	Datum [dd-mm-yy]	Antraciet [gr (nat)]	pH [-]	Redox [mW]	Cond [mS]
0,64	40	0,854	1.100	17.000	20	9,29	0,80	86,10	12-2-2007	0,6414	7,08	337,2	0,69
0,64	40	0,854	1.100	17.000	10	9,29	0,40	43,05	12-2-2007	0,6389	7,08	335,7	0,64
0,64	40	0,854	1.100	17.000	5	9,29	0,20	21,53	12-2-2007	0,6395	7,61	345,2	0,60
0,64	40	0,854	1.100	17.000	2	9,29	0,08	8,61	12-2-2007	0,6395	7,07	345,3	0,58
0,64	40	0,854	1.100	17.000	1	9,29	0,04	4,31	12-2-2007	0,6402	7,07	353,7	0,57
4,00	25	0,854	1.100	17.000	20	58,07	0,50	8,61	31-1-2007		7,10	335,8	0,69
4,00	25	0,854	1.100	17.000	10	58,07	0,25	4,31	31-1-2007		7,05	334,6	0,65
4,00	25	0,854	1.100	17.000	5	58,07	0,13	2,15	31-1-2007		7,06	342,5	0,60
4,00	25	0,854	1.100	17.000	2	58,07	0,05	0,86	31-1-2007		7,01	343,2	0,60
4,00	25	0,854	1.100	17.000	1	58,07	0,03	0,43	31-1-2007		7,11	351,2	0,58

Filterzand Heel												
Metingen na afloop experiment				Fosfaatgehalte		Berekeningen						
Datum [dd-mm-yy]	pH	Redox [mW]	Cond [mS]	Uitlezing [mg P/dm3]	Conc [mg P/dm3]	P-aanbod [mg P]	P-rest [mg P]	P-ads [mg P]	Fe [mg Fe]	P-load [mg P/g Fe]	P-conc [mg P/dm3]	
13-2-2007	7,31	250,0	0,66	3,50	9,60	0,80	0,384	0,416	9,3	44,8	9,60	
13-2-2007	7,30	240,0	0,60	1,85	5,05	0,40	0,202	0,198	9,3	21,3	5,05	
13-2-2007	7,27	254,0	0,58	0,68	1,83	0,20	0,073	0,127	9,3	13,7	1,83	
13-2-2007	7,17	264,0	0,56	0,12	0,31	0,08	0,012	0,068	9,3	7,3	0,31	
13-2-2007	6,95	266,0	0,56	0,03	0,04	0,04	0,002	0,038	9,3	4,1	0,04	
1-2-2007				0,07	0,18	0,50	0,005	0,495	58,1	8,5	0,18	
1-2-2007				0,02	0,04	0,25	0,001	0,249	58,1	4,3	0,04	
1-2-2007				0,01	0,01	0,13	0,000	0,125	58,1	2,1	0,01	
1-2-2007				0,01	0,00	0,05	0,000	0,050	58,1	0,9	0,00	
1-2-2007				0,01	0,00	0,03	0,000	0,025	58,1	0,4	0,00	

Filterzand Beegden													
Gewenste testparameters		Samenstelling adsorbent			Smst water		Totaal Fe Totaal P		Verhoudig	Metingen aanvang experiment			
Massa sample [gr]	Massa vloeistof [ml]	DS [fractie]	Ca [mg/kg ds]	Fe [mg/kg ds]	Fosfaat in water [mg/l]	[mg]	[mg]	P:Fe [mg/g]	Datum [dd-mm-yy]	Antraciet [gr (nat)]	pH [-]	Redox [mW]	Cond [mS]
0,64	40	0,925	3.100	67.000	50	39,66	2,00	50,42	12-2-2007	0,6410	7,08	349,5	0,86
0,64	40	0,925	3.100	67.000	20	39,66	0,80	20,17	12-2-2007	0,6476	7,08	337,2	0,69
0,64	40	0,925	3.100	67.000	10	39,66	0,40	10,08	12-2-2007	0,6362	7,08	335,7	0,64
0,64	40	0,925	3.100	67.000	5	39,66	0,20	5,04	12-2-2007	0,6440	7,61	345,2	0,60
0,64	40	0,925	3.100	67.000	2	39,66	0,08	2,02	12-2-2007	0,6454	7,07	345,3	0,58
4,00	25	0,925	3.100	67.000	50	247,90	1,25	5,04	12-2-2007	4,0126	7,08	349,5	0,86
4,00	25	0,925	3.100	67.000	20	247,90	0,50	2,02	12-2-2007	4,0196	7,08	337,2	0,69
4,00	25	0,925	3.100	67.000	10	247,90	0,25	1,01	12-2-2007	4,0009	7,08	335,7	0,64
4,00	25	0,925	3.100	67.000	5	247,90	0,13	0,50	12-2-2007	4,0129	7,61	345,2	0,60
4,00	25	0,925	3.100	67.000	2	247,90	0,05	0,20	12-2-2007	4,0069	7,07	345,3	0,58

Filterzand Beegden												
Metingen na afloop experiment				Fosfaatgehalte		Berekeningen						
Datum [dd-mm-yy]	pH	Redox [mW]	Cond [mS]	Uitlezing [mg P/dm3]	Conc [mg P/dm3]	P-aanbod [mg P]	P-rest [mg P]	P-ads [mg P]	Fe [mg Fe]	P-load [mg P/g Fe]	P-conc [mg P/dm3]	
13-2-2007	7,16	267,0	0,81	4,12	11,30	2,00	0,452	1,548	39,7	39,0	11,30	
13-2-2007	7,23	275,2	0,75	2,64	7,22	0,80	0,289	0,511	39,7	12,9	7,22	
13-2-2007	7,20	278,1	0,72	0,93	2,53	0,40	0,101	0,299	39,7	7,5	2,53	
13-2-2007	7,05	309,1	0,60	0,15	0,38	0,20	0,015	0,185	39,7	4,7	0,38	
13-2-2007	7,01	341,0	0,57	0,02	0,03	0,08	0,001	0,079	39,7	2,0	0,03	
13-2-2007	7,07	292,9	0,81	0,06	0,17	1,25	0,004	1,246	247,9	5,0	0,17	
13-2-2007	7,03	301,8	0,80	0,01	0,02	0,50	0,000	0,500	247,9	2,0	0,02	
13-2-2007	6,99	300,7	0,81	0,01	0,00	0,25	0,000	0,250	247,9	1,0	0,00	
13-2-2007	6,40	341,5	0,79	0,00	(0,00)	0,13	(0,000)	0,125	247,9	0,5	(0,00)	
13-2-2007	6,99	357,8	0,78	0,00	(0,01)	0,05	(0,000)	0,050	247,9	0,2	(0,01)	

Filterzand Beilen													
Gewenste testparameters		Samenstelling adsorbent			Smst water		Totaal Fe Totaal P		Verhoudig	Metingen aanvang experiment			
Massa sample [gr]	Massa vloeistof [ml]	DS [fractie]	Ca [mg/kg ds]	Fe [mg/kg ds]	Fosfaat in water [mg/l]	[mg]	[mg]	P:Fe [mg/g]	Datum [dd-mm-yy]	Antraciet [gr (nat)]	pH [-]	Redox [mW]	Cond [mS]
0,32	40	0,785	11.000	210.000	100	52,75	4,00	75,83	12-2-2007				
0,32	40	0,785	11.000	210.000	50	52,75	2,00	37,91	12-2-2007				
0,32	40	0,785	11.000	210.000	20	52,75	0,80	15,17	12-2-2007				
0,32	40	0,785	11.000	210.000	10	52,75	0,40	7,58	12-2-2007				
0,32	40	0,785	11.000	210.000	5	52,75	0,20	3,79	12-2-2007				
2,00	25	0,785	11.000	210.000	100	329,70	2,50	7,58	12-2-2007				
2,00	25	0,785	11.000	210.000	50	329,70	1,25	3,79	12-2-2007				
2,00	25	0,785	11.000	210.000	20	329,70	0,50	1,52	12-2-2007				
2,00	25	0,785	11.000	210.000	10	329,70	0,25	0,76	12-2-2007				
2,00	25	0,785	11.000	210.000	5	329,70	0,13	0,38	12-2-2007				

Filterzand Beilen												
Metingen na afloop experiment				Fosfaatgehalte		Berekeningen						
Datum [dd-mm-yy]	pH	Redox [mW]	Cond [mS]	Uitlezing [mg P/dm3]	Conc [mg P/dm3]	P-aanbod [mg P]	P-rest [mg P]	P-ads [mg P]	Fe [mg Fe]	P-load [mg P/g Fe]	P-conc [mg P/dm3]	
				4,00	0,000	4,000	52,8	75,8	0,00		0,00	
				2,00	0,000	2,000	52,8	37,9	0,00		0,00	
				0,80	0,000	0,800	52,8	15,2	0,00		0,00	
				0,40	0,000	0,400	52,8	7,6	0,00		0,00	
				0,20	0,000	0,200	52,8	3,8	0,00		0,00	
				2,50	0,000	2,500	329,7	7,6	0,00		0,00	
				1,25	0,000	1,250	329,7	3,8	0,00		0,00	
				0,50	0,000	0,500	329,7	1,5	0,00		0,00	
				0,25	0,000	0,250	329,7	0,8	0,00		0,00	
				0,13	0,000	0,125	329,7	0,4	0,00		0,00	

Filterzand Spanenburg													
Gewenste testparameters		Samenstelling adsorbent			Smst water		Totaal Fe Totaal P		Verhoudig	Metingen aanvang experiment			
Massa sample [gr]	Massa vloeistof [ml]	DS [fractie]	Ca [mg/kg ds]	Fe [mg/kg ds]	Fosfaat in water [mg/l]	[mg]	[mg]	P:Fe [mg/g]	Datum [dd-mm-yy]	Antraciet [gr (nat)]	pH [-]	Redox [mW]	Cond [mS]
0,64	40	0,914	4.800	39.000	50	22,81	2,00	87,67	12-2-2007	0,6469	7,08	349,5	0,86
0,64	40	0,914	4.800	39.000	20	22,81	0,80	35,07	12-2-2007	0,6401	7,08	337,2	0,69
0,64	40	0,914	4.800	39.000	10	22,81	0,40	17,53	12-2-2007	0,6390	7,08	335,7	0,64
0,64	40	0,914	4.800	39.000	5	22,81	0,20	8,77	12-2-2007	0,6418	7,61	345,2	0,60
0,64	40	0,914	4.800	39.000	2	22,81	0,08	3,51	12-2-2007	0,6433	7,07	345,3	0,58
4,00	25	0,914	4.800	39.000	50	142,58	1,25	8,77	12-2-2007	4,0059	7,08	349,5	0,86
4,00	25	0,914	4.800	39.000	20	142,58	0,50	3,51	12-2-2007	4,0020	7,08	337,2	0,69
4,00	25	0,914	4.800	39.000	10	142,58	0,25	1,75	12-2-2007	4,0053	7,08	335,7	0,64
4,00	25	0,914	4.800	39.000	5	142,58	0,13	0,88	12-2-2007	4,0164	7,61	345,2	0,60
4,00	25	0,914	4.800	39.000	2	142,58	0,05	0,35	12-2-2007	4,0223	7,07	345,3	0,58

Filterzand Spanneburg													
Metingen na afloop experiment				Fosfaatgehalte				Berekeningen					
Datum	pH	Redox	Cond	Uitlezing	Conc	P-aanbod	P-rest	P-ads	Fe	P-load	P-conc		
[dd-mm-yy]	[ml]	[mW]	[mS]	[mg P/dm3]	[mg P/dm3]	[mg P]	[mg P]	[mg P]	[mg Fe]	[mg P/g Fe]	[mg P/dm3]		
13-2-2007	7,32	207,7	0,84	10,00	27,49	2,00	1,099	0,901	22,8	39,5	27,49		
13-2-2007	7,43	267,3	0,66	3,67	10,08	0,80	0,403	0,397	22,8	17,4	10,08		
13-2-2007	7,44	272,4	0,61	1,85	5,05	0,40	0,202	0,198	22,8	8,7	5,05		
13-2-2007	7,44	277,9	0,67	0,56	1,52	0,20	0,061	0,139	22,8	6,1	1,52		
13-2-2007	7,21	296,7	0,55	0,15	0,37	0,08	0,015	0,065	22,8	2,9	0,37		
13-2-2007	7,54	261,2	0,77	0,54	1,58	1,25	0,039	1,211	142,6	8,5	1,58		
13-2-2007	7,54	259,9	0,65	0,06	0,15	0,50	0,004	0,496	142,6	3,5	0,15		
13-2-2007	7,50	264,3	0,70	0,21	0,61	0,25	0,015	0,235	142,6	1,6	0,61		
13-2-2007	7,52	283,5	0,66	0,77	2,27	0,13	0,057	0,068	142,6	0,5	2,27		
13-2-2007	7,39	292,5	0,65	0,01	0,00	0,05	0,000	0,050	142,6	0,3	0,00		

Filterzand Eindhoven														
Gewenste testparameters			Samenstelling adsorbent			Smst water		Totaal Fe	Totaal P	Verhouding	Metingen aanvang experiment			
Massa sample	Massa vloeistof	DS	Ca	Fe	Fosfaat in water	Totaal Fe	Totaal P	P-Fe	Datum	Antraciet	pH	Redox	Cond	
[gr]	[ml]	[fractie]	[mg/kg ds]	[mg/kg ds]	[mg/l]	[mg]	[mg]	[mg/g]	[dd-mm-yy]	[gr (nat)]	[-]	[mW]	[mS]	
0,64	40	0,899	3,900	84,000	50	48,33	2,00	41,38	20-2-2007	0,6427	7,07	349,2	0,86	
0,64	40	0,899	3,900	84,000	20	48,33	0,80	16,55	20-2-2007	0,6417	7,08	332,8	0,70	
0,64	40	0,899	3,900	84,000	10	48,33	0,40	8,28	20-2-2007	0,6420	7,04	335,2	0,64	
0,64	40	0,899	3,900	84,000	5	48,33	0,20	4,14	20-2-2007	0,6430	7,07	344,2	0,61	
0,64	40	0,899	3,900	84,000	2	48,33	0,08	1,66	20-2-2007	0,6392	7,05	343,1	0,58	
4,00	25	0,899	3,900	84,000	50	302,06	1,25	4,14	15-2-2007	4,0085	7,08	346,7	0,85	
4,00	25	0,899	3,900	84,000	20	302,06	0,50	1,66	15-2-2007	4,0182	7,09	334,6	0,68	
4,00	25	0,899	3,900	84,000	10	302,06	0,25	0,83	15-2-2007	4,0056	7,04	335,1	0,64	
4,00	25	0,899	3,900	84,000	5	302,06	0,13	0,41	15-2-2007	4,0023	7,07	343,1	0,60	
4,00	25	0,899	3,900	84,000	2	302,06	0,05	0,17	15-2-2007	3,9981	7,05	343,6	0,59	

Filterzand Eindhoven													
Metingen na afloop experiment				Fosfaatgehalte				Berekeningen					
Datum	pH	Redox	Cond	Uitlezing	Conc	P-aanbod	P-rest	P-ads	Fe	P-load	P-conc		
[dd-mm-yy]	[ml]	[mW]	[mS]	[mg P/dm3]	[mg P/dm3]	[mg P]	[mg P]	[mg P]	[mg Fe]	[mg P/g Fe]	[mg P/dm3]		
21-2-2007	7,19	361,2	0,80	10,00	22,19	2,00	0,888	1,112	48,3	23,0	22,19		
21-2-2007	7,35	354,8	0,65	3,43	7,61	0,80	0,304	0,496	48,3	10,3	7,61		
21-2-2007	7,38	345,2	0,60	1,36	3,03	0,40	0,121	0,279	48,3	5,8	3,03		
21-2-2007	7,37	337,8	0,60	0,47	1,05	0,20	0,042	0,158	48,3	3,3	1,05		
21-2-2007	7,94	312,8	1,29	0,14	0,30	0,08	0,012	0,068	48,3	1,4	0,30		
16-2-2007	7,24	322,5	0,65	0,21	0,55	1,25	0,014	1,236	302,1	4,1	0,55		
16-2-2007	7,19	322,3	0,56	0,05	0,11	0,50	0,003	0,497	302,1	1,6	0,11		
16-2-2007	7,20	321,7	0,52	0,03	0,04	0,25	0,001	0,249	302,1	0,8	0,04		
16-2-2007	7,19	324,9	0,52	0,02	0,02	0,13	0,000	0,125	302,1	0,4	0,02		
16-2-2007	7,22	324,6	0,65	0,02	0,01	0,05	0,000	0,050	302,1	0,2	0,01		

Filterzand Lekkerkerk														
Gewenste testparameters			Samenstelling adsorbent			Smst water		Totaal Fe	Totaal P	Verhouding	Metingen aanvang experiment			
Massa sample	Massa vloeistof	DS	Ca	Fe	Fosfaat in water	Totaal Fe	Totaal P	P-Fe	Datum	Antraciet	pH	Redox	Cond	
[gr]	[ml]	[fractie]	[mg/kg ds]	[mg/kg ds]	[mg/l]	[mg]	[mg]	[mg/g]	[dd-mm-yy]	[gr (nat)]	[-]	[mW]	[mS]	
0,64	40	0,941	6,500	44,000	50	26,50	2,00	75,48	20-2-2007	0,6401	7,07	349,2	0,86	
0,64	40	0,941	6,500	44,000	20	26,50	0,80	30,19	20-2-2007	0,6405	7,08	332,8	0,70	
0,64	40	0,941	6,500	44,000	10	26,50	0,40	15,10	20-2-2007	0,6406	7,04	335,2	0,64	
0,64	40	0,941	6,500	44,000	5	26,50	0,20	7,55	20-2-2007	0,6426	7,07	344,2	0,61	
0,64	40	0,941	6,500	44,000	2	26,50	0,08	3,02	20-2-2007	0,6434	7,05	343,1	0,58	
4,00	25	0,941	6,500	44,000	50	165,62	1,25	7,55	15-2-2007	3,9914	7,08	348,7	0,85	
4,00	25	0,941	6,500	44,000	20	165,62	0,50	3,02	15-2-2007	4,0059	7,09	334,6	0,68	
4,00	25	0,941	6,500	44,000	10	165,62	0,25	1,51	15-2-2007	4,0069	7,04	335,1	0,64	
4,00	25	0,941	6,500	44,000	5	165,62	0,13	0,75	15-2-2007	4,0098	7,07	343,1	0,60	
4,00	25	0,941	6,500	44,000	2	165,62	0,05	0,30	15-2-2007	4,0040	7,05	343,6	0,59	

Filterzand Lekkerkerk													
Metingen na afloop experiment				Fosfaatgehalte				Berekeningen					
Datum	pH	Redox	Cond	Uitlezing	Conc	P-aanbod	P-rest	P-ads	Fe	P-load	P-conc		
[dd-mm-yy]	[ml]	[mW]	[mS]	[mg P/dm3]	[mg P/dm3]	[mg P]	[mg P]	[mg P]	[mg Fe]	[mg P/g Fe]	[mg P/dm3]		
21-2-2007	7,30	372,1	0,86	10,00	22,19	2,00	0,888	1,112	26,5	42,0	22,19		
21-2-2007	8,01	340,8	1,23	1,57	3,48	0,80	0,139	0,661	26,5	24,9	3,48		
21-2-2007	8,19	333,1	1,36	0,10	0,23	0,40	0,009	0,391	26,5	14,7	0,23		
21-2-2007	7,38	362,4	0,63	1,11	2,47	0,20	0,099	0,101	26,5	3,8	2,47		
21-2-2007	7,28	356,6	0,59	0,46	1,07	0,08	0,043	0,037	26,5	1,4	1,07		
16-2-2007	7,45	313,2	0,72	1,37	3,74	1,25	0,094	1,156	165,6	7,0	3,74		
16-2-2007	7,47	308,4	0,62	0,25	0,65	0,50	0,016	0,484	165,6	2,9	0,65		
16-2-2007	7,44	312,2	0,59	0,11	0,26	0,25	0,007	0,243	165,6	1,5	0,26		
16-2-2007	7,51	294,7	1,08	0,09	0,21	0,13	0,005	0,120	165,6	0,7	0,21		
16-2-2007	7,19	319,9	0,83	0,05	0,09	0,05	0,002	0,048	165,6	0,3	0,09		

Puinsteen Scheveningen														
Gewenste testparameters			Samenstelling adsorbent			Smst water		Totaal Fe	Totaal P	Verhouding	Metingen aanvang experiment			
Massa sample	Massa vloeistof	DS	Ca	Fe	Fosfaat in water	Totaal Fe	Totaal P	P-Fe	Datum	Antraciet	pH	Redox	Cond	
[gr]	[ml]	[fractie]	[mg/kg ds]	[mg/kg ds]	[mg/l]	[mg]	[mg]	[mg/g]	[dd-mm-yy]	[gr (nat)]	[-]	[mW]	[mS]	
0,64	40	0,473	40,000	11,000	20	3,33	0,80	240,25	20-2-2007	0,6443	7,07	349,2	0,86	
0,64	40	0,473	40,000	11,000	10	3,33	0,40	120,12	20-2-2007	0,6412	7,08	332,8	0,70	
0,64	40	0,473	40,000	11,000	5	3,33	0,20	60,06	20-2-2007	0,6403	7,04	335,2	0,64	
0,64	40	0,473	40,000	11,000	2	3,33	0,08	24,02	20-2-2007	0,6465	7,07	344,2	0,61	
0,64	40	0,473	40,000	11,000	1	3,33	0,04	12,01	20-2-2007	0,6358	7,05	343,1	0,58	
4,00	25	0,473	40,000	11,000	20	20,81	0,50	24,02	15-2-2007	4,0070	7,09	334,6	0,68	
4,00	25	0,473	40,000	11,000	10	20,81	0,25	12,01	15-2-2007	3,9920	7,04	335,1	0,64	
4,00	25	0,473	40,000	11,000	5	20,81	0,13	6,01	15-2-2007	4,0007	7,07	343,1	0,60	
4,00	25	0,473	40,000	11,000	2	20,81	0,05	2,40	15-2-2007	3,9979	7,05	343,6	0,59	
4,00	25	0,473	40,000	11,000	1	20,81	0,03	1,20	15-2-2007	4,0083	7,09	351,2	0,58	

Puinsteen Scheveningen													
Metingen na afloop experiment				Fosfaatgehalte				Berekeningen					
Datum	pH	Redox	Cond	Uitlezing	Conc	P-aanbod	P-rest	P-ads	Fe	P-load	P-conc		
[dd-mm-yy]	[ml]	[mW]	[mS]	[mg P/dm3]	[mg P/dm3]	[mg P]	[mg P]	[mg P]	[mg Fe]	[mg P/g Fe]	[mg P/dm3]		
21-2-2007	7,69	400,7	0,65	10,00	22,19	0,80	0,888	(0,088)	3,3				
21-2-2007	7,78	398,4	0,63	3,06	6,79	0,40	0,272	0,128	3,3	38,6	6,79		
21-2-2007	7,81	397,4	0,84	1,45	3,23	0,20	0,129	0,071	3,3	21,3	3,23		
21-2-2007	7,80	394,7	0,62	0,51	1,12	0,08	0,045	0,035	3,3	10,5	1,12		
21-2-2007	7,70	405,8		0,32	0,70	0,04	0,028	0,012	3,3	3,6	0,70		
16-2-2007	7,85	299,2	0,71	2,52	6,90	0,50	0,173	0,327	20,8	15,7	6,90		
16-2-2007	7,92	291,9	0,68	0,89	2,42	0,25	0,060	0,190	20,8	9,1	2,42		
16-2-2007	7,84	297,9	0,65	0,35	0,94	0,13	0,023	0,102	20,8	4,9	0,94		
16-2-2007	7,86	265,8	0,71	0,10	0,26	0,05	0,006	0,044	20,8	2,1	0,26		
16-2-2007	7,78	303,1	0,63	0,06	0,12	0,03	0,003	0,022	20,8	1,1	0,12		

stowa

STICHTING
TOEGEPAST ONDERZOEK WATERBEHEER

stowa@stowa.nl www.stowa.nl
TEL 030 232 11 99 FAX 030 232 17 66
[Arthur van Schendelstraat 816](#)
POSTBUS 8090 3503 RB UTRECHT

