

KWR | Februari 2017

Biomassa in een GAC filter

Effecten van filtratie en terugspoelen

Biomassa in een GAC filter

Effecten van filtratie en terugspoelen.

KWR 2017.010 | Januari 2017

Opdrachtnummer

401386/005

Projectmanager

Bas Wols

Opdrachtgever

Dunea, PWN, Waternet, Evides

Kwaliteitsborger(s)

Paul van der Wielen

Auteur(s)

Roberta Hofman-Caris, Cheryl Bertelkamp

Begeleidingsgroep DPWE

Emmanuelle Prest (PWN), Jordi van Mook (Evides), Aleksandra Magic-Knezev (HWL), René van der Aa (Waternet)

Verzonden aan

Emmanuelle Prest (PWN), Jordi van Mook (Evides), Aleksandra Magic-Knezev (HWL), René van der Aa (Waternet)

Jaar van publicatie
2017

Meer informatie

dr.ir. Roberta Hofman-Caris
T 030-6069674
E roberta.hofman-caris@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl



KWR 2017.010 | Februari 2017 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Managementsamenvatting

Actieve kool: wat gebeurt er met de biomassa?

Auteurs dr. ir. Roberta Hofman-Caris, dr. ir. Cheryl Bertelkamp

Filtratie over actieve kool wordt toegepast om kleur, geur, en smaak, te verbeteren, en organisch materiaal (en organische microverontreinigingen) uit het water te verwijderen. Het is echter bekend dat zich op die kool ook biomassa bevindt, die een deel van het organisch materiaal opneemt en afbreekt. De vraag was of micro-organismen dan ook uitspoelen naar het effluent van de actieve kool, en of door terugspoelen niet een significant deel van de biomassa wordt verwijderd? Uit dit onderzoek blijkt dat inderdaad micro-organismen zijn betrokken bij de verwijdering van organisch materiaal door actieve kool, maar dat die nauwelijks aanwezig zijn in het effluent. Tijdens het terugspoelen wordt wel een deel van de biomassa uitgespoeld, maar dit komt overeen met slechts 0,2% van de totale hoeveelheid organisch materiaal die door de actieve kool uit het water werd verwijderd. Dit betekent dat geen significante hoeveelheden micro-organismen de actieve kool verlaten.

Massabalans over actieve kool

Materiaal	Totaal influent (mg C)	Totaal effluent (mg C)	Totaal Terugspoelvoeistof (mg C)	Totaal uit (mg C)	Vershil (%)
TOC (*10 ⁵)	10,2	7,57	0,057	7,63	25% afname
DOC (*10 ⁵)	10,4	7,33	0,034	7,37	29% afname
PHMOC (*10 ⁴)	9,59	7,07	0,51	7,59	21% afname
ATP (*10 ³)	6,29	6,71	5,46	12,2	95% toename

Belang: Weinig verwijdering van biomassa uit actieve kool

Het is bekend dat micro-organismen een belangrijke rol spelen bij de verwijdering van organisch materiaal door actieve kool (GAC). Wanneer die micro-organismen echter in het effluent van de kool terechtkomen, zou de biologische stabiliteit van het geproduceerde drinkwater kunnen afnemen. Indien micro-organismen tijdens het terugspoelen van de kool grotendeels worden verwijderd, zou dit de werking van de kool kunnen aantasten.

Aanpak: Bepalen van de massabalans voor organisch materiaal over een GAC kolom.

Gedurende 28 dagen werd geanalyseerd wat voor organisch materiaal zich bevond in zowel het influent als het effluent van een met GAC gevulde kolom. Bovendien werd vóór en na deze periode de kolom teruggespoeld, en werden ook in het spoelwater het organische materiaal en de biomassa gemeten. Op grond hiervan werd berekend wat er met het organische materiaal gebeurt tijdens filtratie, en hoeveel biomassa de kolom via effluent of spoelwater verlaat.

Resultaten: biomassa wordt gevormd, maar slechts weinig biomassa verlaat de kool.

Uit de metingen bleek dat ongeveer 25% van de totale hoeveelheid organisch materiaal door de GAC wordt verwijderd. Deels wordt dit materiaal omgezet in biomassa. Het effluent van de GAC lijkt relatief weinig ATP uit het actieve kool te bevatten, maar in het spoelwater worden deze wel aangetroffen. De totale hoeveelheid biomassa die via effluent en spoelwater de GAC verlaat is echter erg klein: slechts ongeveer 0,2% van de totale hoeveelheid door de kolom verwijderd organisch materiaal (TOC).

Implementatie: Weinig kans op micro-organismen in drinkwater; weinig verwijdering van micro-organismen tijdens terugspoelen.

Hoewel er duidelijk biomassa wordt gevormd in de GAC, lijkt tijdens het terugspoelen de effectiviteit van de GAC nauwelijks te worden aangetast. Slechts een schijnbaar klein deel wordt via het effluent of tijdens het terugspoelen verwijderd.

Rapport

Dit onderzoek is beschreven in rapport *GAC spoelregime* (BTO-2017.010).

Jaar van publicatie

2017

Meer informatie

dr.ir. Roberta Hofman-Caris
T 030-6069674
E roberta.hofman-caris@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl



KWR 2017.010 | Februari 2017 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voorwoord

Dit project is uitgevoerd in het kader van het DPWE-onderzoek, het collectieve onderzoek van de duinwaterbedrijven Dunea, PWN, Waternet en Evides. Het project is opgezet en uitgevoerd in nauwe samenwerking met de begeleidingsgroep, bestaande uit Emmanuelle Prest (PWN), Jordi v. Mook (Evides), René v.d. Aa (Waternet) en Aleksandra Knezev (HWL). Alle experimenten zijn uitgevoerd bij PWN door Emmanuelle Prest en Marco Aalders; de monstervoorbehandeling en analyses zijn uitgevoerd bij KWR.

Samenvatting

Om te achterhalen wat er gebeurt met organisch materiaal en biomassa tijdens een filtratie over actieve kool, zijn experimenten uitgevoerd met een pilotkolom gevuld met GAC uit het full scale filter van PWN. Het water dat over deze kolom werd geleid was voorbehandeld door middel van coagulatie/sedimentatie en snelfiltratie, gevolgd door UV/H₂O₂. Vóór aanvang van het experiment en aan het einde (na 28 dagen) werd het filter teruggespoeld, en werd het spoelwater geanalyseerd op DOC, TOC, PHMOC, totaal ATP en vrij ATP. Verder werden monsters genomen van influent en effluent direct na de start van het experiment (van het eerste spoelwater en het filtraat daarna), na één dag, na 14 dagen en na 28 dagen. In het influent en effluent werden eveneens de gehalten DOC, TOC, PHMOC, totaal ATP en vrij ATP gemeten.

Uit de resultaten kan worden geconcludeerd dat de GAC ongeveer 28% van het TOC/DOC verwijdert uit het water, en meer specifiek ca. 25% van het biopolymeer/ deeltjes gebonden organisch materiaal (PHMOC). In het influent bestond 9,43% van het TOC uit PHMOC, en in het effluent maakte het PHMOC in totaal 9,94% uit van het TOC. Een deel van het TOC en PHMOC komt vrij met het spoelwater, waardoor de uiteindelijke netto verwijdering van TOC ca. 25%, en van PHMOC ongeveer 20% is (dit ontbreekt aan de massabalans). Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door biodegradatie in het filter. Het via effluent of spoelen vrijgekomen organisch materiaal heeft overigens niet noodzakelijk dezelfde samenstelling als het materiaal dat via het influent in de kolom kwam.

Het spoelwater bevat ongeveer evenveel DOC als het effluent tijdens de experimenten, maar het TOC-gehalte is ongeveer een factor twee hoger, wat wijst op de aanwezigheid van een significante hoeveelheid niet oplosbaar organisch materiaal (biomassa, en mogelijk ook wat actieve kool zelf). De ATP-concentratie in het spoelwater is ongeveer 100 keer zo hoog als in het effluent van de kolom. Het PHMOC-gehalte is ongeveer 10-20 keer hoger in het spoelwater dan in het effluent.

Micro-organismen spelen zeker een rol in de verwijdering van organisch materiaal, wat blijkt uit het feit dat gedurende ongeveer één dag (na terugspoelen) de verwijdering van TOC/DOC nog toeneemt. Bovendien blijkt dat de hoeveelheid biomassa in het filter toeneemt: de hoeveelheden ATP in influent en effluent zijn ongeveer even hoog, maar bij terugspoelen wordt ook een vergelijkbare hoeveelheid ATP gemeten. Dit zegt overigens niets over de samenstelling van het ATP, en de mogelijke verandering daarvan in de kolom. Daarnaast bevat het influent vrijwel alleen vrij ATP, terwijl zowel in het effluent als in het spoelwater ook bacterieel ATP voorkomt. Dit wijst erop dat er veel biologische activiteit plaatsvindt in het filter.

Blijkbaar bevat het spoelwater meer micro-organismen en organisch materiaal dan het effluent. De hoeveelheid biomassa die via het effluent de kolom verlaat is relatief klein. Het TOC in het spoelwater bestaat voor het overgrote deel uit PHMOC, maar bacteriën blijken hier slechts een relatief klein deel van uit te maken. Wel blijkt duidelijk dat in het filter actieve biomassa wordt gevormd.

Het verdient aanbeveling de samenstelling van PHMOC en TOC vast te stellen, omdat dit meer informatie geeft over de samenstelling van de biomassa en de bacteriepopulaties in de

kolom. Meer begrip van wat er precies gebeurt geeft ook inzicht in wat de optimale terugspoelfrequentie zou kunnen zijn.

Inhoud

Managementsamenvatting	2
Gebruikte afkortingen	8
1 Introductie	9
1.1 Vraagstelling	9
1.2 Eerder onderzoek	9
1.3 Meetplan	10
2 Massabalans over een GAC-filter	11
2.1 Parameters voor het opzetten van een massabalans	11
2.2 Analyse van de parameters voor de massabalans	11
2.3 Parameters die de massabalans kunnen beïnvloeden	13
3 Materiaal en methoden	14
3.1 Pilot-installatie in Andijk	14
3.2 Uitvoering experimenten	15
4 Resultaten en discussie	17
4.1 Resultaten TOC- en DOC-metingen	17
4.2 Resultaten ATP-metingen	19
4.3 PHMOC-metingen	22
4.4 Massabalans over de kolom	23
5 Conclusies en aanbevelingen	26
5.1 Conclusies	26
5.2 Aanbevelingen	27
6 Referenties	28
Bijlage I	29
Bijlage II	30
• Details pilot-opstelling bij PWN	30
Bijlage III	32
• Monsternamen tijdens terugspoelen	32

Gebruikte afkortingen

AOC assimileerbaar organisch koolstof

ATP adenosine trifosfaat

DOC opgelost organisch koolstof

GAC granulaire actieve kool

POC “particulate organic carbon” (niet opgelost organisch koolstof)

TOC totaal organisch koolstof

PHMOC deeltjesgebonden en/of hoogmoleculair organische koolstof

1 Introductie

1.1 Vraagstelling

Voor de DPWE bedrijven is in het recente verleden onderzocht of, op basis van beschikbare kennis en metingen, een relatie kon worden gevonden tussen de instellingen van het spoelregime in een biologisch actief koolfilter (GAC) en de biomassa die aanwezig is in het filter. Deze inventarisatie leverde veel vragen op, en maakte duidelijk dat extra onderzoek nodig was om gegevens te verkrijgen om die vragen te beantwoorden.

Ter verduidelijking:

Biomassa is alles met een biologische oorsprong, dus enerzijds wat gevormd wordt tijdens de zuivering, maar anderzijds ook alles wat in het water afkomstig is van wat daar leeft of heeft geleefd.

Micro-organismen zijn alle eencelligen (bacteriën, schimmels, planten en dieren).

Er was behoefte aan een massabalans voor de biomassa die aanwezig is in het filter, en informatie over de verandering in de aanwezige biomassa ten gevolge van het terugspoelen en de biotische en abiotische parameters die hierop van invloed zijn. Bij PWN en Evides is het actieve koolfilter eindstandig, en voor hen is de vraag hoe de biologische stabiliteit van het GAC filter effluent de nagroei (van b.v. *Aeromonas*) in het distributienetwerk kan beïnvloeden. PWN wil meer inzicht in de biomassa die in het GAC filter aanwezig is, en hoe deze biomassa beïnvloed wordt door de frequentie en duur van het terugspoelen. Dit is van belang in verband met de toekomstige renovatie van GAC filters bij PWN. Bovendien is PWN geïnteresseerd in wat er gebeurt met biopolymeren in het distributienetwerk, en in het type organische moleculen dat aanwezig is in het spoelwater van het actieve koolfilter. Analyse hiervan is echter moeilijk, aangezien het spoelwater een vervuilde matrix is. Voor Waternet is het vraagstuk rondom de relatie tussen de biologische stabiliteit van het effluent van een GAC filter en nagroei in het distributienetwerk van minder belang, omdat bij Waternet het filter nog gevolgd wordt door een langzaam zandfilter. Dit rapport geeft de resultaten weer van het onderzoek dat in dit kader is uitgevoerd.

Micro-organismen dragen in belangrijke mate bij aan de verwijdering van afbreekbare stoffen door een actieve koolfilter. Idealiter blijft de biologische activiteit in het filter behouden, terwijl tegelijkertijd wordt voorkomen dat de gevormde biomassa in het effluent terecht komt.

1.2 Eerder onderzoek

Evides heeft onderzoek gedaan naar dierlijke organismen (als maat voor biomassa) in actieve koolfilters. Geconcludeerd werd dat de hoeveelheid dierlijke organismen binnen 8 uur na het spoelen al weer terug was op het oude niveau. Tevens werd onderzoek gedaan naar de biomassaproductiepotentie (BPP) van het effluent van een actieve koolfilter en van hetzelfde effluent nadat het gefiltreerd was met behulp van ultrafiltratie. Hieruit bleek dat de BPP aanzienlijk gereduceerd werd door het filtreren van het actieve kool filter effluent. Dit zou mogelijk kunnen betekenen dat het zinvol is om deeltjesgebonden en hoog moleculaire afbreekbare stoffen uit het actiefkool filter effluent te verwijderen om zo de BPP in het distributienetwerk te verlagen. Echter, dit is tot op heden nog niet verder onderzocht.

In eerder onderzoek van Aleksandra Knezev (Magic-Knezev and van der Kooij 2004, Magic-Knezev, Wullings et al. 2009) zijn full-scale GAC filters van Waternet, Evides en PWN bemonsterd en onderzocht op de ATP-concentratie (als maat voor actieve biomassa) op de kool. Dit leverde informatie op over de ATP-concentratie op kool in eerstetraps/tweedetraps koolfilters met verschillende looptijden, zowel in de winter als in de zomer. Concentraties ATP varieerden van 25 tot 5000 ng ATP/cm³ GAC, waarbij de hoogste concentraties voorkwamen bij lange filterlooptijden en voorbehandeling met ozon (beter biodegradeerbaar organisch materiaal). De gemiddelde biofilm concentratieberekeningen varieerden van 500 tot 10⁵ pg ATP/cm², maar wanneer poriën in de GAC > 1 µm werden meegenomen kon deze concentratie met een factor 20 afnemen. Bovendien bleken na ozonisatie meer soorten bacteriën te kunnen worden aangetoond op de GAC. Wel kon uit deze studie worden geconcludeerd dat de groei van bacteriën op het oppervlak van GAC poriën groter dan 1 µm beperkt wordt door de beschikbaarheid van biodegradeerbare stoffen. Vrij ATP is relatief stabiel in de aanwezigheid van GAC, wordt niet snel geadsorbeerd en ook niet snel gebruikt als voedingsstof door aanwezige micro-organismen.

Aleksandra Knezev (HWL) heeft in samenwerking met John Bogaard (PWN) gekeken of de frequentie van spoelen effect had op de aantallen dierlijke organismen in het effluent, maar dit was niet het geval. Bovendien is het terugspoelen van een actieve koolfilter met zout water en chloor onderzocht, maar ook deze middelen bleken de aanwezigheid van dierlijke organismen in het effluent niet te voorkomen.

PWN heeft in 2012-2013 ATP metingen, tellingen van dierlijke organismen, celtellingen en TOC metingen gedaan in het influent en effluent van een pilot en full-scale actieve koolfilter. De resultaten leken erop te wijzen dat de dode cellen voornamelijk in het filter achterbleven, terwijl de levende door het filter heen getransporteerd werden. Een andere mogelijkheid is dat zowel levende als dode cellen uitgefilterd worden, maar dat er ook nieuwe bacteriën in het filter groeien en het filter verlaten. Een analyse van de samenstelling zou hierover uitsluitsel kunnen geven. Deze parameters zijn echter niet in het spoelwater gemeten. Dit is bij geen van de bedrijven gedaan, waardoor het onduidelijk is wat het aandeel biomassa is dat wordt weggespoeld met het spoelwater ten opzichte van wat er wegspoelt met het effluent in een reguliere filtratierun. Dit is eigenlijk de eerste vraag die de drinkwaterbedrijven nu willen beantwoorden.

1.3 Meetplan

Om te achterhalen wat het aandeel biomassa is dat wordt weggespoeld met spoelwater en met het effluent zijn TOC, DOC ATP, en PHMOC in het influent, effluent en spoelwater van een actieve koolkolom gemeten. De kolom is twee keer teruggespoeld: één keer aan het begin van het experiment, en één keer aan het einde.

De vragen die in dit onderzoek centraal stonden waren:

1. Wat gebeurt er met deze parameters in influent en effluent gedurende de looptijd van het experiment?
2. Hoe veranderen deze parameters in het terugspoelwater als functie van tijd?
3. Wat is het aandeel biomassa in het terugspoelwater ten opzichte van wat er in het effluent zit gedurende een normale filtratie run van het filter?

2 Massabalans over een GAC-filter

2.1 Parameters voor het opzetten van een massabalans

De parameters die zijn geselecteerd voor het opzetten van een massabalans voor het GAC filter worden onderverdeeld in twee categorieën: (a) parameters die de biomassa en/of organische koolstof in het GAC filter kwantificeren en (b) parameters die de aanwezige biomassa en/of organische koolstof beïnvloeden.

In de eerste categorie vallen:

1. biomassa dierlijke organismen
2. biomassa bacteriën (ATP totaal en cellulair)
3. biomassa fecale pellets
4. totaal organisch koolstof (TOC)
5. deeltjesgebonden en/of hoogmoleculair organische koolstof (PHMOC)

Parameters die de biomassaproductie en afsterving in het filter kunnen beïnvloeden zijn:

1. nutriënten (AOC (P17/Nox/A3), NO₃, PO₄, Fe-totaal, Mn-totaal, sporenelementen)
2. pH
3. zuurstof
4. temperatuur

Dit is samengevat in Tabel 2-1.

TABEL 2-1: PARAMETERS VAN INVLOED OP DE MASSABALANS VAN DE BIOMASSA IN HET GAC FILTER

Biotische parameters	Abiotische parameters
Massa dierlijke organismen (do) [g/m ³ of g/kg]	Nutriënten (nu)
Massa bacteriën (bc) [g/m ³ of g/kg]	pH (ph)
Fecale pellets (fp) [g/m ³ of g/kg]	Zuurstof (o2)
Totaal organisch koolstof (tc) [mg/L]	Temperatuur (tm)
Deeltjes gebonden organisch koolstof (pc) [µg/L]	
AOC (ac) [µg/L biopolymeren C eq./L]	

2.2 Analyse van de parameters voor de massabalans

2.2.1 Biomassa dierlijke organismen

Het aantal en type aanwezige dierlijke organismen kan worden vastgesteld door middel van tellingen. Er zijn in het verleden gestandaardiseerde omrekenfactoren vastgesteld waarmee de aantallen van een specifiek type dierlijke organisme kunnen worden omgerekend naar biomassa (van Lieverloo et al. 2012). Hierdoor kan de totale biomassa van dierlijke organismen worden bepaald, bijvoorbeeld per liter influent/effluent of per kg filtermateriaal. Berekening heeft echter aangetoond dat het aandeel van dierlijke organismen ten opzichte van de totale biomassa zeer beperkt is. Het mediaan gewicht van ongewervelde dieren in

reinwater ps Berenplaat is 5,7 mg/1000 liter (gebaseerd op gegevens reinwater van 2013). Er vanuit gaande dat dit dus uit het AKF komt (de laatste zuiveringsstap bij Berenplaat) is dat een nat gewicht van 5,7 µg/l. Een raadpleging van de wetenschappelijke literatuur heeft laten zien dat voor macrofauna wordt gesteld: organisch koolstof = 0.06 g koolstof per gram nat gewicht (Flint and Rabalais, 1981; Strayer and Likens, 1986), dus 5.7 µg nat gewicht komt overeen met 0.34 µg C/l aan ongewervelde dieren. De PHMOC-concentratie van het AK filtraat van Berenplaat is meestal rond de 90 µg C/l. Dit betekent dus dat de ongewervelde dieren een bijdrage hebben van 0,38% van de koolstofbalans in effluent AKF. Zelfs met de maximum waarde voor ongewervelde dieren die is gevonden in 2013 (19,7 mg/1000 liter) is de bijdrage slechts 1,3%.

Aangezien het aandeel ongewervelde dieren slechts 0.4% (orde grootte) lijkt te zijn van de totale PHMOC-fractie, is in dit project de nadruk gelegd op het verkrijgen van inzicht in de totale biomassa en niet alleen dierlijke organismen¹.

2.2.2 Biomassa bacteriën

De biomassa van bacteriën kan worden bepaald door de totale ATP-concentratie (cellulair en vrij ATP) of de cellulaire ATP-concentratie te meten. Cellulair ATP (cATP) is een indicator voor actieve biomassa (levend), terwijl totaal ATP een indicator is voor de totale biomassa van bacteriën (levend en dood).

2.2.3 Fecale pellets

Het aantal fecale pellets wordt vastgesteld door middel van tellingen en omgerekend naar biomassa. Voor dit onderzoek zijn fecale pellets niet apart bepaald.

2.2.4 Totaal Organisch Koolstof

Totaal organisch koolstof (TOC) wordt geanalyseerd met behulp van een TOC analyzer. De monsters voor de TOC-analyse worden aangezuurd met zoutzuur naar ongeveer pH 2, en doorgeblazen met lucht. Daarna wordt het monster m.b.v. een autosampler geïnjecteerd in een verbrandingsbuis, die is gevuld met een katalysator waar organisch koolstof bij een temperatuur van 680 °C wordt omgezet in CO₂. Mogelijk aanwezige kooldeeltjes zouden op deze manier ook in de TOC-analyse worden meegenomen.

2.2.5 Deeltjesgebonden en hoog molecuair organisch koolstof

Hoog molecuair organisch koolstof (> 30kDa) en organisch koolstof dat aan deeltjes gebonden is wordt samen aangeduid met de term "PHMOC" (particulair en/of hoogmolecuair organisch koolstof). De PHMOC-concentratie wordt geanalyseerd door 100 L ongefiltreerd watermonster te concentreren met een ultrafiltratie hemoflowfilter in cross-flow (MWCO = 30 kDa) tot een volume van 500 mL, waarna de TOC-concentratie van het concentraat wordt gemeten. Het verschil in TOC-concentratie tussen het geconcentreerde monster en het originele watermonster kan dan worden toegeschreven aan PHMOC (zie {Kooij, 2013 #881}). PHMOC bevat deels hoog moleculaire groeibevorderende verbindingen zoals polysacchariden en eiwitten, die de groei van autochtone flora en *Aeromonas* stimuleren. Het percentage van het totale PHMOC waarvoor dit geldt is over het algemeen <50% (Hijnen 2015).

¹ Deze berekening kan eventueel nog nauwkeuriger gemaakt worden op basis van recente data van Berenplaat indien deze beschikbaar zijn.

2.2.6 Assimileerbaar Organisch Koolstof

Assimileerbaar Organisch koolstof (AOC) bestaat traditioneel voornamelijk uit laag moleculaire, gemakkelijk afbreekbare organische koolstofverbindingen. Het AOC-gehalte wordt bepaald met *Spirillum* NOX (AOC-NOX) en *Pseudomonas fluorescens* P17 (AOC-P17). Naast de traditionele AOC-fractie kan ook de AOC-A3 fractie worden bepaald met de bacteriesoort *Flavobacterium johnsoniae*. De AOC-A3 fractie is een maat voor de hoeveelheid groeibevorderende biopolymeren in het water.

N.B. BPP en LC-OCD-metingen zijn niet uitgevoerd, aangezien dergelijke metingen in deze matrix erg moeilijk zijn uit te voeren. Ook flowcytometrie is niet gedaan, omdat dit, vanwege de aanwezigheid van teveel deeltjes in het water, waarschijnlijk geen betrouwbare resultaten zal opleveren.

2.3 Parameters die de massabalans kunnen beïnvloeden

Parameters zoals zuurstofgehalte, temperatuur, pH, aanwezige nutriënten en (de frequentie) van het terugspoelen van het filter, kunnen de samenstelling en hoeveelheid van de aanwezige biomassa (dierlijke organismen en bacteriën) beïnvloeden en daarmee dus ook de massabalans. Tevens kan de samenstelling en hoeveelheid van de biomassa ook weer een effect hebben op de biodegradatie in het filter.

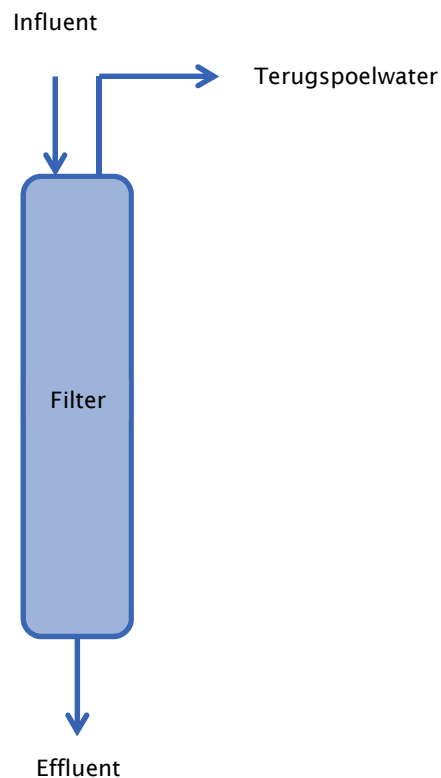
3 Materiaal en methoden

3.1 Pilot-installatie in Andijk

PWN heeft een pilot-schaal ($V = 300$ L, bed height = 2,55 m, $D = 30$ cm; plexiglas) GAC filter beschikbaar in Andijk dat gebruikt kan worden voor het proof-of-principle experiment (zie Figuur 3-1 en Figuur 3-2 en Bijlage II). Het filter wordt gevoed met voorbehandeld water (coagulatie/flocculatie (full-scale) - snelle zandfiltratie (full-scale) - UV/H₂O₂ (pilot)). Het filter is inmiddels gevuld met kool uit een full-scale filter dat al een jaar in bedrijf is (laatste reactivatie in juni 2015), en wat dus actieve biomassa bevat. Er worden geen monsters van het GAC zelf genomen. Wel is het (inmiddels) mogelijk om het terugspoelwater te bemonsteren.

Om eerder genoemde vragen te beantwoorden, dienen de volgende parameters geanalyseerd te worden in het influent, effluent, en terugspoelwater zelf: zuurstof, totaal ATP, vrij ATP, DOC, TOC, en in de concentraat stroom van de hemoflow ook PHMOC (zie ook Tabel 1).

De terugspoelfrequentie van actiefkoolfilters in Andijk is elke 37 dagen, het terugspoelen zelf duurt ongeveer 30 minuten.



FIGUUR 3-1: SCHEMATISCH OVERZICHT ACTIEF-KOOLFILTER



FIGUUR 3-2: FOTO VAN DE OPSTELLING BJI PWN

3.2 Uitvoering experimenten

3.2.1 GAC-kolom

De pilotkolom werd gevuld met GAC uit het full scale filter van Andijk, dat GAC bevat die meer dan een jaar in bedrijf is (Norit ROW 0.8 Supra kool). De actieve kool was op 08-08-2016 teruggespoeld, en de kolom werd op 05-09-2016 met dit materiaal gevuld. Diezelfde dag werd het debiet over de pilotkolom ingesteld. Het water was voorbehandeld met coagulatie/sedimentatie, snelfiltratie en UV/H₂O₂ uit de full scale installatie in Andijk. In principe wordt het water in de pilotopstelling vervolgens ook nog behandeld met UV/H₂O₂, alvorens het over de kolom wordt gefiltreerd. Aangezien de UV-lamp in de pilotopstelling moest worden vervangen, werd het water over de kolom pas vanaf 11-09-2016 ook met UV/H₂O₂ voorbehandeld (in de periode dat er geen UV-lamp beschikbaar was is ook geen H₂O₂ gedoseerd).

Op 19-09-2016 werd de pilotkolom teruggespoeld, waarna de experimenten begonnen. Het was belangrijk de experimenten vóór half okt. af te ronden, omdat anders de

watertemperaturen te laag zouden kunnen zijn om voldoende biodegradatie in het filter te hebben.

3.2.2 Experimenten

Het schema van de monsternames en de analyses die zijn uitgevoerd is weergegeven in Tabel 3-1. Monsters van influent en effluent werden aan het begin van het experiment na het terugspoelen genomen, en aan het einde van het experiment vóór het terugspoelen). Het debiet door de kolom bedroeg 0,5 m³/uur (ca. 8 m/uur).

Voor het terugspoelen (met uitsluitend water) werd het volgende regime gehanteerd:

- Fase 1: 1.2 m³/h (20 m/uur), 2 min.; bed expansie 0-5%
- Fase 2: 1.9 m³/h (30 m/uur), 4 min.; bed expansie 20%
- Fase 3: 2.8 m³/h (45 m/uur), 24 min.; bed expansie 45%
- Fase 4: 1.9 m³/h (30 m/uur), 4 min.; bed expansie 20%
- Fase 5: 1.2 m³/h (20 m/uur), 2 min.; bed expansie 0-5%

Tijdens de monstername van het tweede spoelwatermonster, aan het einde van het experiment (17-10-2016), was het debiet in fase 3 niet stabiel en varieerde tussen 1.8 en 2.5 m³/h.

Voor het terugspoelwater werden op vijf verschillende momenten tijdens het terugspoelen monsters van 20 L genomen. Deze monsters werden alleen tijdens fase 3 van het terugspoelen genomen (24 min. bij 45m/uur), ongeveer elke drie minuten. De exacte werkwijze is weergegeven in .Dit water werd in zijn geheel (100 L totaal) over een hemoflowfilter geconcentreerd met een factor van ± 200, waarbij dus een mengmonster werd verkregen. Voor de corresponderende ATP-metingen werd op dezelfde vijf momenten 100 ml watermonster genomen en ook deze monsters werden gemengd voordat het ATP-gehalte werd bepaald.

TABEL 3-1: EXPERIMENTELE OPZET

Monster	datum	dag	beschrijving
1	19-09-2016	0	Start metingen. Gemengd monster terugspoelwater Influent (na terugspoelen) Effluent (na terugspoelen)
2	20-09-2016	1	Influent effluent
3	03-10-2016	14	Influent effluent
4	17-10-2016	28	Influent (voor terugspoelen) Effluent (voor terugspoelen) Gemengd monster terugspoelwater

3.2.3 Analyses

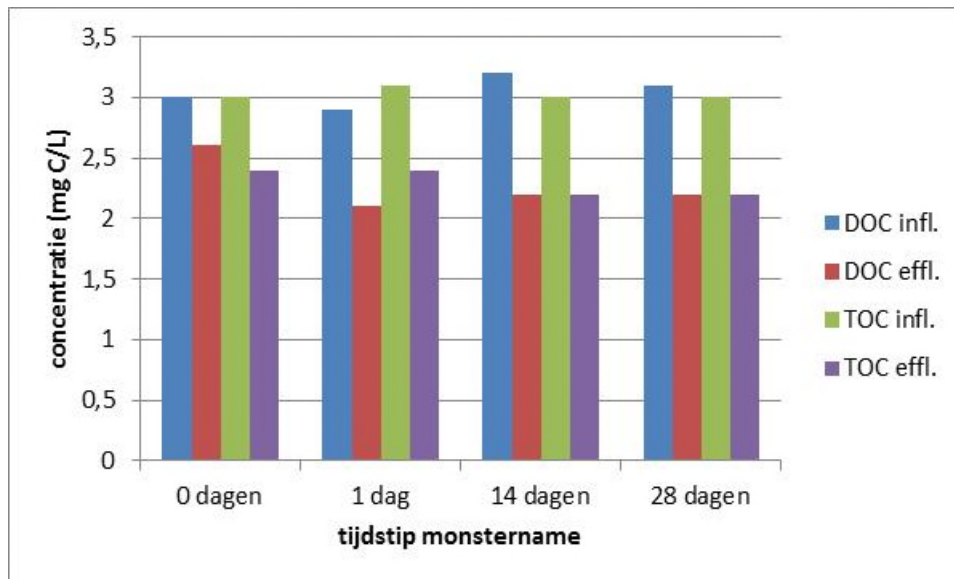
PHMOC metingen werden uitgevoerd in water dat 200 keer was geconcentreerd (voor een uitgebreide beschrijving van de methode zie (Hijnen 2015).

Vrij en totaal ATP werden bepaald zowel direct in het monster als in het geconcentreerde monster.

4 Resultaten en discussie

4.1 Resultaten TOC- en DOC-metingen

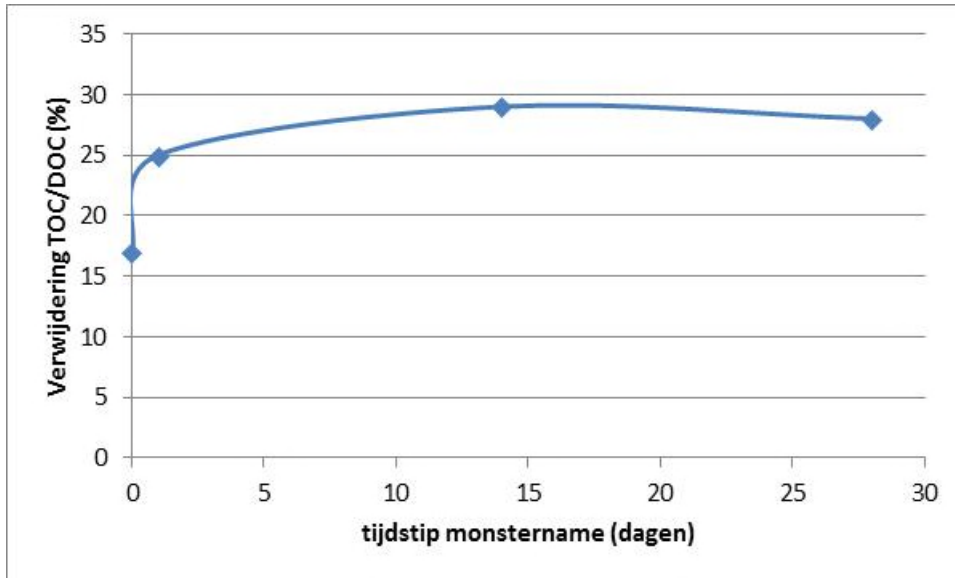
De gehalten TOC en DOC in de niet geconcentreerde monsters van influent en effluent op verschillende tijdstippen zijn weergegeven in Figuur 4-1.



FIGUUR 4-1: GEHALTES DOC EN TOC IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN DE GAC-KOLOM OP VERSCHILLENDE TIJDSTIPPEN.

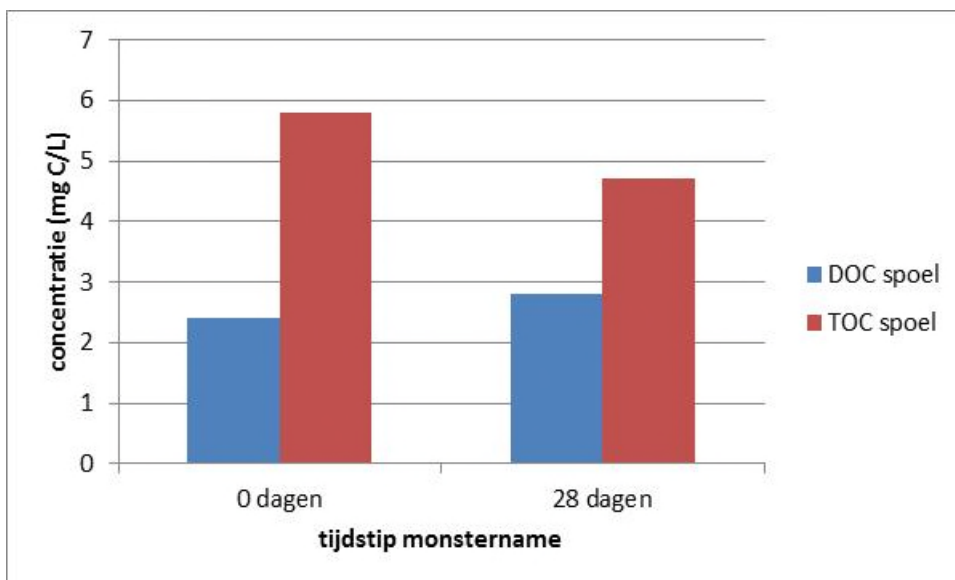
In sommige gevallen lijkt het DOC-gehalte een klein beetje hoger te zijn dan het TOC-gehalte. Dit is in principe niet mogelijk, en het verschil is klein; het lijkt dan ook binnen de meetfout van de methode te vallen. Waarschijnlijk zijn het DOC- en TOC-gehalte van het water vrijwel gelijk, wat betekent dat het POC-gehalte in drinkwater laag is. Wel valt op dat het TOC- of DOC-gehalte van het effluent beduidend lager is dan het gehalte van het influent, wat erop wijst dat een deel van het organisch materiaal in het water door de actieve kool wordt verwijderd. In Figuur 3 is dit duidelijker weergegeven, waarbij de gemiddelde verwijdering van TOC en DOC is uitgezet als functie van de tijdsduur van de filtratie. Het is duidelijk dat die verwijdering gedurende de eerste dag sterk toeneemt, maar daarna waarschijnlijk vrij snel een maximum bereikt. Blijkbaar heeft een spoeling een tijdelijk negatief effect op de effluentkwaliteit van een koolfilter. In principe zouden er verschillende dingen kunnen gebeuren. Als er na het terugspoelen nog "los" materiaal in het filter aanwezig is, zou het kunnen dat dit in het begin van het filtratieproces wordt uitgespoeld. Het kan niet worden uitgesloten dat dit een rol heeft gespeeld, al is het wel zo dat het terugspoelregime voorziet in een geleidelijke afname van het terugspoeldebiet, waardoor het niet waarschijnlijk is dat dit een grote rol heeft gespeeld. Anderzijds is het mogelijk dat door het terugspoelen adsorptieplekken zijn vrijgekomen, maar in dat geval zou juist een hogere verwijdering verwacht worden in het begin. De meest logische verklaring lijkt echter dat de biologische activiteit kort na het terugspoelen nog een beetje op gang moet komen (lagfase). Die periode is blijkbaar echter kort. Mogelijk dat aan het einde van de filtratieperiode de verwijdering iets afneemt, maar in dit experiment valt het verschil waarschijnlijk nog binnen

de meetfout. Dat de verwijdering constant bleef tijdens het filtratie-experiment is volgens verwachting, aangezien het laatste meetpunt hier na 28 dagen filtratie is genomen, terwijl normaalgesproken terugspoelen van de kool plaatsvindt na 37 dagen.



FIGUUR 4-2: VERWIJDERING VAN TOC EN/OF DOC (GEMIDDELTE WAARDEN) ALS FUNCTIE VAN HET TIJDSTIP VAN MONSTERNAME

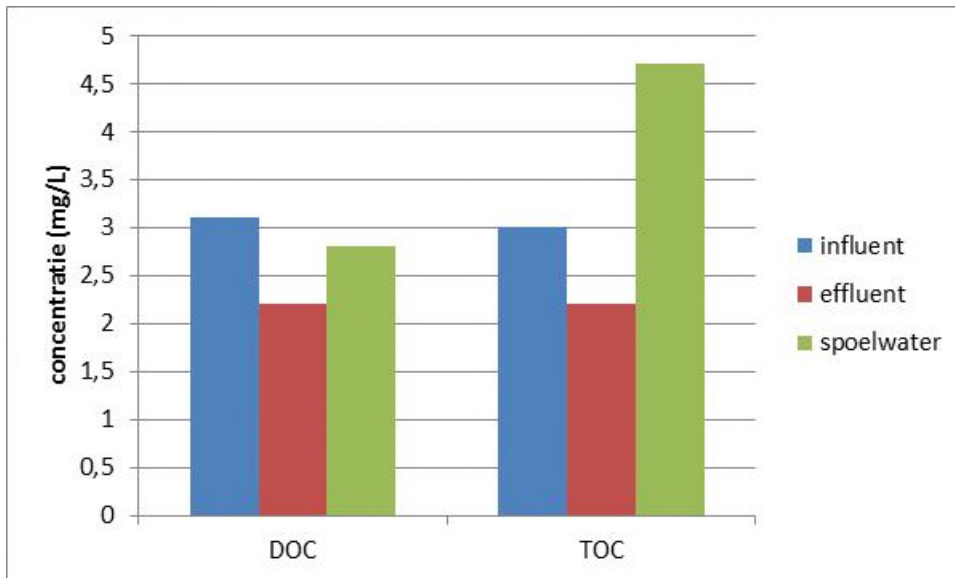
Ook in het spoelwater (van zowel begin als einde van het filtratie-experiment) zijn DOC- en TOC-metingen uitgevoerd. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Figuur 4-3.



FIGUUR 4-3: DOC- EN TOC-METINGEN IN HET SPOELWATER VAN DE GAC-KOLOM, AAN HET BEGIN EN AAN HET EINDE VAN HET FILTRATIE-EXPERIMENT

Nu is duidelijk te zien dat het DOC-gehalte significant lager is dan het TOC-gehalte in beide spoelwatermonsters. Dit wijst erop dat er bij het terugspoelen onoplosbaar organisch koolstof uit de kolom wordt verwijderd. In principe is het niet uit te sluiten dat tijdens het

spoelen van de kolom ook kleine actieve kooldeeltjes in het spoelwater terechtkomen, die dan ook bijdragen aan het TOC-gehalte, waardoor dit hoger wordt. In Figuur 4-4 is het verschil tussen DOC of TOC tussen influent, effluent en spoelwater duidelijk weergegeven.



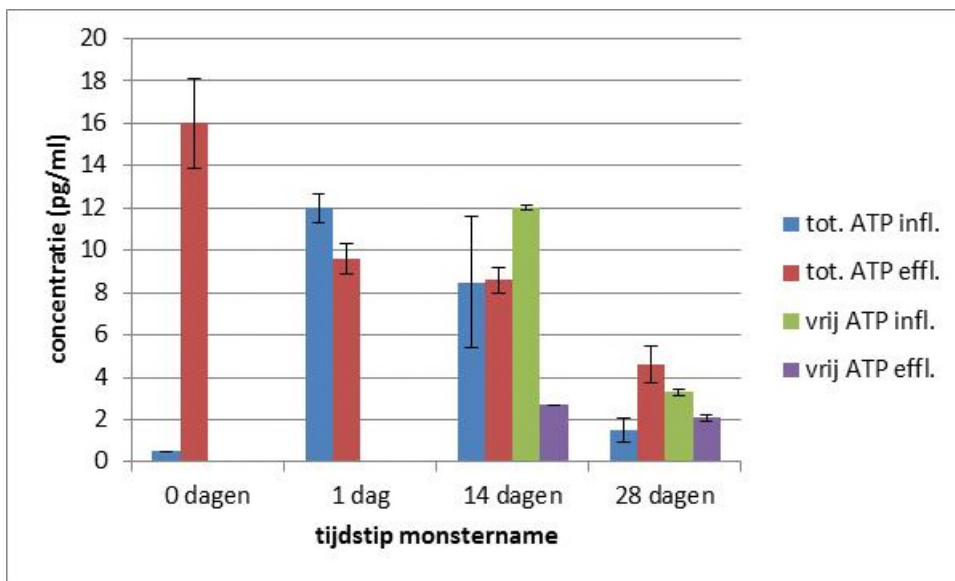
FIGUUR 4-4: DOC- EN TOC-GEHALTE IN INFLUENT, EFFLUENT EN SPOELWATER AAN HET EINDE VAN HET FILTRATIE-EXPERIMENT.

Het DOC-gehalte van het spoelwater ligt tussen de waarden van het DOC-gehalte van het influent en effluent in, maar het TOC-gehalte, en dus de hoeveelheid niet-oplosbaar organisch koolstof, is duidelijk toegenomen in het spoelwater. Deze toename wordt veroorzaakt door niet-oplosbaar koolstof dat in het GAC tijdens de looptijd van het experiment is gevormd of geaccumuleerd (hier zouden ook fecale pellets deel van uit kunnen maken), of mogelijk deels door actieve kool die tijdens het terugspoelen wordt uitgespoeld.

4.2 Resultaten ATP-metingen

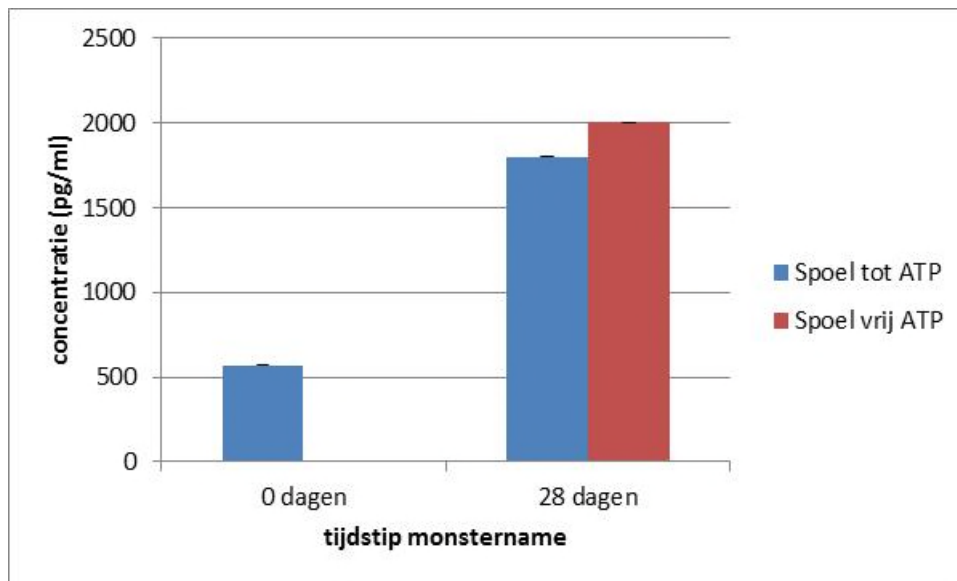
De meeste hier beschreven resultaten zijn gebaseerd op metingen in directe watermonsters. De concentratie vrij ATP wordt bepaald door zonder de cellen kapot te maken de ATP concentratie in water te bepalen. Op die manier zal alleen het ATP dat vrij in het water voorkomt in de enzymatische reactie reageren tot licht. Vervolgens wordt een lysis buffer toegevoegd aan het water, waardoor cellen kapot gaan en het ATP uit de cel vrijkomt. Na deze lysisstap wordt het totale ATP-gehalte bepaald. In principe zou het totale ATP-gehalte dus hoger moeten zijn dan het vrije ATP-gehalte, maar dit lijkt in de monsters die na 14 en 28 dagen zijn genomen niet het geval te zijn. Het is op het ogenblik niet duidelijk waardoor dit effect veroorzaakt wordt. Mogelijk vallen de verschillen binnen de meetfout van de analyses. Een ander aspect is dat het influent met UV/H₂O₂ is behandeld, waardoor relatief veel ATP vrij kan komen omdat cellen hierdoor ook stuk gaan. In de monsters die zijn genomen bij de start van het experiment en na één dag is vrij ATP niet gemeten. Het valt op dat bij de start van het experiment het ATP-gehalte van het influent bijzonder laag was. De volgende dag was het ATP-gehalte hoger, en het lijkt later af te nemen. Ook hier kan het effect van het UV/H₂O₂ proces, vlak vóór de GAC-kolom, een rol hebben gespeeld. Hierdoor worden immers micro-organismen stuk gemaakt, waardoor meer ATP vrijkomt. Wel is

duidelijk uit de metingen dat het effluent op dag 14 en 28 beduidend meer celgebonden dan vrij ATP bevat, terwijl het influent juist veel vrij ATP bevat (veroorzaakt door desinfectie met UV/H₂O₂). Verder lijkt het erop dat het ATP-gehalte in het effluent tijdens het experiment afneemt, maar gezien de variaties in het influent is dit niet met zekerheid te zeggen. Wel blijkt duidelijk uit de resultaten dat in het effluent een aanzienlijk deel van het ATP celgebonden is, en dat het effluent dus ook actieve intacte bacteriën bevat. Hieruit kan worden geconcludeerd dat bacteriën in het effluent actieve bacteriën zijn die afkomstig zijn uit het koolfilter, en dat vrij ATP wordt uitgefilterd door of geconsumeerd in het filter. Overigens blijken er relatief grote variaties voor te komen in enkele duplo-bepalingen van ATP. De reden hiervoor is niet duidelijk: hoewel over het algemeen ATP-metingen een kleine spreiding vertonen, komt het soms voor dat die spreiding groter is, zonder dat hier een duidelijke oorzaak voor is.



FIGUUR 4-5: ATP-GEHALTE (TOTAAL EN VRIJ ATP) VAN INFLUENT EN EFFLUENT TIJDENS HET FILTRATIE-EXPERIMENT. DE ERRORBARS GEVEN DE SPREIDING IN DE DUPLO-METINGEN AAN.

Het ATP-gehalte in het terugspoelwater is weergegeven in Figuur 4-6.



FIGUUR 4-6: CONCENTRATIE TOTAAL ATP EN VRIJ ATP IN HET TERUGSPOELWATER BIJ HET BEGIN VAN HET EXPERIMENT EN AAN HET EINDE DAARVAN.

Uit Figuur 4-6 blijkt dat de ATP-concentratie in het spoelwater na afloop van het filtratie-experiment veel (ca. 100x) hoger is dan in het effluent van de filtratie.

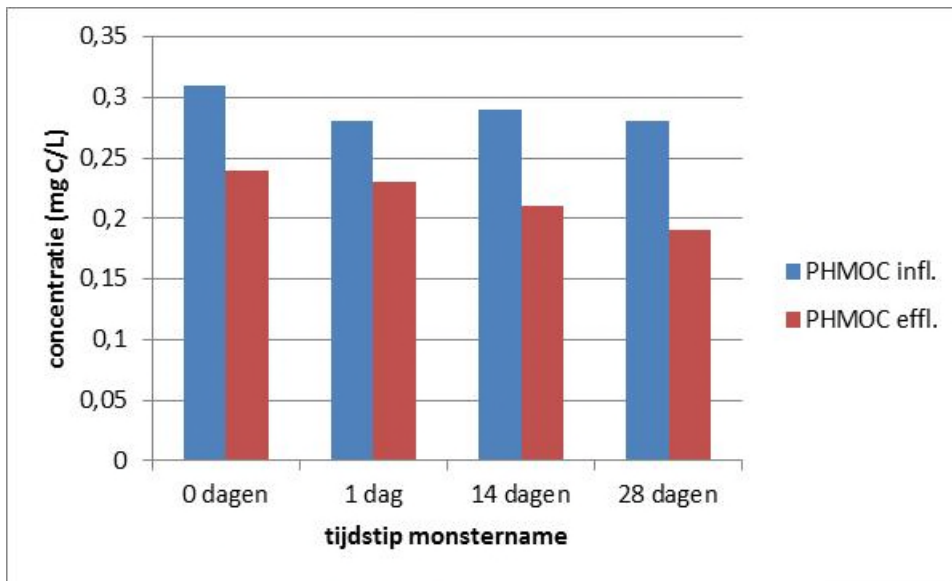
Uit een vergelijking van beide grafieken (Figuur 4-5 en Figuur 4-6) blijkt dat bij terugspoelen relatief veel actieve micro-organismen uit het filter worden gespoeld (al is het meeste ATP in het spoelwater nog steeds vrij ATP), maar dat die tijdens het filtratie-experiment slechts in heel lage concentraties, vergeleken met het spoelwater, in het effluent terechtkomen.

Overigens is het zuurstofgehalte tijdens het filtratie-experiment niet gemeten, omdat uit eerdere gegevens bekend was dat er altijd voldoende zuurstof aanwezig is, ondanks de biologische activiteit in het filter. Dit wordt mede veroorzaakt door de katalytische omzetting van de overmaat H_2O_2 (uit het UV/ H_2O_2 proces) in de GAC, waarbij zuurstof wordt gevormd.

In zowel de geconcentreerde als in de directe monsters is het gehalte totaal en vrij ATP gemeten. Er blijken vrij grote verschillen voor te komen tussen beide sets metingen, die waarschijnlijk worden veroorzaakt doordat de micro-organismen stress ondervinden van het concentreren van de monsters, en doordat bij het concentreren een deel van het ATP verloren gaat. Daarom is voor de analyse van de gegevens alleen gebruik gemaakt van de meetgegevens uit de niet-geconcentreerde, directe monsters. De resultaten van zowel de directe als de geconcentreerde monsters zijn weergegeven in Bijlage 1. De resultaten van de metingen in de directe monsters zijn weergegeven in Figuur 4-5. Uit een vergelijking van beide sets gegevens, uit zowel de directe als de geconcentreerde monsters, wordt wel dezelfde trend duidelijk. In de geconcentreerde monsters zijn de gehalten vrij ATP lager dan de totale ATP-gehalten (zie bijlage I).

4.3 PHMOC-metingen

De resultaten van de PHMOC-metingen zijn weergegeven in Figuur 4-7.

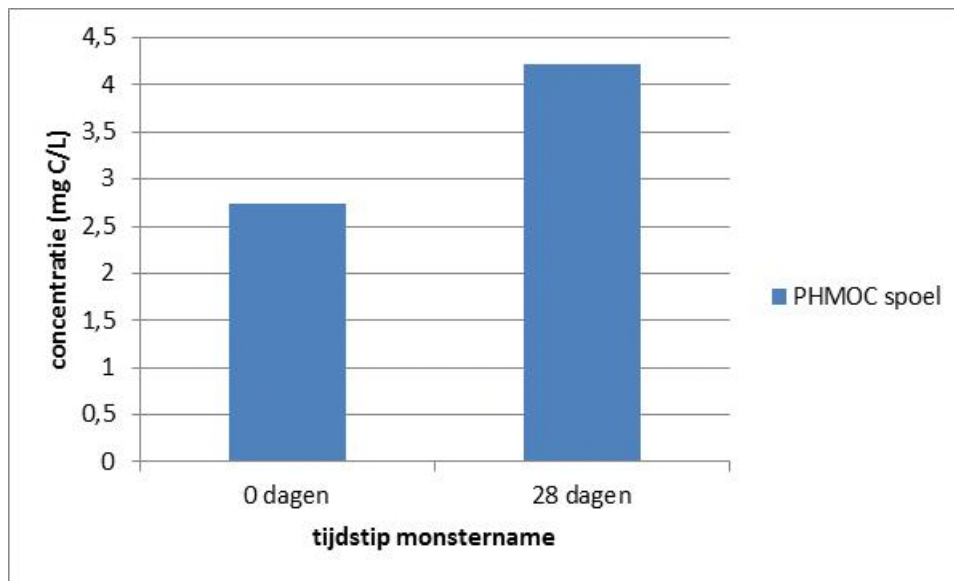


FIGUUR 4-7: PHMOC-METINGEN AAN INFLUENT EN EFFLUENT TIJDENS HET FILTRATIE-EXPERIMENT

In alle gevallen is het gehalte aan PHMOC hoger in het influent dan in het effluent, wat erop wijst dat dit materiaal deels door de actieve kool (en mogelijk de biomassa daarin) wordt verwijderd. Bij de start van het experiment werd 23% verwijderd, na één dag 18%, na 14 dagen 28% en na 28 dagen 32%. Het zijn te weinig meetpunten om een eventuele trend te kunnen vaststellen, en om te kunnen vaststellen of deze verschillen significant zijn, maar gemiddeld betekent dit een verwijdering van ongeveer 25% over de kolom.

Ondanks deze verwijdering van PHMOC is de concentratie vrij hoog, vergeleken met eerdere metingen in een pilot van PWN. Toen werden namelijk concentraties van ongeveer 0,1 mg/L gemeten. Een mogelijke verklaring voor dit verschil is dat in 2015 het water werd voorbehandeld met behulp van ionenwisseling en keramische membranen, terwijl het water dat nu werd gebruikt een conventionele voorbehandeling (coagulatie/sedimentatie/snelle zandfiltratie) had ondergaan. Daarnaast varieert de concentratie afhankelijk van het seizoen, en zou mogelijk ook de leeftijd van de GAC een rol kunnen hebben gespeeld hierin.

Het PHMOC-gehalte van het spoelwater is weergegeven in Figuur 4-8.



FIGUUR 4-8: PHMOC-GEHALTE VAN HET SPOELWATER BIJ AANVANG EN AAN HET EINDE VAN HET FILTRATIE-EXPERIMENT.

Uit Figuur 4-8 blijkt dat het PHMOC-gehalte van het spoelwater een factor 10-20 hoger is dan dat van effluent van de kolom. Dit wijst erop dat deeltjesgebonden organisch materiaal en biopolymeren tijdens het filtratie-experiment slechts in lage concentraties in het effluent terecht komen, maar tijdens het terugspoelen wel verwijderd worden. Of anders gezegd, dat een deel van het PHMOC op het filter achterblijft of daar wordt gevormd.

4.4 Massabalans over de kolom

Voor de massabalans van de biomassa over de kolom is het experiment verdeeld in drie perioden (dag 1, dag 2 tot 14 en dag 14 tot 28), waarbij telkens als concentratie het gemiddelde van de concentraties aan het begin en aan het einde van de betreffende periode werd genomen. Het debiet over de kolom was 500 L/uur. Voor de waarden van TOC en ATP zijn de analyses van het directe monster genomen, voor PHMOC zijn data van de geconcentreerde monsters gebruikt. Vanwege de relatief grote spreiding in de duplo ATP-metingen zijn de massabalans gegevens van ATP minder betrouwbaar (al klopt de orde grootte wel).

TABEL 4-1: GEMIDDELDE DATA VOOR TOC, PHMOC EN ATP IN INFLUENT, EFFLUENT EN SPOELWATER, TIJDENS VERSCHILLENDE PERIODEN.

Periode		1 (dag 0)	2 (dag 1-14)	3 (dag 14-28)	spoelwater
TOC (mg C/L)	Influent	3,05	3,05	3,0	
	Effluent	2,4	2,3	2,2	
	spoelwater				4,7
PHMOC (mg C/L)	Influent	0,295	0,285	0,285	
	Effluent	0,235	0,22	0,2	
	spoelwater				4,22
Totaal ATP (mg/L)	Influent	6,25E-06	1,03E-05	5E-06	
	Effluent	1,28E-05	9,1E-06	6,6E-06	
	spoelwater				1,80E-03

Het terugspoelregime is weergegeven in paragraaf 3.2.2. Aangezien het debiet in fase 3 fluctueerde is voor de berekening uitgegaan van het gemiddelde van 1,8 en 2,5 m³/uur, ofwel 2,2 m³/uur, waarmee het totale volume van het spoelwater uitkwam op 1214 L.

De massabalans is berekend voor TOC, DOC, PHMOC en ATP afzonderlijk. Voor de vergelijking met ATP is uitgegaan van een verhouding C/ATP (g/g) van 250 (Karl 1980). De resultaten zijn weergegeven in Tabel 4-2.

TABEL 4-2: MASSABALANS VOOR TOC, PHMOC EN ATP OVER KOLOM

Materiaal	Totaal influent (mg C)	Totaal effluent (mg C)	Totaal Terugspoelvoeistof (mg C)	Totaal uit (mg C)	Verskil effluent-influent (mg C)
TOC	1,02*10 ⁶	7,57*10 ⁵	5,71*10 ³	7,63*10 ⁵	-2,57*10 ⁵ (25.2% afname)
DOC	1,04*10 ⁶	7,33*10 ⁵	3,40*10 ³	7,37*10 ⁵	-3,04*10 ⁵ (29,2% afname)
PHMOC	9,59*10 ⁴	7,07*10 ⁴	5,12*10 ³	7,59*10 ⁴	-2,00*10 ⁴ (20.9% afname)
Totaal ATP	6,29*10 ²	6,71*10 ²	5,46*10 ²	1,22*10 ³	+5,91*10 ² (94.5% toename)

TABEL 4-3: RELATIEVE SAMENSTELLING VAN INFLUENT, EFFLUENT EN SPOELWATER

Samenstelling	Influent (%)	Effluent (%)	Spoelwater (%)
PHMOC	9,40	9,34	89,67
ATP	0,06	0,09	9,56

In het influent en het effluent blijkt het TOC voornamelijk te bestaan uit DOC. Alleen in de terugspoelvoeistof is er verschil tussen beide waarden, wat betekent dat er in de terugspoelvoeistof ook onoplosbaar organisch materiaal aanwezig is. De grootste hoeveelheid TOC die uit de AC-kolom verdwijnt doet dat via het effluent: een substantieel deel van het TOC blijft niet achter in de kolom. Datzelfde geldt voor het PHMOC: in beide gevallen blijkt slechts ongeveer een kwart (26%) van het materiaal in de kolom achter te blijven (hetzij geabsorbeerd op het oppervlak van de kool, hetzij gebiodegradeerd). Het filter blijkt 5% meer van het TOC vast te houden dan van het PHMOC, en is dus in relatieve zin iets beter in de verwijdering van TOC dan van PHMOC.

In totaal is er volgens Tabel 4-2 2,57*10⁵ mg C aan TOC op de kolom achtergebleven, waarvan bij terugspoelen slechts 2% wordt uitgespoeld. Voor PHMOC (de fractie biopolymeren) wordt bij terugspoelen 20% uitgespoeld, waarbij het gehalte in het TOC van het spoelwater ongeveer 90% is (het is overigens niet perse noodzakelijk dat het hier om exact dezelfde fractie gaat, aangezien mogelijk een deel via biodegradatie is omgezet en een

ander deel afkomstig is uit micro-organismen). Dit is wel een belangrijk gegeven, want het geeft aan dat terugspoelen een deel van het PHMOC verwijdert. Wellicht dat vaker terugspoelen kan leiden tot een betere verwijdering. Dit is interessant om verder uit te zoeken.

Het blijkt dat in totaal meer ATP uit de kolom komt dan er in ging via het influent. De hoeveelheid ATP, die via het effluent de kolom verlaat, is ongeveer even groot als de hoeveelheid die via het influent in de kolom kwam. Dit wil overigens niet zeggen dat het ook om hetzelfde ATP gaat: mogelijk is het ATP of de populatie bacteriën in het effluent anders dan die in het influent. Tijdens het terugspoelen komt een hoeveelheid ATP vrij die getalsmatig vergelijkbaar is met wat er eerder in en uit is gegaan. Dit betekent dat de hoeveelheid biomassa in de kolom dus wel is toegenomen tijdens de filtratie. Al eerder was vastgesteld dat terugspoelen waarschijnlijk leidt tot het vrijkomen van een klein aantal micro-organismen (gebonden ATP; zie paragraaf 4.2). De netto hoeveelheid ATP die vrijkomt bedraagt echter slechts ongeveer 0,2% van de totale hoeveelheid organisch koolstof die door de kolom is opgenomen, ofwel 3% van de totale hoeveelheid PHMOC die is opgenomen. Hieruit is overigens ook te concluderen dat de bacteriën slechts een klein deel van de PHMOC uitmaken. Er zijn dus wel meer biomassakoolstof bacteriën dan dierlijke organismen in de kolom aanwezig, maar beide hoeveelheden zijn laag. Het zou goed zijn de samenstelling van het PHMOC verder uit te zoeken.

Het is niet duidelijk in hoeverre de hoeveelheid TOC c.q. PHMOC, die op de kolom achterbleef, geadsorbeerd is, of onderdeel is gaan uitmaken van de biomassa.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

De volgende conclusies kunnen worden getrokken uit de resultaten van dit onderzoek:

1. In het influent is het TOC-gehalte vrijwel gelijk aan het DOC-gehalte.
2. In het effluent zijn het TOC- en DOC-gehalte duidelijk lager dan in het effluent, dus het filter verwijdert een deel van de DOC en TOC.
3. Een spoeling lijkt een tijdelijk negatief effect te hebben op de filtraatkwaliteit. De TOC- en/of DOC-verwijdering is vlak na het terugspoelen van de kolom lager, maar neemt gedurende de eerste dag van het in bedrijf zijn van de kolom na het terugspoelen snel toe. Daarna blijft die verwijdering stabiel op ongeveer 28% gedurende de looptijd van dit experiment (28 dagen, terwijl normaalgesproken het de GAC na 37 dagen terug wordt gespoeld).
4. Het DOC-gehalte van het spoelwater is vrijwel gelijk aan dat van het effluent tijdens het filtratie-experiment, maar het TOC-gehalte is ongeveer een factor 2 hoger. Dit wijst erop dat er onoplosbaar organisch materiaal (biomassa, maar mogelijk ook een beetje actieve kool) wordt uitgespoeld bij het terugspoelen. De hoeveelheid in het effluent is echter kleiner dan in de terugspoelvoelstof.
5. In het influent worden (vrijwel) geen intacte cellen aangetroffen, in het effluent wel. Dit is ook logisch, aangezien het influent een UV/H₂O₂ behandeling had ondergaan.
6. De ATP-concentratie in het spoelwater is circa 100 keer zo hoog als in het effluent van de kolom, dus een deel van de micro-organismen op het filter wordt uitgespoeld. Deze hoeveelheid is echter klein in verhouding tot de totale hoeveelheid organisch materiaal (0,2%) of PHMOC (3%), die door de kolom uit het water wordt verwijderd.
7. Filtratie over de GAC-kolom verwijdert ca. 25% van het aanwezige biopolymeer en deeltjes gebonden organisch materiaal (PHMOC).
8. Het PHMOC-gehalte van het spoelwater is een factor 10-20 hoger dan in het effluent, dus tijdens het spoelen wordt een deel van het PHMOC van het filtermateriaal uitgespoeld. Uit de massabalans blijkt dat er ongeveer 20% van het PHMOC achterblijft op het filter.
9. Uit de massabalansen blijkt dat de hoeveelheid ATP in het uitgaande water (effluent en spoelwater) hoger is dan in het ingaande water, dus in het filter wordt actieve biomassa gevormd. De totale hoeveelheid ATP die via het influent de kolom ingaat is vrijwel gelijk aan de totale hoeveelheid die via het effluent de kolom verlaat. Dit wil echter niet per se zeggen dat ook de samenstelling van de biomassa in het influent gelijk is aan die in het effluent. De hoeveelheid ATP die met het spoelwater wordt verwijderd is ook ongeveer gelijk aan de hoeveelheden in influent en effluent.
10. Samenvattend blijkt uit deze resultaten dat de GAC duidelijk organisch materiaal verwijdert uit het water, en dat micro-organismen hier een belangrijke rol in spelen. Dit laatste blijkt uit het feit dat het even duurt voordat de verwijdering een maximum bereikt (wat waarschijnlijk wordt veroorzaakt doordat de biologische activiteit na terugspoelen even op gang moet komen), en uit het feit dat PHMOC lijkt te worden omgezet in ATP. Het effluent bevat nauwelijks meer ATP bevat dan het influent, het spoelwater bevat meer micro-organismen en organisch materiaal. De totale hoeveelheid micro-organismen die via het effluent de kolom verlaat is waarschijnlijk erg klein. De totale hoeveelheid biomassa in het spoelwater komt

overeen met de totale hoeveelheid die via influent de kolom ingaat, en ook met de hoeveelheid die via het effluent de kolom verlaat. Dit zegt echter niets over eventuele veranderingen in de samenstelling van de biomassa. Bacteriën blijken slechts een klein deel van de PHMOC uit te maken.

Vanwege de relatief beperkte opzet van dit onderzoek is het niet mogelijk om op basis van deze resultaten een conclusie te trekken of de biologische stabiliteit van het GAC filter effluent de nagroei in het distributienetwerk kan beïnvloeden, en in hoeverre dit beïnvloed wordt door de frequentie en duur van het terugspoelen.

5.2 Aanbevelingen

In dit onderzoek zijn PHMOC en TOC als bulkparameters meegenomen. De samenstelling hiervan kan echter meer informatie geven over hoe de samenstelling van de biomassa, en daarmee ook van de bacteriepopulaties (en dierlijke organismen) in de kolom, verandert tijdens het proces. Bacteriën en dierlijke organismen spelen een rol in de omzetting en vorming van biomassa. Bovendien zou moeten worden bekeken wat het effect is van meerdere keren terugspoelen op de massabalans (dus zou het experiment over een lagnere periode moeten worden herhaald). Mogelijk leidt vaker terugspoelen tot een betere verwijdering door de kolom, al zijn er ook aanwijzingen (uit onderzoek van Evides in 2014-2015) dat spoelingen juist een averechts effect hebben. Als we hier meer van begrijpen kunnen we ook beter inschatten wat het voordeel is van filterspoelingen en het proces optimaliseren.

6 Referenties

Flint RW, Rabalais NN. 1981. Gulf of Mexico shrimp production: a food web hypothesis. *Fisheries Bulletin* 79: 737-748.

Hijnen, W., Bereschenke, L., van Veen, A. (2015). Validatie en standaardisatie van de hemoflowbepaling voor deeltjesgebonden hoogmoleculair organisch koolstof in water. Nieuwegein, KWR Watercycle Research Institute. **BTO 2015.057**.

Karl, D. M. (1980). "Cellular nucleotide measurements and applications in microbial ecology." *Microbiological Reviews* 44(4): 739-796.

Magic-Knezev, A. and D. van der Kooij (2004). "Optimisation and significance of ATP analysis for measuring active biomass in granular activated carbon filters used in water treatment." *Water Research* 38(18): 3971-3979.

Magic-Knezev, A., B. Wullings and D. Van Der Kooij (2009). "Polaromonas and Hydrogenophaga species are the predominant bacteria cultured from granular activated carbon filters in water treatment." *Journal of Applied Microbiology* 107(5): 1457-1467.

Strayer, D., & Likens, G. (1986). An Energy Budget for the Zoobenthos of Mirror Lake, New Hampshire. *Ecology*, 67(2), 303-313

Bijlage I

TABEL 6-1: ANALYSEDATA VAN DIRECTE MONSTERS

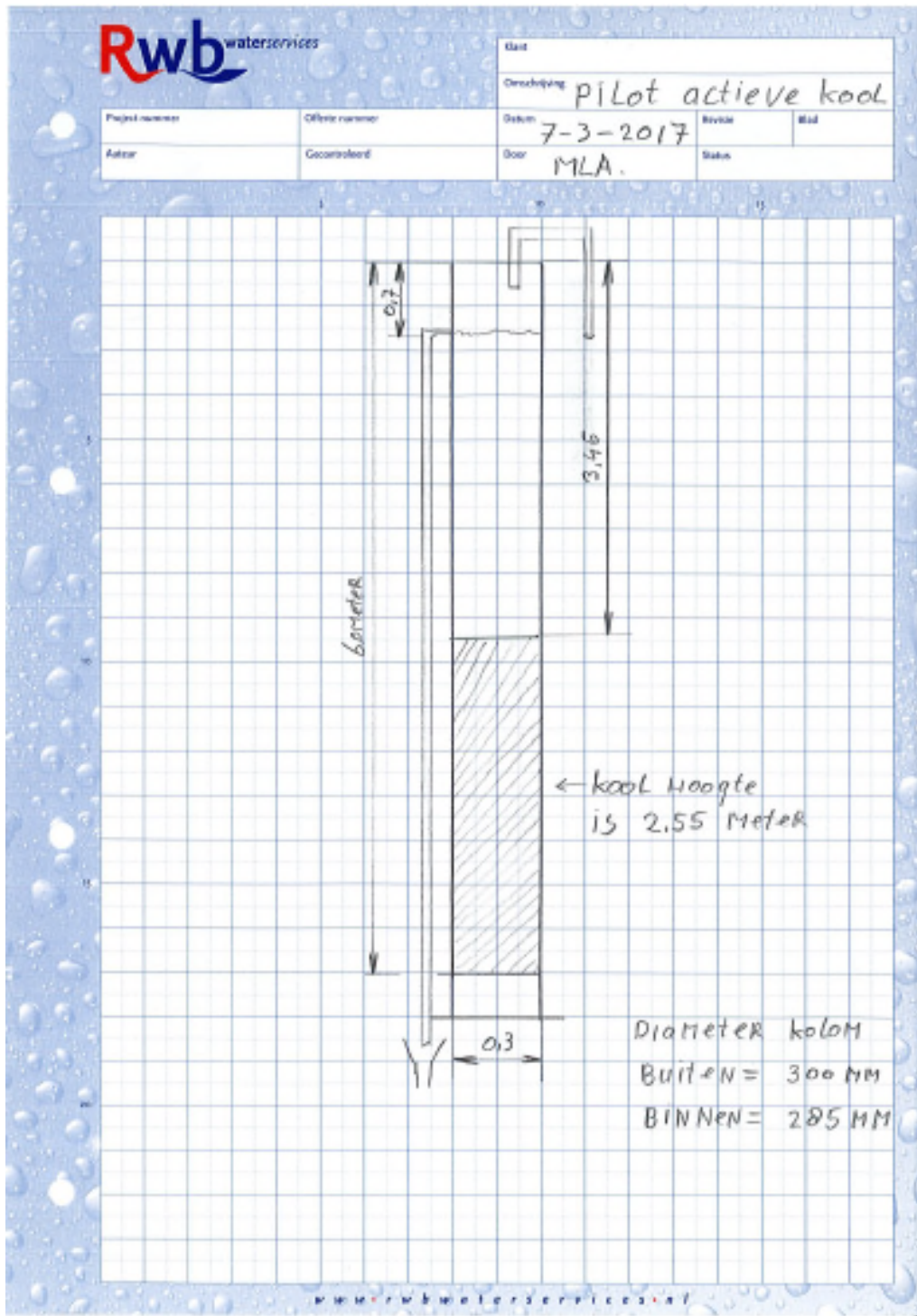
Dag	monster	DOC (mg C/L)	TOC (mg C/L)	ATP (pg/ml)	Vrij ATP (pg/ml)
0	Spoelwater	2,4	5,8	570 ± 48	
	Influent	3,0	3,0	0,5 ± 0	
	Effluent	2,6	2,4	16 ± 2,1	
1	Influent	2,9	3,1	12 ± 0,7	
	Effluent	2,1	2,4	9,6 ± 0,7	
14	Influent	3,2	3,0	8,5 ± 3,1	12 ± 0.1
	Effluent	2,2	2,2	8,6 ± 0,6	2.7 ± 0
28	Influent	3,1	3,0	1,5 ± 0,59	3.3 ± 0.15
	Effluent	2,2	2,2	4,6 ± 0,89	2.1 ± 0.15
	Spoelwater	2,8	4,7	1,80x10 ³ ± 42	2,00x10 ³ ± 2,5

TABEL 6-2: ANALYSEDATA VAN GECONCENTREERDE MONSTERS

Dag	monster	PHMOC (mg C/L)	ATP (pg/ml)	Vrij ATP (pg/ml)
0	Spoelwater		250 ± 2	
		2.74		14 ± 2
	Influent	0.31	< 1	< 1
1	Effluent	0.24	13 ± 0,13	< 1
	Influent	0.28	< 1	< 1
	Effluent	0.23	6.3 ± 0,32	< 1
14	Influent	0.29	1,2 ± 0,06	< 1
	Effluent	0.21	10 ± 0,97	< 1
28	Influent	0.28	1.3 ± 0.23	< 1
	Effluent	0.19	5,9 ± 0,58	< 1
	Spoelwater	4.22	560 ± 36	35 ± 5.3

Bijlage II

Details pilot-opstelling bij PWN



Bijlage III

Monsternamen tijdens terugspoelen

Spoeleerin als PSA (geen lucht) o/v
 Terugspoel pilot actieve kool filter
 Nieuw spoel's

Datum: 19-09-2016

spoel fase	metheid	Q	exp.
1 (5)	20 m/h	1,2 m ³ /h	0-5%
2 (4)	30 m/h	1,9 m ³ /h	~ 20%
3	45 m/h	2,8 m ³ /h	~ 45%

beschrijving	tijdstip	tijd	opmerking
Normaal conditie	t0	9:35 uur.	9.00 uur - 9.30 uur monsternamen in lucht
Stop normaal conditie	t1	9:55 uur	
Start terugspoel	t2	9:35 uur.	
Start fase 1 terugspoel 2 min	t3	9:35 uur	
Start fase 2 terugspoel 4 min	t4	9:37 uur	
Start fase 3 terugspoel 24 min	t5	9:41 uur.	monsternamen 1 gestart jerry cans
	t6	9:44 uur	monsternamen 2 gestart jerry cans + flessen
	t7	9:47 uur	monsternamen 3 gestart jerry cans
	t8	9:50 uur	monsternamen 4 gestart jerry cans + flessen
	t9	9:53 uur.	
	t10	9:56 uur.	monsternamen flessen
	t11	9:59 uur.	monsternamen flessen
	t12	10:02 uur	monsternamen 5 afgerond vóór aftoeren SP
Start fase 4 terugspoel 4 min	t13	10:05 uur	
Start fase 5 terugspoel 2 min	t14	10:09 uur.	
Stop terugspoel	t15	10:09 uur.	
Start normaal conditie	t16	11:09 uur.	11:10-11:18 monsternamen AKF EFF

AKF
 NO₂ 0,25 mg NO₂/m³
 NO₂ 0,09 mg NO₂/m³
 11:30 uur NO₂
 jerry cans + flessen

Water temp ~ 21°C
 monsternamen duurt circa 3-5 min
 per Maakt actie

Terugspoel pilot actieve kool filter

Spoelfase	spoelheid	ca	exp
1 (5)	20 m ³ /h	1,2 m ³ /h	0,5
2 (4)	30 m ³ /h	1,9 m ³ /h	0,20
3	45 m ³ /h	2,8 m ³ /h	0,45

Datum: ~~24-10-2016~~ 17-10-2016.

beschrijving	tijdstip	tijd	opmerking
Normaal conditie	t0		
Stop normaal conditie	t1	9,45	
Start terugspoel	t2	9,49	
Start fase 1 terugspoel 2 min	t3	9,51	
Start fase 2 terugspoel 4 min	t4	9,51	
Start fase 3 terugspoel 24 min.	t5	9,55	Nonstername 1 Start jerry cans + flessen
	t6	9,58	Nonstername 2 Start jerry cans + flessen.
	t7	10,00	
	t8	10,04	Debit 2,5 m ³ /h Nonstername 3: jerry cans + flessen
	t9	10,08 10,08	Debit 2,4 m ³ /h Nonstername 4: jerry cans + flessen.
	t10	10,13	Debit bezer
	t11		
	t12	10,16	Nonstername 5: jerry cans + flessen. Debit = 2,5 m ³ /h.
Start fase 4 terugspoel 4 min	t13	10,19	
Start fase 5 terugspoel 2 min	t14	10,23	
Stop terugspoel	t15	10,25	
Start normaal conditie	t16	10,25	

Debit lager
(1,8 m³/h).
Lokaal bij ho
debit kour
kool met
water.

Temperatuur = 14,3 °C.